MARIA GORETTI ZAGO NUNES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA USANDO ANÁLISE
ENVOLTÓRIA DE DADOS: APLICAÇÃO AOS PAÍSES EM
DESENVOLVIMENTO**

**São Paulo
2012**

MARIA GORETTI ZAGO NUNES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA USANDO ANÁLISE
ENVOLTÓRIA DE DADOS: APLICAÇÃO AOS PAÍSES EM
DESENVOLVIMENTO**

Tese apresentada a Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências

**São Paulo
2012**

MARIA GORETTI ZAGO NUNES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA USANDO ANÁLISE
ENVOLTÓRIA DE DADOS: APLICAÇÃO AOS PAÍSES EM
DESENVOLVIMENTO**

Tese apresentada a Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências

Programa: Engenharia Elétrica

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Orientador:
Prof. Dr. Marco Antonio Saidel

**São Paulo
2012**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 18 de dezembro de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Maria Goretti Zago Nunes de
Avaliação da eficiência energética usando análise envoltória
de dados: aplicação aos países em desenvolvimento / M.G.Z.N.
de Souza. -- ed.rev. -- São Paulo, 2012.
177 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automa-
ção Elétricas.

1.Energia 2.Países em desenvolvimento 3.Políticas públicas
4.Eficiência energética I. Universidade de São Paulo. Escola Poli-
técnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação
Elétricas II. t.

Dedico este trabalho a

André, Pedro e Antônio por serem
o amor e a motivação de minha vida;

A meu pai, Hédio Jordão Zago (*in memoriam*)
por ter sido sempre o melhor exemplo a seguir e a
minha mãe, Valentina Granetto Zago por ter me
ensinado a nunca desistir;

E a Deus: o início, o fim, o meio
e a razão de minha existência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida;

Ao Professor Dr. Marco Antônio Saidel, pela orientação deste trabalho;

Aos meus filhos, Pedro e Antônio, pela alegria e motivação, determinantes nos momentos difíceis e por me lembrarem, constantemente, o real valor e peso de cada aspecto de minha vida;

Ao Professor Dr. André Nunes de Souza: incentivador, crítico implacável, e companheiro de todas as horas e projetos. Obrigada pelo carinho, pelo apoio, pela serenidade, pela confiança e pela paciência;

A minha sempre amiga Vera Aparecida Simionato;

Ao Mestrando João Alberto Zago Bevenuto por todo apoio operacional;

A Professora Ms. Ana Cristina Mauricio Ferreira e a Tecnóloga Marisol Pais Lopez pela grande ajuda na elaboração das figuras;

A Professora Dra. Daisy A. N. Rebelatto da Escola de Engenharia de São Carlos e a Professora Dra. Naja Brandão Santana pela colaboração;

Ao Professor Titular Ricardo Abramovay da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo;

Ao amigo Marcos Roberto Nicola;

Ao grupo formado por Adenor, Alessandro, Alex, Cássio, Chicão, Danilo, Edenilson, Emerson, Fábio, Guerreiro, Jorge Henrique, Leandro, Paulinho, Paulo André, Ralf e Romário, que durante este ano foram responsáveis por momentos de grande emoção e alegria; e

A todos que rezaram, incentivaram e torceram pelo desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Oração ao tempo

És um senhor tão bonito
 Quanto a cara do meu filho
 Tempo tempo tempo tempo
 Vou te fazer um pedido
 Tempo tempo tempo tempo...

Por seres tão inventivo
 E pareceres contínuo
 Tempo tempo tempo tempo
 És um dos deuses mais lindos
 Tempo tempo tempo tempo...

Peço-te o prazer legítimo
 E o movimento preciso
 Tempo tempo tempo tempo
 Quando o tempo for propício
 Tempo tempo tempo tempo...

O que usaremos prá isso
 Fica guardado em sigilo
 Tempo tempo tempo tempo
 Apenas contigo e comigo
 Tempo tempo tempo tempo...

Ainda assim acredito
 Ser possível reunirmo-nos
 Tempo tempo tempo tempo
 Num outro nível de vínculo
 Tempo tempo tempo tempo...

Compositor de destinos
 Tambor de todos os ritmos
 Tempo tempo tempo tempo
 Entro num acordo contigo
 Tempo tempo tempo tempo...

Que sejas ainda mais vivo
 No som do meu estribilho
 Tempo tempo tempo tempo
 Ouve bem o que te digo
 Tempo tempo tempo tempo...

De modo que o meu espírito
 Ganhe um brilho definido
 Tempo tempo tempo tempo
 E eu espalhe benefícios
 Tempo tempo tempo tempo...

E quando eu tiver saído
 Para fora do teu círculo
 Tempo tempo tempo tempo
 Não serei nem terás sido
 Tempo tempo tempo tempo...

Portanto peço-te aquilo
 E te ofereço elogios
 Tempo tempo tempo tempo
 Nas rimas do meu estilo
 Tempo tempo tempo tempo...

Caetano Veloso

RESUMO

Nosso planeta vem constantemente passando por profundas transformações. A necessidade crescente de energia para suprir o desenvolvimento econômico e o crescimento populacional, somada à utilização de maneira insustentável dos recursos finitos e ao problema ambiental decorrente, constituem desafios que afetam todos os aspectos da civilização moderna. Em vista do cenário exposto, vários estudos têm procurado estabelecer relações de causalidade entre consumo de energia e o produto interno bruto – PIB, ou seja, discute-se a questão do desenvolvimento econômico e suas implicações no consumo energético. Neste trabalho, desenvolveu-se uma avaliação comparativa do desempenho energético entre países em desenvolvimento, em função do crescimento econômico, sustentabilidade e desenvolvimento humano, utilizando o método denominado Análise Envoltória de Dados (DEA). O método DEA tem como característica possibilitar a análise de sistemas produtivos com várias entradas e saídas, assim como, tanto com saídas desejáveis quanto indesejáveis. Com a metodologia desenvolvida foi possível identificar os melhores resultados relativos às estratégias de políticas energéticas e verificar que diferentemente dos países desenvolvidos que buscam a otimização de processos produtivos, uma vez que já têm uma estrutura consolidada, os países em desenvolvimento necessitam continuar seu processo de crescimento, fazendo uso das tecnologias e processos de uso racional de energia, criados pelos países desenvolvidos. Além disso, o caminho da sociedade global rumo ao desenvolvimento sustentável envolve o desafio de vencer paradigmas na busca de novos modelos, que operem de forma mais inclusiva do ponto de vista social e eficiente na sua relação com o meio ambiente.

Palavras-chave: Eficiência energética. Energia. Países em desenvolvimento. Análise Envoltória de Dados.

ABSTRACT

The planet Earth has been steadily undergone to deep changes. The rising demand for energy enough to supply both the economic development and the population growth, combined with the unsustainable use of finite resources and its consequent environmental problem, has arisen many problems which will affect all modern life traits. Based on the aforementioned frame, several surveys have sought to establish a relation between energy consumption and gross domestic product – GPD – that it is, it has been discussed how deeply the economic development has influenced the energy consumption. This thesis developed a benchmarking energy performance among developing countries taking into account economic growth, human development and sustainability, using a method called Data Envelopment Analysis (DEA). DEA method has as its own feature to enable the analysis of production systems with multiple inputs and outputs, as well both desirable and undesirable outputs. The developed methodology allowed us to identify the best results regarding energetic policy strategies and verify that different from developed countries whose structure has already been grounded, developing countries still need to keep their process of growth by making use of technologies and rational energy processes which were formerly conceived by the developed countries. Besides that, the path of the global society towards sustainable development involves the challenge of overcoming paradigms in search of new models which can be handled in a better way not only under the social scope but also concerning the environment.

Keywords: Energy efficiency. Energy. Developing countries. Data Envelopment Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Intensidade energética OECD.....	30
Figura 2 – Participação da economia global em termos de paridade de poder	33
Figura 3 – Consumo final de energia por fonte	40
Figura 4 – Dependência externa de energia	41
Figura 5 – Evolução do consumo de energia e do produto interno bruto	42
Figura 6 – PIB e energia: taxas médias de crescimento	43
Figura 7 – Retornos de escala	59
Figura 8 – Diagrama de Farrell.....	62
Figura 9 – Fronteira de eficiência	65
Figura 10 – Curva de um processo produtivo.....	65
Figura 11 – Modelo CCR de orientação ao insumo ou ao produto.....	67
Figura 12 – Fronteiras de eficiência para o modelo CCR.....	71
Figura 13 – Exemplo gráfico do modelo do envelope	73
Figura 14 – Fronteiras de eficiência para o modelo BCC.....	76
Figura 15 – Análise comparativa entre os modelos CCR e BBC.....	78
Figura 16 – Classificação entre retornos de escalas e orientação	79
Figura 17 – Fluxograma para aplicação DEA.....	94
Figura 18 – Análise 1: valores médios de TFEE - Resultados 1	108
Figura 19 – Análise 1: valores médios de TFEE - Resultados 2	109
Figura 20 – Análise 1: valores médios de TFEE - Resultados 3	109
Figura 21 – PIB – países BRICS	110
Figura 22 – Intensidade energética – países BRICS.....	110
Figura 23 – Força de trabalho/PIB – países BRICS	111
Figura 24 – Capital social/PIB – países BRICS.....	111
Figura 25 – Análise 1 – resultados países BRICS.....	111
Figura 26 – Emissões de CO ₂ /PIB	121
Figura 27 – Análise de tendências - Tanzânia	122
Figura 28 – Processo bibliométrico	143
Figura 29 – Referências com maior frequência de citações.....	145
Figura 30 – Gráfico de distribuição das publicações ao longo do tempo.....	147
Figura 31 – Rede de palavras-chave com maior frequência de ocorrência.....	148

Figura 32 – Autores mais citados.	149
Figura 33 – IDH – Países do grupo G-20 (OMC)	174
Figura 34 – PIB <i>per capita</i> – países do grupo G-20 (OMC).....	175
Figura 35 – Esquema de cálculo do IDH.....	176

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro resumo: principais modelos DEA.....	79
Quadro 2 – Países do grupo G-20 – OMC	103
Quadro3 – Palavras-chave com maior frequência de ocorrência nas publicações identificadas no ISI of Web of Science	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da Análise 1: TFEE médio calculado (índice composto) – Parte 1	107
Tabela 2 – Resultados da Análise 1: TFEE médio calculado (índice composto) – Parte 2	107
Tabela 3 – Resultados da Análise 2: Parte 1	118
Tabela 4 – Resultados da Análise 2: Parte 2	118
Tabela 5 – Valores médios análises 1 e 2.....	119
Tabela 6 – Análise 2: Correlação média entre entradas e saídas	119
Tabela 7 – Classificação de eficiência média – anos de 2005 a 2009	126
Tabela 8 – Número de citações de referências em publicações no ISI Web of Science. Período entre 1967 e 2011 (referências mais citadas).....	144
Tabela 9 – Periódicos com maior frequência de ocorrência nas publicações identificadas no ISI of Web of Science	148
Tabela 10 - Valores do PIB – em US\$ internacionais (constantes de 2005) usando taxas de paridade de poder aquisitivo (ppp)	158
Tabela 11 - Intensidade energética em ktep/milhões de US\$	159
Tabela 12 - Força de trabalho/PIB em trabalhadores por milhões de US\$	160
Tabela 13 - Capital/PIB	161
Tabela 14 - Emissões de CO ₂ /PIB em kt de CO ₂ /milhões de US\$.....	168
Tabela 15 - Análise desenvolvimento econômico	173
Tabela 16 - Análise desenvolvimento humano	173
Tabela 17 - Índice de Desenvolvimento Humano – IDH para países do grupo G-20 (OMC).....	174
Tabela 18 - PIB <i>per capita</i> para países do grupo G-20 OMC em US\$ (2005) PPP.	175

LISTA SIGLAS

BCC	Modelo DEA desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper
BEE	Bureau of Energy Efficiency (Índia)
BRICS	Brazil, Russia, India, China and South África
CCR	Modelo DEA desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético (Brasil)
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
Conpet	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Brasil)
COP	Conference of Parties (Nações Unidas)
CRS	Constante Returns to Scale
DEA	Data Envelopment Analysis
DME	Department of Minerals and Energy (África do Sul)
DMU	Decision Making Unit (Unidade de Tomada de Decisão)
ECCJ	Energy Conservation Center Japan
EECA	Energy Efficiency and Conservation Authority (Nova Zelândia)
EERE	Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EUA)
EIA	Energy Information Administration (EUA)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética (Brasil)
Esco	Energy Service Company
ETP	Energy Technology Perspectives
FMI	Fundo Monetário Internacional
IDA	Index Decomposition Analysis
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	International Energy Agency (EUA)
IED	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (Brasil)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LDC	Least Developed Country
MITI	Ministry of International Trade and Industry (Japão)
MME	Ministério de Minas e Energia (Brasil)
NRC	National Research Council (Canada)
ODBC	Open Database Connectivity

OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OMC	Organização Mundial do Comércio
ONU	Organização das Nações Unidas
PEE	Política Energética Européia
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia (Brasil)
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética (Brasil)
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPC	Paridade do Poder de Compra
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Brasil)
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Brasil)
RDH	Relatório de Desenvolvimento Humano
TFEE	Total-factor Energy Efficiency
UE	União Européia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VRS	Variable Returns to Scale
WEC	World Energy Council
WTO	World Trade Organization

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 2 - ENERGIA E DESENVOLVIMENTO	26
2.1 PANORAMA ENERGÉTICO	29
2.1.1 Países Desenvolvidos	30
2.1.2 Países em Desenvolvimento	33
China	35
Índia	36
Rússia	37
África do Sul	38
Brasil	40
2.2 OS INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO	45
2.2.1 O IDH - Índice de Desenvolvimento Humano	46
2.3 OS INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	48
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	55
3.1 DEFINIÇÕES	56
3.1.1 Produção	56
3.1.2 Capital	57
3.1.3 Curva Isoquanta	57
3.1.4 Unidades de Tomada de Decisão	57
3.1.5 Avaliação Comparativa (Benchmarking)	58
3.1.6 Rendimentos de Escala	58
3.1.7 Eficácia	60
3.1.8 Produtividade	60
3.1.9 Eficiência	61
3.1.10 Fronteira de Eficiência	64
3.1.11 Folga	66
3.1.12 Alvos	66
3.1.13 Entradas e Saídas Virtuais	66
3.2 MODELAGEM DO MÉTODO DEA	66
3.2.1 O Modelo CCR	68

3.2.2 O Modelo BCC	75
3.2.3 Análise Comparativa entre os Modelos CCR (CRS) e BCC (VRS)	77
3.2.4 Outros Modelos DEA.....	79
3.2.5 Fator Total de Eficiência Energética Baseado em DEA	80
3.2.6 Fator Total de Eficiência Energética Baseado em DEA de Janela.....	82
3.3 PARTICULARIDADES DO MÉTODO DEA	85
3.3.1 Vantagens	85
3.3.2 Limitações	86
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	93
4.1 PROCEDIMENTO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA	93
4.1.1 Fase 1: Seleção das Unidades de Tomada de Decisão (DMU's)	94
4.1.2 Fase 2: Seleção dos Fatores.....	96
4.1.3 Fase 3: Aplicação do Modelo DEA.....	100
4.2 APLICAÇÃO DO MODELO.....	102
4.2.1 Fonte de Dados e Construção das Variáveis.	102
4.2.2 Definição do Conjunto de DMU's	102
4.2.3 Análise 1	103
4.2.4 Análise 2	116
4.2.5 Análise 3	123
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	129
REFERÊNCIAS.....	133
APÊNDICE A	142
APÊNDICE B	152
APÊNDICE C	162
APÊNDICE D	169
APÊNDICE E	176

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Considerações Gerais

Nosso planeta vem constantemente passando por profundas transformações. O desenvolvimento de novas tecnologias aliado às mudanças das exigências e necessidades das pessoas, não nos permite mais imaginar a vida na Terra sem associá-la ao consumo de energia.

A partir da revolução industrial, a necessidade crescente de energia em todo o mundo, para suprir o desenvolvimento econômico, resultou em um aumento exponencial do uso de combustíveis fósseis. Além disso, dados do Banco Mundial datados de 2011, certificam que a população mundial tem crescido em média nos últimos 40 anos, a uma taxa anual de aproximadamente 80 milhões (WORLD BANK, 2011). A Terra que contava em 2011 com cerca de 7 bilhões de habitantes, tem previsão de atingir a marca de 10 bilhões em 2050, antes de se estabilizar em torno de 12 bilhões (YOSHIHISA¹ (2007) apud LLOYD; SUBBARO (2009), p. 238).

Grande parte do aumento esperado na população é projetada para ocorrer nas regiões menos desenvolvidas do mundo, enquanto a previsão para a população das regiões mais desenvolvidas é de estagnação, não se levando em conta o movimento migratório (UNDESA, 2010).

A maioria dos observadores que investigam a capacidade da Terra suportar esse aumento populacional, no entanto, sugerem que os números projetados estão bem acima dos recursos disponíveis para sustentar a população, em qualquer nível de consumo energético prospectado. Além disso, o consumo de energia *per capita* varia muito de acordo com o nível de desenvolvimento, ou seja, no ano de 2009, por exemplo, registrou-se o consumo *per capita* de cerca de 0,2 tep nos países menos

¹ YOSHIHISA, S. Energy consumption: na environmental problem. Transactions on Electrical and Electronic Engineering 1,12–16, 2007.

desenvolvidos e valores na ordem de 7,0 tep nos países desenvolvidos como Estados Unidos e Canadá (WORLD BANK, 2011).

Como consequência da distribuição desigual de recursos, dados de 2009 retratam que quase 1,6 bilhões de pessoas, cerca de um quarto da população mundial, não tinham acesso à eletricidade e cerca de 2,5 bilhões de pessoas no mundo dependiam diretamente de biocombustíveis tradicionais e de tecnologias pouco eficientes para aquecimento e cocção (LLOYD; SUBBARAO, 2009). No Brasil, a porcentagem da população sem acesso à eletricidade em 2009, segundo dados do Banco Mundial, era igual a 1,7%.

Assim, caracteriza-se um cenário onde a utilização de maneira insustentável dos recursos finitos somada à diferença inevitável entre oferta e demanda tendem a gerar múltiplos desafios para o modo de vida moderno, que irão afetar todos os aspectos da civilização, incluindo transporte, utilização de recursos, produção de alimentos, abastecimento de água, estilo de vida e o meio ambiente, principalmente no que diz respeito à mudança climática devido à adição de grandes quantidades de emissões antrópicas² na atmosfera.

Já na década de 1990, as nações desenvolvidas iniciaram discussões a respeito desse problema. Em 1997, começaram as negociações para ratificação do Protocolo de Kyoto, que estipula que países desenvolvidos reduzam em média 5,2% das emissões de carbono em relação aos níveis de 1990. As metas deverão ser atingidas até o final de 2012.

Lançado em meio a muita polêmica e disputa política entre países, o protocolo somente entrou em vigor em 2005, quando foi ratificado pela Rússia, o que representou a adesão por parte de 55% dos países participantes da Conferência de Kyoto. O Brasil o ratificara em 2002. Contudo, dois dos principais emissores de gases, EUA e Austrália, não ratificaram o acordo e questionam, a não participação dos países em desenvolvimento.

² Emissões antrópicas: emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa.

Em dezembro de 2011, os países reunidos na 17ª Conferência das Partes (COP) realizada em Durban, África do Sul, reavaliaram o protocolo e o redimensionaram, estabelecendo novas metas até 2015 e, a partir daí, a instituição de um novo protocolo global. A decisão provocou polêmica que culminou com a desistência do Canadá. A 18ª Conferência das Partes será em Doha, no Catar, no período entre 26 de novembro a 7 dezembro de 2012.

Um dos temas atuais em torno do Protocolo de Kyoto trata da situação dos países em desenvolvimento, principalmente Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, os denominados BRICS, que nos últimos anos têm apresentado aceleração no desenvolvimento e consequentemente, aumentado os níveis de emissões de CO₂. O cerne da questão reside na possibilidade de redução das emissões com a manutenção do crescimento econômico.

No entanto, a discussão referente à relação entre desenvolvimento e sustentabilidade não surgiu recentemente.

Trabalhos do físico brasileiro José Goldemberg³, publicados ao longo dos últimos anos, dentre os quais pode-se citar Goldemberg (1998), Mielnik e Goldemberg (2000), Goldemberg e Moreira (2005) e Lucon e Goldemberg (2009), entre outros, apresentam a energia e a tecnologia como ingredientes essenciais de desenvolvimento e discutem os desafios relativos à erradicação da pobreza e do subdesenvolvimento em face ao forte aumento populacional e proporcional aumento da energia consumida. Goldemberg afirma que estes desafios só poderão ser cumpridos com o êxito do uso de tecnologia avançada, "ultrapassando" o caminho seguido no passado pelos países industrializados. Nesta linha de pesquisa, o autor inicia uma discussão quanto à dissociação do consumo de energia e o desenvolvimento econômico e também a respeito do desenvolvimento sustentável.

Por um lado, o aumento da energia disponível é necessário para garantir maior progresso econômico e consequentemente proporcionar meios para melhorar as

³ José Goldemberg: Físico, Membro da Academia Brasileira de Ciências e Academia de Ciências do Terceiro Mundo e Co-Presidente do Global Energy Assessment.

condições de vida da população (GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005), além disso, em Lucon e Goldemberg (2009) afirma-se que:

[...] Nos países em desenvolvimento, onde o consumo *per capita* é pequeno, somente a eficiência energética não vai resolver o problema, porque em muitos casos os serviços energéticos finais (iluminação, aquecimento, cocção, etc.) são ainda insuficientes. Assim, a produção e o consumo global de energia precisam aumentar para suprir essa demanda reprimida.

Nessa área, as energias renováveis (como eólica, solar, biomassa e centrais hidrelétricas de pequeno porte) terão um grande papel a desempenhar. Não só essas fontes de energia são menos poluentes, como também, pela sua própria natureza, são produzidas em pequenas unidades. A descentralização da produção de energia se traduz em aumento na segurança de fornecimento e na criação de empregos.

Diante do que foi exposto, destacam-se algumas questões relacionadas ao crescimento da demanda energética e a insuficiência de recursos para suprir essa demanda (segurança energética), as consequências deste crescimento na degradação do meio ambiente (proteção ambiental); e a relação existente entre consumo e desenvolvimento (crescimento econômico).

Em resposta a essas questões, um grupo crescente de estudiosos têm focado suas pesquisas na busca de tecnologias que proporcionem o uso de energia de maneira racional e otimizada, permitindo redução do consumo, mas com a manutenção de níveis de conforto e desempenho e preservando o meio ambiente, que é uma abordagem essencial para aliviar o aquecimento global.

Uma outra linha de pesquisas relacionadas à questão energética nos países em desenvolvimento evoluiu no sentido de estabelecer relações de causalidade entre consumo de energia e o produto interno bruto - PIB, ou seja, discute-se a questão do desenvolvimento econômico e suas implicações no consumo de energia.

Há dois conhecidos indicadores utilizados para mensurar como insumos energéticos são utilizados de forma eficiente: um é a intensidade energética que mede a quantidade de energia para cada produto econômico, e o outro é a eficiência

energética (ou produtividade energética), definida como produção econômica, dividido pela entrada de energia. Cada um destes indicadores representa medidas idênticas a partir de perspectivas diferentes (ZHANG et al., 2011). Quando se analisa a questão com um sistema produtivo onde o consumo energético é uma entrada e o desenvolvimento econômico uma saída, o índice de eficiência energética convencional é, na realidade, um índice parcial, uma vez que o consumo de energia é a única entrada considerada, enquanto a substituição ou complemento entre energia e outros insumos, como por exemplo, trabalho e capital, são negligenciados.

Dentro deste contexto, na tentativa de se estabelecer uma análise mais completa, diferentes abordagens para medir o desempenho de eficiência energética têm sido propostas na literatura. O método, chamado Análise Envoltória de Dados (DEA), tem sido amplamente aplicado para avaliar o desempenho comparativo da eficiência energética entre diferentes entidades (BOYD; PANG, 2000; RAMANATHAN, 2000; ONUT; SONER, 2006; HU; WANG, 2006; HU; KAO, 2007; AZADEH et al., 2007; LEE, 2008; ZHOU; ANG, 2008; ZHOU; ANG; POH, 2008; ZHANG et al., 2011), entre outros.

Uma característica comum dos modelos DEA está no fato de possibilitarem a análise de sistemas produtivos com várias entradas e saídas, assim como, tanto com saídas desejáveis quanto indesejáveis. Neste trabalho desenvolveu-se uma análise comparativa do desempenho energético em vários países em desenvolvimento, dando ênfase para os países denominados BRICS e particularizando os resultados referentes ao Brasil, tomando-se como ferramenta a Análise Envoltória de Dados.

Problema Estudado

O objeto desta pesquisa consiste na avaliação comparativa da eficiência energética em países em desenvolvimento, focando de maneira particular nos países denominados BRICS, na tentativa de estabelecer os melhores resultados relativos às estratégias de políticas energéticas.

Para realização desta avaliação, foi utilizada a Análise Envoltória de Dados, na forma de análise de janela, que consiste no cálculo da eficiência comparativa entre

os países considerados em um determinado período. Análise DEA de janela é uma variação do método DEA tradicional que permite abordar problemas com variáveis transversais e temporais. O método opera com o princípio de médias móveis e é útil para detectar tendências de desempenho de uma unidade ao longo do tempo.

O problema estudado pode ser dividido em três fases:

- Fase 1: Cálculo de um índice total de eficiência energética considerando como insumos (entradas) o consumo energético, a força de trabalho e o capital e como saída o Produto Interno Bruto (PIB) dos países analisados, abrangendo o intervalo de tempo compreendido entre os anos de 1993 e 2009. Este índice constitui a base para a análise comparativa do desempenho energético, em função do desenvolvimento econômico, dos países analisados;
- Fase 2: Inclusão na análise de uma saída indesejável, ou seja, as emissões de carbono e verificação do novo quadro comparativo obtido;
- Fase 3: Análise dos resultados obtidos, substituindo-se o PIB pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos países considerados.

Objetivos

Objetivos Gerais

O objetivo geral desta tese é estabelecer uma avaliação comparativa do desempenho energético de alguns países em desenvolvimento, no período compreendido entre os anos de 1993 e 2009.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta tese são:

- Verificar a posição dos países denominados BRICS frente à análise comparativa que compõe os objetivos gerais;
- Verificar, em particular, a posição do Brasil; e

- Concluir a respeito da eficácia das políticas voltadas ao uso eficiente de energia nesses países no que tange ao desenvolvimento econômico, sustentabilidade e desenvolvimento humano.

Contribuição Original do Presente Estudo

A avaliação comparativa do desempenho energético entre países tem sido o tema de inúmeros estudos na atualidade. A obtenção de um índice de eficiência energética total, que leva em consideração, não só o consumo energético e o produto interno bruto, mas também fatores tais como capital e trabalho, vem sendo pesquisado principalmente na China, que em 2009 foi o país com maior consumo de energia no mundo (WORLD BANK, 2011). O Brasil e outros países em desenvolvimento de relevante participação na economia mundial, no entanto, não têm sido integrados nestes estudos.

A originalidade deste trabalho reside em realizar uma análise comparativa do desempenho energético dos países em desenvolvimento incluindo os países do BRICS. Além disso, a metodologia proposta contempla a inclusão na análise de uma saída indesejável (emissões de CO₂) e utiliza o IDH, como saída do sistema, em substituição ao PIB. Desta forma, estabelece a avaliação da eficiência energética dos países estudados frente ao desenvolvimento econômico, à sustentabilidade e ao desenvolvimento humano.

Metodologia Científica Utilizada

Segundo Vergara (2011), os tipos de pesquisas científicas podem ser definidos por dois critérios básicos: quanto aos fins e quanto aos meios. A pesquisa ora realizada, pode ser classificada quanto aos fins como metodológica, uma vez que está associada aos caminhos, formas, maneiras e procedimentos utilizados para atingir determinado fim. Já quanto aos meios, pode ser definida como bibliográfica no que diz respeito à busca do conhecimento e análise das contribuições científicas do passado sobre os assuntos tratados, e experimental por manipular diretamente as variáveis relacionadas, estabelecendo a relação entre as causas e os efeitos do objeto de estudo.

As técnicas científicas empregadas, segundo Cervo (2006, p.33) foram comparação, análise e síntese. A comparação consiste na técnica científica aplicável sempre que for necessário abstrair as semelhanças e destacar as diferenças existentes entre dois ou mais termos com as mesmas propriedades gerais ou características particulares. Já a aplicação das técnicas de análise e síntese justifica-se, uma vez que

[...] Na aplicação da técnica da comparação, está implícita a realização da análise, conforme veremos a seguir, e da síntese, passos essenciais para a identificação das propriedades gerais e das características particulares de cada um dos termos comparados; ao que se soma o fato de que o conhecimento de um objeto não se limita ao conhecimento minucioso de suas diversas partes; deve-se ainda saber o lugar que ele tem no conjunto e a parte que toma na ação global. Por isso, à análise deve seguir-se a síntese (Cervo 2006).

Além do exposto, foi desenvolvido no início desta pesquisa um estudo da contextualização teórica a respeito do tema *Energia em Países em Desenvolvimento*. Para a realização desta contextualização teórica foi utilizada uma análise de bibliometria⁴, baseada na técnica apresentada por Neely (2005).

Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, que por sua vez estão subdivididos em seções que abordam os temas pertinentes para dar sustentação teórica à pesquisa.

Além destes capítulos foram incluídos apêndices com informações complementares.

⁴ Bibliometria consiste um conjunto de leis e princípios empíricos que contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos de uma determinada área objeto de estudos científicos, minimizando a subjetividade inerente à recuperação das informações e contribuindo para tomadas de decisão na gestão da informação e do conhecimento através da sistematização das informações científicas e tecnológica. A análise estatística das publicações, autores, palavras-chave, usuários, citações e periódicos são alguns dos parâmetros observáveis em estudos bibliométricos da literatura (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

O Capítulo 2 apresenta um histórico a respeito da questão energética no decorrer das últimas décadas, além das perspectivas futuras frente aos vários cenários previstos para os próximos anos e traz o estado da arte e desenvolvimentos em torno do tema Eficiência Energética em Países em Desenvolvimento.

O Capítulo 3 apresenta o método de Análise Envoltória de Dados.

O Capítulo 4 apresenta o problema estudado, os dados e modelos utilizados, os resultados obtidos e a análise dos mesmos.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, assim como sugestões de trabalhos futuros.

O Apêndice A apresenta um estudo da contextualização teórica a respeito da energia em países em desenvolvimento, empregando um processo de análise bibliométrica. Nos Apêndices B, C e D são apresentados dados complementares referentes aos resultados obtidos e o Apêndice E traz o atual método de cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.

CAPÍTULO 2 - ENERGIA E DESENVOLVIMENTO

Com o intuito de explorar os conceitos básicos para o desenvolvimento da avaliação proposta neste trabalho, será apresentado neste capítulo o panorama energético dos países desenvolvidos e dos em desenvolvimento, particularizando-se os países denominados BRICS, assim como as principais ações desenvolvidas relativas à eficiência energética nesses países.

Além disso, uma vez que a contextualização teórica a respeito do tema *Energia em Países em Desenvolvimento*, realizada no início da pesquisa, apontou para a concentração de estudos referentes ao estabelecimento de relações de causalidade entre consumo de energia e produto interno bruto, foi realizada uma revisão da literatura relacionada a este tema, ou seja, buscou-se definir indicadores de desenvolvimento e de eficiência energética.

Cabe aqui inicialmente, discutir os critérios para classificação dos países em desenvolvidos ou em desenvolvimento.

Um país desenvolvido ou país mais desenvolvido ou ainda país industrializado, é um Estado soberano, que tem uma economia altamente desenvolvida e infraestrutura tecnológica avançada em relação a outras nações menos desenvolvidas, por sua vez, país em desenvolvimento ou país emergente são termos geralmente usados para descrever um país que possui um padrão de vida entre baixo e médio e uma base industrial em desenvolvimento.

No entanto, os critérios para classificação de um país como sendo desenvolvido ou não é uma questão controversa. Comumente são adotados critérios econômicos, tais como: renda *per capita*, PIB, PIB *per capita* e nível de industrialização. Mais recentemente, o IDH começou a ser utilizado. O IDH mede o progresso de uma nação a partir de três dimensões: renda, saúde e educação e é uma maneira padronizada de avaliação e medida do bem-estar de uma determinada população. Os países desenvolvidos geralmente são os que apresentam IDH muito elevado. Países que não se enquadram em tais definições são classificados como

países em desenvolvimento com IDH variando entre elevado e médio e subdesenvolvidos com IDH baixo (RDH, 2011).

Várias organizações mundiais tentam estabelecer esta classificação partindo de diferentes princípios e utilizando diversos termos, dentre as quais se pode citar o Banco Mundial, que utiliza uma classificação em função do rendimento nacional bruto *per capita*, ou renda *per capita*, o Fundo Monetário Internacional (FMI) que usa a nomenclatura de economias avançadas para os países desenvolvidos, a Organização das Nações Unidas (ONU) que adota o termo *Least Developed Country* (LDC), ou menos desenvolvido, para os países em desenvolvimento e em contra partida, o grupo de países desenvolvidos é chamado de países mais desenvolvidos economicamente, primeiro mundo ou países industrializados (NAÇÕES UNIDAS, 2011).

Pode-se considerar ainda a definição de países participantes ou não da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD). A OECD foi criada em 14 de dezembro de 1960, reunindo 20 países com o objetivo de alcançar o mais alto crescimento econômico sustentável, do emprego e de melhoria do nível de vida, mantendo a estabilidade financeira e, assim, contribuir para o desenvolvimento da economia mundial, para a expansão econômica nos Estados-Membros, bem como nos países em processo de desenvolvimento econômico e para a expansão do comércio mundial em uma base multilateral e não discriminatória, de acordo com as obrigações internacionais (OECD, 2012a). Desde 1960 outros 14 países somaram-se aos 20 iniciais.

Neste estudo, optou-se por elencar o grupo de países em desenvolvimento a partir do grupo G-20 criado pela Organização Mundial do Comércio (OMC). O G-20, ou Grupo dos 20, é um grupo de países em desenvolvimento, focado principalmente na agricultura e criado em 20 de agosto de 2003, em Cancun, México. Composto por 23 países de três continentes, o agrupamento representa 60% da população rural, 21% da produção agrícola, 26% das exportações e 18% das importações mundiais (ITAMARATI, 2012b).

Dentro desse contexto é importante ainda definir o grupo de países denominados BRICS.

A idéia dos BRICS foi formulada pelo economista-chefe da Goldman Sachs, Jim O'Neil, em estudo de 2001, baseado na análise dos meios econômico-financeiros, empresariais, acadêmicos e de comunicação. Em 2006, o conceito deu origem a um agrupamento, propriamente dito, incorporando à política externa de Brasil, Rússia, Índia e China e em 2011 a África do Sul passou a fazer parte do agrupamento, que adotou então a sigla BRICS (ITAMARATI, 2012a).

Ressalta-se que como agrupamento, o BRICS tem um caráter informal. Não tem um documento constitutivo, não funciona com um secretariado fixo nem tem fundos destinados a financiar qualquer de suas atividades. Em última análise, o que sustenta o mecanismo é a vontade política de seus membros. Ainda assim, o BRICS tem um grau de institucionalização que se vai definindo, à medida que os cinco países intensificam sua interação.

O peso econômico dos BRICS é certamente considerável. Entre 2003 e 2007, o crescimento dos quatro países que constituíam o agrupamento inicialmente representou 65% da expansão do PIB mundial. Em paridade de poder de compra, o PIB dos BRICS já supera hoje o dos EUA ou o da União Européia (UE). Em 2010, o PIB conjunto dos cinco países (incluindo a África do Sul), totalizou US\$ 11 trilhões, ou 18% da economia mundial. Considerando o PIB pela paridade de poder de compra, esse índice é ainda maior: US\$ 19 trilhões, ou 25%.

Santana (2012) relata que:

[...] Os cinco países do BRICS contam com algumas características que fazem com que esse grupo tenha relevantes pontos em comum. Esses países se encontram em situação política e econômica estabilizadas recentemente, apresentando PIB, exportação e importação em crescimento. É possível notar significativos investimentos em infraestrutura e, também, investimentos de empresas estrangeiras nos diversos setores da economia; além disso, os mercados de capitais desses países estão recebendo grandes investimentos estrangeiros. É possível notar, também, índices sociais em processo de melhorias; diminuição, embora lenta, das desigualdades sociais; grande quantidade de mão de obra em processo de qualificação; inclusão digital e boas reservas de recursos minerais.

2.1 PANORAMA ENERGÉTICO

A disponibilidade de energia é considerada um importante fator de produção e que contribui para o crescimento econômico moderno. Na década de 1970, com o aumento acentuado nos preços do petróleo no mercado mundial, surgiu a percepção geral quanto à possível escassez dos recursos energéticos e consequentemente a eficiência energética tornou-se um modelo a ser conquistado. Remonta desta época a adoção do monitoramento das tendências da eficiência energética em função do crescimento econômico, como um componente estratégico para definição de políticas energéticas (ANG, 2006). No final dos anos 1980 e na década de 1990, com a ratificação do Protocolo de Kyoto pela maioria dos países desenvolvidos, a preocupação com a eficiência energética tornou-se ainda mais importante, uma vez que a utilização de combustíveis fósseis constitui uma das principais fontes antropogênicas de emissões de CO₂. Assim, organizações internacionais com políticas energéticas comuns têm incorporado essas questões das últimas décadas em seus objetivos (ENFLO; HENRIQUES, 2007).

Soma-se a estas considerações o fato de que, para os países em desenvolvimento se estabelece uma situação paradoxal, ou seja, de um lado a energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento, que é uma de suas aspirações fundamentais e por outro lado o crescimento do consumo energético atrelado ao desenvolvimento vem a ser uma preocupação ambiental para o resto do mundo, já que estes mesmos países passam a emitir mais gases de efeito estufa, como se pode exemplificar com casos como o Brasil, a Índia e a China, que nos últimos anos se tornaram grandes emissores.

Em Mielnik e Goldemberg (2000) os autores discutiram a idéia de que os países em desenvolvimento deveriam se beneficiar dos conhecimentos e tecnologias utilizadas nos países industrializados, incorporando suas tecnologias limpas e eficientes, evitando, no entanto, o mesmo padrão de longo prazo adotado por eles. Desta forma estariam convergindo mais rapidamente aos índices de intensidade energética obtidos pelos países desenvolvidos.

2.1.1 Países Desenvolvidos

Grandes países da OECD, tais como: Austrália, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Itália, Japão, Noruega, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos, reduziram significativamente a necessidade de energia para alimentar o crescimento econômico ao longo das últimas três décadas (GELLER et al., 2006). Nestes países, o consumo total de energia primária por unidade do PIB diminuiu acentuadamente desde o primeiro choque do preço do petróleo. Conforme se observa na Figura 1, os países da OECD utilizaram no ano de 2008, 54% da energia primária para gerar uma unidade de PIB em relação ao que utilizavam em 1980. A relação consumo de energia / PIB caiu mais rapidamente logo após os dois choques do petróleo. Entre 1973 e 1983, a queda na intensidade energética primária média foi de 2,2% ao ano e manteve na faixa entre 1,3% e 1,8% de 1983 até 2008 (GELLER et al., 2006).

Figura 1 – Intensidade energética OECD
Fonte: Modificado de EIA, 2012

Diferentes países e regiões desenvolvidas adotaram políticas de eficiência energética distintas, como exemplo, pode-se citar as experiências da União Européia, dos Estados Unidos e do Japão.

Baseada em questões como a aceleração de mudanças climáticas e grande dependência energética, a UE adotou a Política Energética Européia (PEE) (LIMA; BRANDÃO; SOUZA, 2011) com a qual espera atingir melhores níveis de sustentabilidade (desenvolver economicamente sem aumentar a emissão de gás carbônico), segurança (dependência energética) e competitividade energética

(sensibilidade à variação do mercado internacional). O plano de ação adotado para se adequar ao PEE, é distinto em cada país ou região e vai de encontro com as características e peculiaridades do cenário energético.

Em 19 de outubro de 2006, em Bruxelas, foi lançado pela Comissão das Comunidades Europeias o Plano de Ação para a Eficiência Energética, o qual foi previsto para ser executado por um período de seis anos a partir de 1 Janeiro de 2007 a 31 de dezembro de 2012. O Plano apresenta uma série de medidas de curto e médio prazo. Foi também prevista uma avaliação intercalar para 2009 cujo objetivo seria a de revisar os potenciais de poupança de energia e a relação custo-eficácia dos instrumentos de política. Em 2009 foi realizada, pela organização *The Geological Surveys of Europe* uma consulta pública através da Internet com o intuito de apoiar a avaliação e revisão do Plano de Ação, através do conhecimento das opiniões das partes interessadas sobre sua eficácia e resultados, e a respeito da melhor forma da UE identificar e iniciar ações de melhores políticas e medidas que contribuam para o cumprimento das metas no que diz respeito à poupança de energia.

A meta estabelecida e que constitui um compromisso dos países membros, prevê a redução do consumo anual de energia primária em 20% até 2020 (em comparação com as previsões de consumo de energia para 2020). Este objetivo corresponde a uma poupança de cerca de 1,5% por ano. A necessidade de aumentar a eficiência energética é parte do objetivo triplo do '20-20-20 - iniciativa de 2020', que propõe uma poupança de 20% do consumo de energia primária e emissões de gases de efeito estufa, bem como a inclusão de 20% de energias renováveis no consumo energético.

Partindo do que foi estabelecido no Plano de Ações, os países da UE foram levados a elaborar planos de ações nacionais para a eficiência energética. Os planos incluem ações especiais para o setor público, empresas, incentivos fiscais, fundos, etc. Muitas das ações, não são, contudo, novas.

Nos Estados Unidos historicamente, os primeiros programas voltados à redução do consumo de energia elétrica datam da década de 70. Desde então, segundo Nadel (2006), a melhoria da eficiência energética tem contribuído muito

para o crescimento econômico da nação e aumento do nível de vida. Se a economia dos Estados Unidos tivesse utilizado a mesma quantidade de energia por unidade do PIB em 2004 como o fez em 1973, o consumo em 2004 teria sido 90% maior, sendo que um terço desta melhoria pode ser atribuído a mudanças estruturais na economia (como um declínio relativo da produção das indústrias intensivas em energia), e dois terços são devidos às melhorias em eficiência energética (GELLER et al., 2006).

Em cinco de outubro de 2009, o Governo americano divulgou um Decreto Federal ou Ordem Executiva (FEDERAL REGISTER, 2009), com diretrizes aplicáveis no âmbito das agências públicas federais para promoção da eficiência energética; redução das atividades que direta ou indiretamente contribuem na emissão de gases que provocam o efeito estufa; conservação e proteção dos recursos hídricos e prevenção da poluição. O decreto cita a necessidade de transparência por parte das agências federais envolvidas com a divulgação das ações e dos resultados.

O decreto estabelece metas para o ano de 2020 e subsequentes, prevê datas para a execução de etapas, e elenca uma série de ações a serem executadas para que as metas sejam atingidas. As metas, no entanto, são muito ambiciosas e alguns analistas aventam a possibilidade de que os requisitos estabelecidos em termos ambientais, energéticos, incluindo como resultado direto um desempenho econômico positivo, como prevê o decreto, são susceptíveis de terem um custo alto, uma implementação demorada e resultarem em uma limitação às agências federais dos Estados Unidos.

Já o Japão tem uma forte tradição de promover a eficiência energética e busca sistematicamente atingir índices elevados de conservação de energia como um meio de reduzir sua dependência de fontes externas (YORK, 2005). O foco inicial para promoção do uso eficiente de energia foi voltado para projeto e desenvolvimento tecnológico. O Ministério da Indústria e do Comércio Internacional japonês (*Ministry of International Trade and Industry* - MITI) começou em 1978, o que ficou conhecido como o *Moonlight Project*, que consistiu no desenvolvimento de novas tecnologias. Durante a segunda crise do petróleo, a Lei sobre a Utilização Racional de Energia foi estabelecida. Seu principal objetivo era promover a utilização eficiente de

combustível, e centrou-se em fábricas, edifícios, instalações e equipamentos. Esta lei foi revista várias vezes e desempenhou um papel central na política de eficiência energética no Japão.

Atualmente, o ECCJ (*Energy Conservation Center Japan*) é responsável pela maior parte dos programas japoneses. O Japão adotou uma nova iniciativa de eficiência energética como parte de sua estratégia para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Dentro do contexto da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Kyoto, dezembro de 1997), o país desenvolveu um plano para redução do consumo de energia até o ano de 2010, numa taxa de aproximadamente 14% do consumo de 2001 (GELLER et al., 2006).

2.1.2 Países em Desenvolvimento

O rápido crescimento das economias dos países em desenvolvimento levou a uma mudança no poder econômico mundial. Segundo perspectivas sobre o Desenvolvimento Global (OECD, 2010), a crise econômica e financeira está acelerando a transformação estrutural de longo prazo na economia global. Como é possível verificar na Figura 2, as previsões sugerem que os países em desenvolvimento tendem a representar cerca de 60% do PIB mundial até 2030.

Enquanto a década de 1990 foi uma década perdida para grande parte das economias, as taxas de crescimento mudaram significativamente na década de 2000, quando um número considerável de países em desenvolvimento começaram a convergir fortemente para os patamares econômicos dos países ricos da OECD. O forte desempenho da China e da Índia tem tido um impacto significativo sobre este cenário.

Figura 2 – Participação da economia global em termos de paridade de poder
Fonte: OECD (2010)

Respondendo a essa tendência, a OECD começou a estreitar as suas relações com as principais economias emergentes: reforçou os seus laços com o Brasil, China, Índia, Indonésia e África do Sul e recebeu recentemente o Chile como seu 31º membro e tem convites estendidos para Estônia, Israel e Eslovênia. A Rússia também está negociando para se tornar membro.

Esta mudança estrutural na economia mundial reflete em questões sociais. Desde 1990 o número de pessoas no mundo que vivem com menos de um dólar por dia caiu mais de um quarto - aproximadamente 500 milhões. Até agora, no entanto, estas reduções têm sido principalmente concentradas em um só país - a China. Outros países fizeram progressos, mas a um ritmo insuficiente para contrabalançar o efeito do crescimento populacional. A redução da pobreza ainda representa um grande desafio para o mundo em desenvolvimento.

Particularmente no Brasil, observou-se no biênio 1993 e 1995, que a proporção de pessoas abaixo da linha da miséria passou de 35,3% para 28,8% da população brasileira, fato justificado pela implantação do Plano Real. Novamente entre os anos de 2003 e 2005 ocorreu uma nova queda acentuada nestes percentuais que foram de 28,2% em 2003, para 22,7% em 2005, justificada pela manutenção de políticas para cumprimento das metas inflacionárias, associadas a alterações na política social com iniciativas como a criação do programa Bolsa Família e reajuste do salário mínimo entre outras.

É importante ressaltar que este reajuste da economia mundial não é um fenômeno transitório, mas representa uma mudança estrutural com significado histórico. Além disso, a sustentabilidade ambiental, os crescentes níveis de desigualdade entre os países e a concorrência são três questões importantes levantadas pela deslocação da riqueza (OECD, 2010).

Na área energética, as preocupações com a segurança energética, a ameaça das alterações climáticas, a necessidade de atender a uma procura crescente de energia associadas à necessidade da redução dos níveis de emissões de CO₂ constituem grandes desafios.

Todos os cenários propostos no estudo ETP 2010 (*Energy Technology Perspectives 2010* (IEA, 2010) confirmam um fato bastante surpreendente: no futuro, quase todo o crescimento da demanda de energia e das emissões provirá de países não OECD. Por conseguinte, a disseminação das tecnologias energéticas hipocarbônicas nestes países constitui uma questão crucial, em particular para as economias mais importantes e com o crescimento mais rápido, como Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (YORK, 2005).

Devido à importância dos países do BRICS dentro do contexto energético mundial atual, é relevante verificar o panorama energético desses países em particular.

China

Devido à predominância do carvão como fonte de energia, a China terá de investir maciçamente em tecnologias mais limpas e melhorar a eficiência da utilização do carvão na geração elétrica e na indústria. Além disso, deverá também ser dada prioridade às medidas destinadas a melhorar a eficiência energética e a redução das emissões de CO₂ nas indústrias de energia intensiva como do ferro e aço, do cimento e a indústria química. O setor dos transportes tem evoluído muito rapidamente no que se refere às vendas de veículos, à construção de infra-estruturas e à introdução de novas tecnologias. As reduções significativas das emissões dependerão da eletrificação dos meios de transporte e de uma importante descarbonização do setor elétrico (IEA, 2010).

Segundo Ying (2007), os esforços do governo chinês para promover a inovação ambiental nos domínios da eficiência energética e energias renováveis têm se concentrado em ações visando a aceleração de ajustes estruturais, como a re-orientação do paradigma de crescimento econômico, a partir de uma abordagem equilibrada, reestruturação de fornecedores de serviços de eficiência energética (as *Energy Services Company* - ESCO's), melhoria da tecnologia e produtividade, investimento em Projeto e Desenvolvimento (P&D), eliminação de aparelhos ultrapassados, desenvolvimento de recursos humanos para a eficiência energética e cooperação internacional.

Além disso, ações no âmbito regulamentar estão sendo implementadas, como por exemplo, normas de eficiência de combustíveis, políticas fiscais, criação de um fundo de promoção da energia renovável, diretivas da gestão de rotulagem, entre outros. Completam o conjunto de ações, a publicação de um Plano Geral de Trabalho de Conservação de Energia e Redução de Poluentes e a definição da meta de redução do consumo de energia por unidade do PIB em 20% no período entre 2005 e 2012.

Índia

Na Índia, por sua vez, o maior desafio consiste em alcançar um desenvolvimento econômico rápido, o que implica em um aumento significativo da procura de energia, por parte de uma população em crescimento – com um aumento muito pequeno das emissões CO₂. O consumo de eletricidade deverá crescer fortemente e a necessidade de criar imensas capacidades adicionais oferece uma oportunidade única para construir um sistema elétrico hipocarbônico neste país.

Embora a Índia possua algumas das unidades industriais mais eficientes do mundo, também conta com um grande número de unidades pequenas e ineficientes. Neste contexto, o melhoramento global da eficiência industrial constitui uma meta a ser alcançada. O aumento do padrão de vida da população e da produção industrial implica no aumento da frota de veículos, tornando imprescindível a promoção dos transportes públicos e das novas tecnologias com baixa produção de carbono. O setor da construção civil deverá apresentar também um forte crescimento na procura energética: a maior eficiência dos dispositivos de arrefecimento e aquecimento será essencial para limitar o aumento do consumo de energia e das emissões (IEA, 2010).

Segundo Balachandra (2009) medidas voltadas para a conservação de energia marcaram a década de 1990 na Índia, através de uma série de iniciativas e programas inovadores criados pelo Governo. Já os anos seguintes foram marcados pela preocupação crescente sobre fontes de energia e sustentabilidade e uma mudança na abordagem da eficiência energética, o que resultou na Lei da Conservação de Energia em 2001, e a criação do Departamento de Eficiência

Energética (*Bureau of Energy Efficiency – BEE*) com o objetivo de implementar esta lei.

Além disso, pode-se citar a criação de uma Comissão de Planejamento, formada por um grupo de especialistas com o objetivo de desenvolver uma política energética integrada, apresentada em 2006, que trata de várias fontes e formas de energia (eletricidade, carvão, petróleo, gás, energia nuclear, hidrelétricas, incluindo as fontes renováveis de energia eólica, solar, biocombustíveis, e as plantações de madeira), a demanda projetada e a disponibilidade de recursos, a segurança energética, eficiência energética, bem como as prioridades de Projeto e Desenvolvimento.

Os esforços do governo indiano, podem ser exemplificados pela efetivação de ações, como a criação e implementação de códigos, normas e rotulagem para energia, a promoção de novas iniciativas relacionadas com mudanças tecnológicas e de processos, a regulamentação do uso da energia através de vários instrumentos econômicos e financeiros, a criação de programas de capacitação e disseminação de informação e a criação de condições favoráveis para P&D, transferência de tecnologia e inovações; entre outras.

Rússia

Contando com uma das maiores reservas mundiais de gás natural, a segunda maior reserva de carvão, e sendo o segundo maior produtor de petróleo do mundo, cerca de 68% da eletricidade na Rússia é gerada por usinas térmicas, 16% são hidrelétricas e 16% vem de reatores nucleares. O setor industrial é o que mais consome energia neste país.

O crescimento da demanda de gás natural na década de 1990 foi incentivado por políticas internas de preços que mantiveram os preços do gás em patamares baixos, enquanto os do carvão e do petróleo foram liberalizados. Os anos de transição política instável da década de 1990 resultaram em poucos investimentos em novas infra-estruturas ou manutenção em todos os setores: industrial, transportes e residencial. A idade média elevada da infra-estrutura russa significa eficiência média baixa, mas também significa que o "espaço de manobra" da Rússia

é muito maior do que muitas das outras principais economias industriais. O tamanho geográfico do país e as suas fontes de recursos naturais possibilitam que políticas energéticas e metas de modernização feitas pelo governo russo a curto prazo possam ajudar a moldar não só as perspectivas de desenvolvimento econômico nacional, mas também a segurança energética e sustentabilidade ambiental (IEA, 2012).

A economia russa está se recuperando da grave recessão dos anos de 2008 e 2009, mas ainda não chegou aos níveis de maior atividade pré-crise. Uma pesquisa econômica da OECD (2012b) recomenda que uma combinação equilibrada de uma política macroeconômica bem definida, melhorias decisivas no ambiente de negócios, incluindo esforços determinados para reduzir a corrupção e reforçar o Estado de Direito, e aumento da eficiência energética poderá gerar sinergias que contribuam para acelerar a convergência global e melhorar os padrões de vida da população russa.

O objetivo de reduzir a intensidade energética da Rússia em 40% até 2020, comparado ao de 2007, foi anunciado pelo presidente Medvedev em 2008 e sua realização trará implicações substanciais para a redução das emissões de CO₂. A Rússia estabeleceu sua política energética em um documento de Estratégia de Energia, que tem por finalidade: um aumento na eficiência energética, redução dos impactos sobre o meio ambiente, desenvolvimento sustentável, energético e tecnológico, bem como uma maior eficácia e competitividade (TRUDEAU, N.; MURRAY, I., 2011).

África do Sul

A oferta de energia primária na África do Sul é dominada pelo carvão, responsável por 71%, seguido pela importação de petróleo bruto que corresponde a 20% da energia primária utilizada, principalmente no setor dos transportes. O carvão também domina a geração de eletricidade, com uma quota de 92%. Além disso, o óleo combustível sintético produzido a partir do carvão é utilizado no setor de energia. Outras fontes de energia utilizadas são o gás, a energia nuclear, e a energia de biomassa.

O setor energético é responsável por cerca de 89% do total de emissões de gases de efeito estufa na África do Sul. Ele também fornece infra-estrutura que representa um elemento essencial e importante para o país atrair investimentos estrangeiros.

Um dos efeitos do isolamento político da África do Sul até 1994 tem sido de que poucos recursos foram direcionados para a redução dos agentes causadores das mudanças climáticas. Como resultado, tanto os processos políticos como as implicações substantivas de tal mudança para o país em geral e especificamente para o setor de energia, constituem um grande desafio para as forças políticas do país.

A ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC) criou para a África do Sul um cenário de obrigações e oportunidades. Para atender a essas obrigações e capitalizar as oportunidades, políticas locais corretas para lidar com sua economia intensiva em energia e uma estratégia para assegurar uma distribuição justa de renda, além de outros benefícios, fazem-se necessárias.

Algumas iniciativas em curso tomadas por parte do governo oferecem possibilidade para a realização de sinergias entre a mudança climática e o desenvolvimento sustentável.

Dentre estas iniciativas pode-se citar as políticas desenvolvidas pelo *Department of Minerals and Energy* (DME) e o Regulador Nacional de Energia, com ênfase específica em projetos de energia sustentável para serem implementados de forma conjunta com a reestruturação da indústria de distribuição de energia, a introdução do gás natural e a construção de gasodutos. O planejamento prevê a efetivação da utilização do gás natural como matéria-prima complementar ao carvão, a expansão do mercado de gás e o incentivo, por parte do governo sul africano, à implementação de fontes de energia renováveis para aplicação em pequena e grande escala e à pesquisa de novas tecnologias (DAVIDSON, 2002).

Apesar das ações tomadas pelo governo para vincular sustentabilidade e desenvolvimento com as questões climáticas, é sabido que existem outras grandes

prioridades na África do Sul, tais como a desigualdade racial e a criação de empregos. Esses fatores, certamente irão dominar as ações do governo em um futuro imediato. O desafio é como aliar esses objetivos a outras questões como a mudança climática e o desenvolvimento sustentável.

Brasil

A configuração do cenário energético brasileiro, publicado em 2011, pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Consumo final de energia por fonte
Fonte: EPE: Balanço Energético Nacional (2011)

Após a primeira crise no abastecimento de petróleo, iniciou-se no Brasil uma mobilização no sentido de redução da dependência do setor energético a esta fonte. Programas para desenvolvimento ou adaptação de tecnologias foram surgindo ao longo das últimas décadas, como por exemplo, para a produção e utilização do etanol a partir da cana de açúcar ou os relativos às fontes renováveis como energia eólica, solar e centrais hidrelétricas de pequeno porte. Além disso, existem boas perspectivas com a bionergia tanto com os biocombustíveis atuais (bioetanol e biodiesel para veículos, bagaço para a produção de eletricidade, lenha de reflorestamento para produção de carvão vegetal e outros), quanto com os chamados biocombustíveis de segunda geração: como por exemplo, o etanol da celulose (LUCON; GOLDEMBERG, 2009).

Paralelamente, ocorreu a instalação de três usinas nucleares e um importante crescimento na produção interna de petróleo, acrescida ainda recentemente com a exploração da camada pré-sal e também o aumento da produção de gás natural, com a exploração de jazidas na plataforma continental.

Na Figura 4 é possível analisar a evolução da dependência existente no abastecimento da energia no Brasil com as fontes externas.

Figura 4 – Dependência externa de energia
Fonte: EPE: Balanço Energético Nacional (2011)

Observa-se uma tendência decrescente para a eletricidade e o petróleo, para o qual o país apresentou auto-suficiência nos últimos anos. Este efeito sobreposto a crescente dependência relativa ao carvão mineral resulta numa situação total estável.

No Brasil o carvão mineral é utilizado de duas formas: carvão vapor, cuja produção é nacional e cerca de 90% é usado na geração de energia elétrica; e carvão metalúrgico, essencialmente importado, usado para geração de energia elétrica, e nas indústrias de cimento, aço ferro-gusa, química, alimentos e bebidas, metálicos diversos, entre outras. Assim sendo, o crescimento da dependência externa à esta fonte energética é motivada pelo atendimento à demanda industrial crescente (expansão do parque siderúrgico) que utiliza carvão mineral importado.

Nesse contexto, tendo-se como base os resultados da análise do período compreendido entre os anos de 1970 e 2005, observa-se o aumento na produção primária de energia em vista a retomada do crescimento econômico, a redução do

consumo de lenha, com a diversificação da matriz energética, o aumento do consumo do gás natural, seguindo uma tendência mundial e a expansão do consumo da biomassa em todos os setores, sendo que o Brasil posiciona-se como referência mundial na produção e consumo deste tipo de combustível.

Devido à universalização e ao crescimento econômico ocorreu um forte aumento do consumo de eletricidade. A geração hidrelétrica continua predominando, no entanto, ocorreu a expansão da capacidade instalada de termelétricas, favorecendo a mitigação dos riscos hidrológicos.

Outra característica a se considerar, diz respeito à relação existente entre a evolução do PIB e da oferta de energia. Na Figura 5 pode-se verificar que o PIB e a energia consumida apresentam coeficientes de crescimento muito próximos, o que demonstra que ao longo dos anos analisados, no Brasil, não houve uma dissociação do crescimento econômico e do consumo energético, o que poderia ter ocorrido em função do uso mais eficiente dos recursos.

Figura 5 – Evolução do consumo de energia e do produto interno bruto
Fonte de dados: World Bank (2011)

Com relação às previsões relativas ao crescimento de consumo energético, conforme se observa na Figura 6, as taxas são superiores à verificada no período entre os anos de 1980 e 2005, qualquer que seja o cenário considerado.

Além disso, no período entre 1970 e 1980 houve uma queda na intensidade energética, que relaciona diretamente o consumo de energia com o PIB, o que pode ser justificado pela substituição da lenha por outros energéticos mais eficientes, processo que praticamente está esgotado, de modo que não se deve esperar

reduções tão grandes no horizonte prospectivo, ao menos em decorrência de substituição de energéticos no uso final.

Embora tenha continuado a substituição da lenha nos anos 1980, a incorporação, nesse período, de grandes indústrias de consumo energético intensivo como a do alumínio, compensou em parte o movimento, de modo que a queda da intensidade foi relativamente pequena. Já entre 1990 e 2000 houve, ao contrário, aumento na intensidade, o que não permite de imediato concluir que a economia brasileira perdeu eficiência do ponto de vista energético, uma vez que o estágio de desenvolvimento do país e de sua indústria pode explicar esse comportamento. No período entre 2000 e 2010, observa-se uma tendência de alta devido à expansão das plantas industriais.

Figura 6 – PIB e energia: taxas médias de crescimento
Fonte: MME (2007)

As perspectivas a longo prazo, para os cenários considerados, apresentam uma tendência de reversão do crescimento da intensidade energética, sobretudo no caso dos cenários de maior crescimento, A1 e B1 (MME, 2007).

A eficiência energética no Brasil

Tomando-se por base os dados apresentados no documento Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) – Premissas e Diretrizes Básicas (MME, 2011) é possível traçar a evolução histórica da eficiência energética no Brasil.

O principal marco regulatório foi a Lei da Eficiência Energética de 2001 (lei Nº. 10.295 – 2001) que estabeleceu limites de consumo, ou requisitos mínimos para máquinas ou aparelhos que consomem energia.

À cargo do Comitê de Gestão de Indicadores de Eficiência Energética, constituído pelas instituições relevantes, ou seja: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), Agências Reguladoras, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, foi estabelecido o novo quadro de colaboração, a fim de definir os indicadores e níveis de eficiência energética em diferentes setores.

Em 2001 registra-se a regulamentação da Lei de Eficiência Energética e instituição do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, composto por representantes de órgãos e entidades governamentais, representantes das universidades e especialistas; e a criação do Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País - GT-Edificações (2002).

Ainda dentro do contexto regulatório, tem-se a Lei Nº 10.438, de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e dispõe ainda sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e a Lei Nº 12.212, de janeiro de 2010 que dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica.

Em 2011, fruto de um trabalho conjunto do governo, universidades, empresas e especialistas, foi elaborado e consolidado o PNEf, o qual se encontra atualmente em uma fase de detalhamento no período entre os anos de 2012-2014 e tem sua implantação sob responsabilidade do Ministério de Minas e Energia (MME).

As premissas e diretrizes básicas propostas no PNEf incluem uma gama de assuntos muito abrangentes, tanto na área regulatória, como no setor público, industrial, de transportes, edificações, saneamento, e educação. Discorre ainda a respeito do Programa Brasileiro de Etiquetagem, Procel, Conpet e P&D. Para esses setores o plano analisa o potencial de redução de consumo, e apresenta propostas

de ações, além de formas de financiamento de iniciativas de eficiência energética, programas de cooperação internacional e uma metodologia para medição e verificação de projetos.

O PNEf é considerado um plano estratégico que possibilitará que as metas do Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 sejam atingidas, uma vez que a eficiência energética é considerada nos estudos de planejamento. Além disso, consiste em um importante documento de consulta e subsídio para a tomada de decisões, uma vez que reuni um grande conjunto de informações.

Ao propor ações para a implementação de metodologias de medição e verificação em programas e projetos de eficiência energética, o plano vem preencher uma lacuna, que é a falta de dados e indicadores de desempenho nesta área. Ressalta-se ainda como extremamente positivas as ações propostas relativas ao financiamento de projetos desenvolvidos pelas Empresas de Serviços de Conservação de Energia –(*Energy Service Company* – ESCO's), que muitas vezes não possuem capacidade financeira de suportar financiamentos de grandes projetos somente com seu capital social. Com a presença mais significativa das ESCO's, o Brasil vem seguir o exemplo de outros países, onde estas empresas têm representado um importante papel nos programas de eficiência energética (BARDALES; ZAGO; SAIDEL, 2009).

O desafio que se impõe reside no sucesso da implantação das ações propostas no PNEf, uma vez que estas dependem da aderência de diversos setores como governo, empresas e sociedade. Parece necessário que os setores envolvidos não priorizem apenas interesses individuais, mas também o bem comum e este não é um objetivo fácil de ser alcançado.

2.2 OS INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO

Conforme o iDicionário Aulete (2012):

[...] Desenvolvimento significa ação ou efeito de desenvolver(-se); evolução; crescimento, aumento, progresso, de entidades e seres organizados. Já desenvolvimento econômico tem o significado de crescimento econômico, social e político de um país, uma região ou comunidade: Traçar planos para o desenvolvimento [...].

Até meados dos anos 80, o único índice utilizado e aceito internacionalmente como indicador de desenvolvimento socioeconômico era o Produto Interno Bruto que representa o montante de toda a riqueza produzida.

Observa-se, no entanto, que a utilização desse índice pode gerar distorções, principalmente em economias díspares onde as diferenças econômicas, sociais e culturais são muito grandes, uma vez que este índice não considera o indivíduo, a região, escolaridade e diferenças de renda, entre outros fatores determinantes na avaliação da qualidade de vida de um povo.

Em 1990, o primeiro relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) propagou o conceito de desenvolvimento humano como plataforma para a sustentabilidade.

O conceito de desenvolvimento humano passou então a constituir a base do Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH), publicado anualmente, e também do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Ele parte do pressuposto de que para aferir o avanço de uma população não se deve considerar apenas a dimensão econômica, mas também outras características sociais, culturais e políticas que influenciam a qualidade da vida humana (PNUD, 2012).

A cargo do PNUD, o relatório foi idealizado pelo economista paquistanês Mahbub ul Haq (1934-1998) com a colaboração do economista indiano Amartya Sen, ganhador do Prêmio Nobel de Economia de 1998. Atualmente, é publicado em dezenas de idiomas e em mais de cem países.

2.2.1 O IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

Apesar de ter sido publicado pela primeira vez em 1990, o índice foi recalculado para os anos anteriores, a partir de 1975.

O objetivo da elaboração do IDH é oferecer um contraponto ao PIB *per capita*, que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento e pretende ser uma medida geral, sintética, do desenvolvimento humano.

Além de computar a renda, mensurada pelo PIB *per capita*, em dólar PPC (paridade do poder de compra), que elimina as diferenças de custo de vida entre os países, o IDH também leva em conta dois outros componentes: a longevidade e a educação. Essas três dimensões têm a mesma importância no índice, que varia de zero a um (PNUD, 2012). No Apêndice E o método de cálculo do IDH utilizado a partir do ano de 2010 é apresentado.

Com base nos seus estudos sobre crescimento econômico, Guimarães e Jannuzzi⁵ (2005 apud SANTANA, 2012, p.71) puderam confirmar que o crescimento econômico, por si só, não traz aumento na qualidade de vida, e esse fato foi capaz de incentivar a procura por novos indicadores que fossem mais abrangentes do que o PIB *per capita*, para mensurar o bem-estar populacional.

As palavras de Amartya Sen, no prefácio do RDH de 1999, explicam o significado deste índice (PNUD, 2012):

[...] Devo reconhecer que não via no início muito mérito no IDH em si, embora tivesse tido o privilégio de ajudar a idealizá-lo. A princípio, demonstrei bastante ceticismo ao criador do Relatório de Desenvolvimento Humano, Mahbub ul Haq, sobre a tentativa de focalizar, em um índice bruto deste tipo - apenas um número -, a realidade complexa do desenvolvimento e da privação humanos. [...] Mas, após a primeira hesitação, Mahbub convenceu-se de que a hegemonia do PIB (índice demasiadamente utilizado e valorizado que ele queria suplantá-lo) não seria quebrada por nenhum conjunto de tabelas. As pessoas olhariam para elas com respeito, disse ele, mas quando chegasse a hora de utilizar uma medida sucinta de desenvolvimento, recorreriam ao pouco atraente PIB, pois apesar de bruto era conveniente [...].

⁵ GUIMARÃES, J.R.; JANNUZZI, P.M. IDH, indicadores sintéticos e suas aplicações em políticas públicas: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. v.7, n.1, p.73-90, 2005.

2.3 OS INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

No Apêndice A deste trabalho é apresentada uma análise desenvolvida, utilizando técnicas bibliométricas, na tentativa de conhecer a evolução ao longo do tempo do estudo da energia nos países em desenvolvimento e quais os tópicos que se relacionam mais intensamente com este tema e ainda verificar a intensidade relacional do estudo da eficiência energética dentro deste contexto. Os resultados obtidos sugerem que, no decorrer dos anos abrangidos pela análise, a grande maioria dos autores vem se concentrando em questões referentes ao estabelecimento de relações de causalidade entre consumo de energia e produto interno bruto, ou seja, discute-se a questão do desenvolvimento e suas implicações no consumo de energia.

Ao longo dos anos vários indicadores foram desenvolvidos com o objetivo de monitorar a eficiência energética, o que têm atraído crescente interesse internacional.

Ang (2006) faz uma revisão pertinente a respeito do assunto. Alguns exemplos apresentados por ele são listados a seguir:

- O projeto *SAVE* desenvolvido pela Comissão Europeia em 1992, envolvendo 16 países. Este projeto tinha como o objetivo criar uma estrutura permanente de monitoramento, apresentando os índices nacionais de eficiência energética e emissões de dióxido de carbono. (ANG, 2006). Atualmente, o projeto *ODYSSEE MURE*, apoiado no âmbito do *Intelligent Energy Europe Programme* da Comissão Europeia, reúne representantes como agências de energia dos 27 Estados Membros da UE mais a Noruega e a Croácia e visa acompanhar as tendências de eficiência energética e políticas energéticas na Europa. O projeto conta com dois bancos de dados abrangentes: o *ODYSSEE* que contém, por um lado, dados detalhados sobre os *drivers* de consumo de energia por uso final e por setores da economia e, por outro lado, dados relativos à eficiência energética e emissões de CO₂ e o *MURE* que consiste em uma base de dados sobre medidas políticas (ODYSSEE, 2012);

- O Departamento de Energia dos EUA começou a sua análise de eficiência energética em 1993 e publicou seu primeiro relatório abrangente sobre o desenvolvimento de indicadores de eficiência energética para cada um dos setores da economia dos EUA em 1995. Mais recentemente, o Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis do Departamento de Energia dos EUA também estabeleceu um novo sistema nacional de indicadores para acompanhar as mudanças na intensidade energética da economia ao longo do tempo;
- A Agência Internacional de Energia tem desenvolvido indicadores de eficiência energética desde 1995 e sua primeira publicação importante sobre o assunto surgiu em 1997 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY⁶ 1997 apud ANG, 2006, p. 575);
- Em 1997, uma edição especial da revista *Energy Policy* - Volume 25, Issue 7–9 foi inteiramente dedicado ao tema dos indicadores de eficiência energética;
- Mais de 50 comitês *World Energy Council* participaram de um processo colaborativo levando a um relatório sobre políticas de eficiência energética e indicadores;
- Indicadores de Eficiência Energética também foram tema de dois importantes relatórios recentes emitidos pela *Asia Pacific Energy Research Centre* datados de 2001 e 2002; e
- A *National Research Council (NRC)* publicou sua sexta revisão anual a respeito do mesmo tema em 2004 com o título: *Natural Resources Canadá*.

A intensidade energética e eficiência energética são os dois conhecidos indicadores da relação de causalidade entre consumo de energia e desenvolvimento, comumente usados em análises macro econômicas.

Convencionalmente, a intensidade energética é definida como o consumo de energia dividido pela produção econômica, e a eficiência energética é o inverso da intensidade energética. Nas últimas quatro décadas a eficiência energética

⁶ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Indicators of energy use and efficiency. Paris: **OECD**, 1997

aumentou significativamente na maioria dos países desenvolvidos, o que tem sido usado para expressar o sucesso das políticas energéticas pós choque do petróleo (ENFLO; HENRIQUES, 2007). Alguns pesquisadores sugerem, no entanto, que com o uso de um indicador de eficiência energética convencional, ou seja, relacionando simplesmente consumo energético e desenvolvimento econômico, pode-se obter resultados inconsistentes (HU; WANG, 2006).

A eficiência energética, como definida anteriormente, por si só é um indicador pobre para classificar a eficiência dos países no tempo ou em comparações espaciais. Na prática ela pode ser influenciada por muitos fatores: mix de energia, o nível de auto-suficiência energética, estrutura econômica – principalmente o industrial, o clima, geografia, tradições e hábitos dos consumidores, as opções tecnológicas e mudanças na função de produção. A eficiência energética é difícil de conceituar e não há uma definição única comumente aceita. Várias referências relevantes tais como Boyd (2005), Huntington (1994) e Patterson (1996), lidam com diferentes definições.

Da literatura, a eficiência energética é frequentemente medida em termos de: indicadores termodinâmicos (definidos de uma forma simplista como a divisão do total do consumo energético, em quilocalorias, pela quantidade total de produto produzido), indicadores físicos (razão entre consumo energético por unidade de produção física) e indicadores econômicos (razão entre consumo energético por produção monetária). Cada grupo de indicadores tende a servir a um propósito certo e o indicador adequado a ser utilizado depende do objetivo. Num contexto geral, no entanto, a melhoria da eficiência energética significa usar menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou de saída útil.

Dentre os trabalhos mais recentes encontrados na literatura, que apresentam metodologias para estabelecimento das relações causais entre energia e desenvolvimento, tem-se a abordagem de fronteira paramétrica de Zhou, Ang e Zhou (2011), que consiste em uma técnica para estimar o desempenho geral da economia e da eficiência energética a partir do ponto de vista da eficiência da

produção, usando a função de distância de *Shephard*⁷ para definir um índice de eficiência energética e adotando a técnica de análise de fronteira estocástica para estimar o índice.

Outro trabalho (AS'AD, 2010) salienta a importância da incorporação das melhorias introduzidas por efeitos de eficiência técnica e dos fatores exógenos ao estimar funções de demanda de energia. Já os artigos de Jackson (2010a, 2010b) apresentam duas abordagens distintas. Em seu artigo Jackson (2010a) revê abordagens tradicionais utilizadas para avaliar a eficiência do serviço público de energia elétrica e os programas de *smart grid* e apresenta uma abordagem de modelagem baseada em agentes de utilização final que resolvem muitos dos problemas das abordagens tradicionais. Já no artigo (JACKSON, 2010b) o autor apresenta uma revisão das práticas correntes do orçamento de capital e seu impacto sobre os investimentos em eficiência energética. O uso predominante de *payback* curto como principal requisito na avaliação de projetos de eficiência energética é mostrado como risco. Uma estratégia de gestão de risco de investimento é apresentada como uma alternativa às práticas aplicadas com os limites de reembolso.

Além disso, agências nacionais de energia e organizações internacionais como a *International Energy Agency* (IEA) – EUA, *Energy Efficiency and Conservation Authority* (EECA) - Nova Zelândia, NRC - Canadá, *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* (EERE) - EUA e *Energy Efficiency Indicators in Europe*, através do projeto ODYSSEE, têm desenvolvido medidas próprias de eficiência energética e sistemas de monitoramento (ZHOU; ANG, 2008).

Em outra vertente de estudos, pesquisadores buscam desenvolver indicadores para o monitoramento das tendências da eficiência energética e economia ao longo do tempo, comparando a eficiência do rendimento energético entre países e regiões.

⁷ Tomando-se como base uma amostra de países / regiões e considerando um quadro produtivo em que o capital, o trabalho e a energia são tratados como entradas (vetor de insumos) e o produto interno bruto é tido como a saída (vetor produto), a função de distância de Shephard orientada pelo produto, neste caso, mede a máxima expansão proporcional do vetor produto, dado o vetor de insumos determinado, de maneira que a produção seja ainda factível.

Uma prática usual empregada na determinação da eficiência energética em função do desempenho da economia consiste na decomposição da variação do consumo de energia ou intensidade energética global em uma série de fatores, os quais são agregados conforme os efeitos nas mudanças de intensidade no uso final. A partir disso é então composto um índice de desempenho (ANG, 2006). O artigo de Ang (2006) propõe a análise do consumo de energia ou intensidade energética global por meio de métodos de Análise de Decomposição de Índice (*Index Decomposition Analysis - IDA*). IDA são métodos estatísticos comparativos que se baseiam em dados históricos e que permitem decompor as variações dos indicadores econômicos e ambientais em vários fatores e permitem, por exemplo, a avaliação das tendências globais de eficiência energética para uma indústria como um todo através da agregação significativa de sub setores de atividade. Esta técnica tem vários pontos fortes um dos quais está no fato de fornecer medidas agregadas que capturam as tendências de eficiência energética (LIU; ANG, 2007).

Esta abordagem tem sido adotada por agências de energia de vários países para acompanhar as tendências de eficiência energética em função da economia ao longo do tempo. A EECA na Nova Zelândia, em atendimento a Lei de Eficiência Energética e Conservação de 2000, realiza um acompanhamento e análise da eficiência energética, conservação de energia, e do uso de fontes renováveis de energia. Periodicamente é publicado um relatório com a análise de setores e sub setores da economia, com informações divididas também por atividades. O relatório apresenta o progresso da eficiência energética e energias renováveis na Nova Zelândia. O método utilizado pela EECA é o *divisia factorisation*, que é um tipo de Análise de Decomposição de Índice (EECA, 2009). Por sua vez, a canadense NRC em seu relatório anual de tendências de eficiência energética do Canadá, utiliza um método IDA para isolar o efeito da eficiência energética na economia, bem como em setores individuais. O método separa as mudanças no consumo de energia utilizada em cinco classes: tipo de atividade, estrutura, tempo de serviço e eficiência energética. (NRC, 2007).

Pode-se constatar, no entanto, que os estudos baseados na técnica de IDA, enfocam principalmente a medição de mudanças de eficiência energética ao longo do tempo em uma entidade específica, como um país ou um setor específico de

consumo de energia. Poucos deles realizaram uma avaliação comparativa do desempenho da eficiência energética através de diferentes entidades (ZHOU; ANG, 2008). Em contrapartida, a Análise Envoltória de Dados tem sido amplamente aplicada para avaliar os desempenhos de eficiência energética de diferentes entidades.

No método DEA (*Data Envelopment Analysis*), proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), é estabelecida uma fronteira não paramétrica de abordagem para avaliar a eficiência relativa de um conjunto de entidades comparáveis, conjunto este caracterizado por múltiplas entradas e saídas. O levantamento da literatura recente (ZHOU; ANG; POH, 2008) apresenta um aumento rápido no número de estudos utilizando DEA em uma ampla área de análise energética e ambiental.

Pode-se citar como exemplo, alguns estudos de eficiência energética que utilizam DEA: Boyd e Pang (2000) discutiram a relação entre a produtividade e a eficiência energética e indicaram que a melhoria da eficiência energética depende de fatores de melhoria da produtividade total. Ramanathan (2000) usou DEA para comparar a eficiência energética dos modos de transporte alternativos, Onut e Soner (2006) aplicaram DEA para avaliar a eficiência energética dos hotéis cinco estrelas na Turquia. Hu e Wang (2006) assim como Hu e Kao (2007) desenvolveram um índice de eficiência energética total, utilizando DEA. Azadeh et al. (2007) propôs uma abordagem integrada de DEA para avaliar a eficiência energética dos setores intensivos de produção de energia. Mukherjee (2008) apresentou vários modelos DEA para medir a eficiência energética dos setores da indústria transformadora. Lee (2008) desenvolveu uma análise de regressão combinada com DEA para estudo da eficiência energética de edifícios governamentais.

Mais recentemente tem-se o trabalho de Zhang et al. (2011) que utiliza a análise de fator total para investigar a eficiência energética em 23 países em desenvolvimento durante o período de 1980-2005. O trabalho aplica análise envoltória de dados (DEA) de janela, que possibilita medir a comparação dos índices de eficiência energética também através do tempo.

Outra análise relevante foi desenvolvida por Zhou e Ang (2008) que abordaram o princípio de que o uso de energia também resulta na geração de algumas saídas

indesejáveis, como por exemplo, as emissões de CO_2 , como subprodutos da produção de resultados desejáveis. Os autores ponderam que a medição da eficiência energética sem considerar saídas indesejáveis não parece fornecer uma pontuação eqüitativa para a eficiência energética de *benchmarking*. Por isso, propõem a avaliação da eficiência energética num quadro de produção conjunta, onde ambos os resultados desejáveis e indesejáveis são considerados simultaneamente.

No próximo capítulo o método DEA será apresentado como subsídio para sua posterior aplicação.

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é um método matemático para a medida de eficiência de unidades produtivas, ou seja, unidades que exercem atividades de produção ou venda de bens e/ou serviços destinados a terceiros.

Trata-se de um método não-paramétrico, sistematizado e resolvido com ferramentas computacionais, utilizado para medir a eficiência relativa de um conjunto de unidades produtivas similares. Neste trabalho, o termo DEA é utilizado tanto para o método como para a ferramenta computacional.

O histórico de desenvolvimento da Análise Envoltória de Dados iniciou-se com a teoria de medida da eficiência em casos de um único produto e um único insumo proposto por Farrell em 1957. Em 1978, Edward Rhodes em sua tese de doutoramento, apresentada à *Carnegie Mellon University* sob a orientação de W. W. Cooper, propôs um método de otimização de programação matemática, estendendo o trabalho de Farrell para modelos com múltiplos insumos e múltiplos produtos (SANTOS; NOVA, 2005).

Desde que foi introduzido, o modelo DEA tornou-se uma ferramenta analítica amplamente usada para medir e avaliar o desempenho das organizações (HEYNES; DINC, 2005) e tem sido aplicada em diversas áreas e contextos no mundo todo. Alguns exemplos das áreas em que tem sido utilizado são: saúde, educação, finanças, fabricação, aferição e avaliação de gestão, além de aplicações em avaliações governamentais de vários níveis.

A razão pela qual a Análise Envoltória de Dados tem sido utilizada em uma ampla variedade de atividades é a sua capacidade de lidar com múltiplas entradas e saídas sem ter que especificar uma relação de produção e sistema de ponderação (HEYNES; DINC, 2005).

Conforme Gregoriou⁸ (2007 apud LOPES, 2008, p. 3), o método DEA tem certas vantagens sobre os métodos paramétricos tradicionais como análise de regressão, por exemplo, uma vez que enquanto a análise de regressão calcula a eficiência da unidade organizacional por meio de uma aproximação à média, DEA tem seu enfoque nas observações individuais e otimiza a eficiência de cada unidade evitando problemas tradicionalmente associados aos modelos de regressão que requerem a especificação das relações funcionais entre o insumo e o produto.

Na sequência desse capítulo será apresentado o equacionamento do modelo DEA e no próximo item, são definidos alguns conceitos, que servirão como base para esse modelo.

3.1 DEFINIÇÕES

3.1.1 Produção

Entende-se por produção, ou processo produtivo, “[...] um processo no qual insumos, tais como, serviços de mão-de-obra, matéria-prima e serviços de bens de capital são transformados em um produto final. É possível sempre pensar esses insumos como serviços prestados por *fatores de produção*.” (VASCONCELLOS; OLIVEIRA, 2010, p.135, itálico do autor).

E ainda, de acordo com Pereira (2009), usa-se

[...] “processo produtivo” para designar todo conjunto de atividades que, se efetuadas devido à vontade humana, forneçam um produto ou serviço como variável de saída, quando o mesmo é alimentado por algumas macro variáveis de entrada inerentes e fundamentais ao próprio processo. Os processos produtivos são compostos de um ou diversos subprocessos. Todo processo produtivo impacta e é impactado pela sociedade [...].

Os fatores de produção ou macro variáveis de entrada podem ser divididos em dois grandes grupos: trabalho, que representa a capacidade dos seres humanos de transformar materiais e (ou) objetos em outros objetos, e o capital que representa

⁸ GREGOURIOU, G. N. Optimization of the largest US mutual funds using data envelopment analysis. *Journal of Asset Management*. v.6, p. 445-455, 2007.

tanto os estoques de bens naturais (terra) como os estoques de bens resultantes de um processo produtivo.

3.1.2 Capital

É um fator de produção que representa o potencial de produção, ou seja, a capacidade de algo ser transformado em um bem ou serviço. Não representa um bem ou serviço no presente, mas o estoque de bens econômicos heterogêneos, tais como: máquinas, terras, matérias primas, capaz de produzir outros bens e serviços. Existem diversos tipos de capitais, podendo-se citar como exemplo: capital humano, pessoal, social, natural, físico, financeiro, público, etc. Na linguagem econômico-financeira, o capital físico pode ser chamado de estoque de capital.

3.1.3 Curva Isoquanta

Em economia, uma curva isoquanta (*isoquant curve*), também chamada de curva de produtos iguais, é o gráfico de todas as possíveis combinações de fatores de produção que geram o mesmo nível de produção e é comumente utilizada no estudo da microeconomia para medir a influência dos fatores de produção no nível de produção ou na saída que pode ser alcançada (VASCONCELLOS; OLIVEIRA, 2010). Isoquantas são normalmente utilizadas em gráficos do tipo capital-trabalho, mostrando a troca tecnológica entre o capital e o trabalho na função de produção.

3.1.4 Unidades de Tomada de Decisão

Tomando-se várias unidades produtivas supõe-se que ao proporcionar as mesmas, uma variedade de insumos (entradas) idênticos, obter-se-á uma variedade de produtos (saídas) idênticos. No entanto, através de processos de produção e tecnologias distintas utilizadas em cada unidade produtiva, os níveis de entradas e saídas são eventualmente decididos. Desta forma, é possível estabelecer a comparação entre suas produtividades e investigar porque razão, umas são mais produtivas que outras.

De forma genérica, uma unidade é mais produtiva que outra em função das decisões tomadas pelos seus gestores, que lhe permitiram aproveitar melhor os

recursos. Essas decisões podem ser o uso de uma tecnologia mais avançada, a contratação de mão-de-obra mais qualificada, melhores técnicas gerenciais, ou outras. O importante é que a maior produtividade é, via de regra, decorrente de alguma decisão tomada (MELLO et al., 2005). A partir deste conceito definem-se as “Unidades de Tomada de Decisões” como as unidades produtoras envolvidas no processo decisório (mesmo nos casos em que não tomam decisão alguma as unidades produtivas recebem este nome). É usual utilizar a sigla DMU, do inglês *Decision Making Unit*. Além disso, Unidade de Tomada de Decisão ou DMU é o designador de uma unidade que está sendo analisada em um modelo de análise de envoltória de dados (DEA).

3.1.5 Avaliação Comparativa (*Benchmarking*)

A avaliação comparativa entre empresas, comumente referida pelo termo em inglês *Benchmarking* foi definida por Badin⁹ (1995 apud MACEDO; BENGIO, 2003, p. 6) como

[...] um processo contínuo e sistemático de avaliação de empresas e serviços através de sua comparação com unidades consideradas eficientes, levando ao estabelecimento de ações gerenciais efetivas com o objetivo de aprimorar os resultados (redução de custos, aumento de produção, etc.).

3.1.6 Rendimentos de Escala

O conceito de rendimentos de escala determina a forma com que a quantidade produzida aumenta conforme vão se agregando mais fatores de produção. Os rendimentos (ou retornos) de escala podem assumir três formas diferentes. Sejam $x_1, \dots, x_n$ os fatores de produção e q a quantidade produzida associada a estes fatores. Define-se:

Retornos constantes de escala: ao multiplicarem-se os fatores de produção por λ ($\lambda > 1$), a quantidade produzida também aumenta λ vezes. Em outras palavras, se $q = f(x_1, \dots, x_n)$, então:

⁹ BANDIN, N. T. **Avaliação da produtividade de supermercados e seu benchmarking**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

$$f(\lambda x_1, \dots, \lambda x_n) = \lambda \cdot f(x_1, \dots, x_n) \dots\dots\dots (1)$$

Retornos crescentes de escala: ao multiplicarem-se os fatores de produção por λ , a quantidade produzida aumenta mais do que λ vezes.

Se $q = f(x_1, \dots, x_n)$ então:

$$f(\lambda x_1, \dots, \lambda x_n) = \lambda_1 \cdot f(x_1, \dots, x_n) \dots\dots\dots (2)$$

e $\lambda_1 > \lambda$

Retornos decrescentes de escala: ao multiplicarem-se os fatores de produção por λ , a quantidade produzida aumentará **menos** do que λ vezes. Em outras palavras: dado $q = f(x_1, \dots, x_n)$, então:

$$f(\lambda x_1, \dots, \lambda x_n) = \lambda_2 \cdot f(x_1, \dots, x_n) \dots\dots\dots (3)$$

e $\lambda_2 < \lambda$.

As três funções apresentadas acima também podem ser interpretadas como funções homogêneas de grau 1, maior do que 1 e menor do que 1, respectivamente.

Estes conceitos estão ilustrados na Figura 7.

Figura 7 – Retornos de escala
Fonte: Adaptado de Vasconcellos; Oliveira (2010)

3.1.7 Eficácia

A eficácia é a capacidade de uma unidade produtiva atingir a produção que tinha como meta. Leva em consideração o que é produzido, sem levar em conta os recursos usados para a produção (MELLO et al., 2005).

3.1.8 Produtividade

A produtividade é basicamente definida como a relação entre a produção e os fatores de produção utilizados, ou seja, o que foi utilizado para produzir. Quanto maior for a relação entre a quantidade produzida e os fatores utilizados, maior é a produtividade. A forma mais simples de medir a produtividade consiste na razão:

$$produtividade = \frac{produtos}{insumos} \dots\dots\dots (4)$$

ou

$$produtividade = \frac{saida}{entrada} \dots\dots\dots (5)$$

Essa maneira tradicional é conhecida como medida de produtividade parcial. Quando usada, pode levar a uma avaliação errônea do desempenho, uma vez que pode atribuir ganhos a uma entrada ou saída que seriam resultantes de outros fatores não contemplados na análise (COOPER, SEIFORD e TONE, 2006).

O ideal seria então uma medida de produtividade total, considerando todos os insumos e produtos obtidos. No entanto, ocorre a dificuldade de agregar fatores diferentes como capital e trabalho em um único índice. Uma das maneiras encontradas é fazer a soma ponderada dos produtos e dividir pela soma ponderada dos recursos utilizados (BATISTA, 2009). Num processo, por exemplo, que utilize três entradas para produzir duas saídas, a medida de produtividade total pode ser expressa por:

$$produtividade_total = \frac{saida_1 \cdot u_1 + saida_2 \cdot u_2}{entrada_1 \cdot v_1 + entrada_2 \cdot v_2 + entrada_3 \cdot v_3} \dots\dots\dots (6)$$

Onde:

u_1 e u_2 = pesos atribuídos às saídas e

v_1, v_2 e v_3 = pesos atribuídos às entradas

3.1.9 Eficiência

Eficiência é um conceito relativo que pode ser definido de várias maneiras. Segundo Mello et al. (2005), eficiência consiste na comparação do que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

Já segundo Varian¹⁰ (1992 apud ARAUJO, 2008, p. 26), eficiência pode ser definida como a habilidade de uma unidade produtiva de maximizar os resultados de suas operações - saídas, considerando um determinado montante de entradas, ou ainda o inverso, de minimizar as entradas, mantendo-se fixo o montante de saídas resultantes do processo.

Há distinções na forma de avaliar a eficiência. Os chamados métodos paramétricos supõem a existência de uma função matemática pré definida entre os recursos e o que foi produzido, ou seja, entre entradas e saídas. Já os métodos não paramétricos, entre os quais se encontra a Análise Envoltória de Dados, não requerem o estabelecimento de uma função e consideram que o máximo que poderia ter sido produzido é obtido por meio da observação comparativa das unidades mais produtivas.

Ainda segundo Heynes e Dinc (2005, p. 609) trata-se da medida da capacidade de uma unidade para produzir saídas a partir de um dado conjunto de insumos. A eficiência de uma unidade de tomada de decisão é sempre relativa às demais unidades no conjunto analisado, de modo que o escore de eficiência é sempre uma medida relativa. Logo, enquanto a produtividade refere-se genericamente à relação produto - insumo, a eficiência de um sistema de produção pode ser definida como a

¹⁰ VARIAN, H. R. **Microeconomic Analysis**. 3rd ed. New York and London: W. W. Norton, 1992.

relação produto – insumo observada e a relação produto - insumo ótima (TORESAN, 1988).

Farrell (1957) propôs que a eficiência de uma organização consiste de dois componentes: eficiência técnica, que reflete a habilidade de uma organização em obter máxima saída para um dado conjunto de entradas e diz respeito às relações físicas entre produtos e insumos, e eficiência alocativa, que reflete a habilidade da organização em usar proporções ótimas de insumos e diz respeito à relação de preços entre insumos e entre produtos. O produto das eficiências técnica e alocativa mede a eficiência econômica ou a performance geral da organização. O diagrama de Farrell (1957), que está representado na Figura 8, auxilia o entendimento deste conceito.

Figura 8 – Diagrama de Farrell
Fonte: Adaptado de FARRELL (1957)

Considera-se inicialmente, uma organização utilizando dois insumos (x_1 e x_2) para produzir um produto (y). Supondo que uma função de produção eficiente seja conhecida, isto é, a maneira como a organização pode obter uma saída perfeitamente eficiente a partir de qualquer combinação das entradas, e supondo ainda retornos constantes de escala. Esta última suposição permite traçar uma isoquanta unitária, ou seja, o conjunto de pontos que representam as várias combinações de x_1 e x_2 que a organização pode usar para produzir de maneira perfeitamente eficiente uma saída unitária ($y = 1$). A isoquanta unitária está representada no diagrama da Figura 8, assim como uma reta de inclinação igual à

razão dos preços dos insumos (reta pp). O par ótimo de insumos, no sentido de minimizar os custos, é o ponto onde estas curvas se encontram (ponto C).

Considera-se agora, uma organização operando no nível representado pelo ponto A no diagrama. Observa-se que uma organização operando no ponto B utiliza a mesma proporção de insumos que no ponto A e pertence ao mesmo nível de produção. Nesse caso, poder-se-ia reduzir a quantidade de insumos mantendo-se a mesma proporção entre eles e ainda assim produzir a mesma quantidade. Farrell (1957) define a eficiência técnica da organização A como sendo $\frac{OB}{OA}$, sendo que esta medida atinge o seu valor máximo igual a unidade, no caso da organização migrar do ponto A para o ponto B pertencente à curva isoquanta unitária. Em qualquer outra situação, quanto mais distante da mesma, mais próxima de zero torna-se a eficiência técnica.

Logo:

- A eficiência técnica: é dada por $\frac{OB}{OA}$ e está associada à utilização de insumos;

Por outro lado, apesar da organização apresentar medida de eficiência técnica igual a um quando operando no ponto B , este não é o ponto ótimo para os preços utilizados no exemplo. Se a organização estivesse produzindo no ponto C , a mesma estaria trabalhando no mesmo nível de produção só que com os custos sendo somente a fração $\frac{OB}{OD}$ dos custos no ponto B . Farrell (1957) define tal razão como sendo a medida de eficiência alocativa.

Logo:

- A eficiência alocativa é dada por $\frac{OB}{OD}$ e está associada aos preços dos insumos.

Farrell (1957) argumenta que caso uma organização que operasse no ponto B mudasse a proporção de seus insumos mantendo sua eficiência técnica constante,

seus custos seriam reduzidos na proporção $\frac{OB}{OD}$ desde que a razão dos preços de seus insumos não variasse. Logo, seria razoável usar esta mesma razão para a organização A. Dessa forma, organizações que operam utilizando a mesma proporção de insumos teriam a mesma medida de eficiência alocativa.

Caso a organização que opera no ponto A fosse eficiente tanto no sentido alocativo quanto no técnico, seus custos seriam $\frac{OD}{OA}$ vezes o que são na realidade. A razão $\frac{OD}{OA}$ é denominada eficiência total.

Observa-se ainda que:

- A eficiência total é dada por $\frac{OD}{OA}$ ou $\frac{OB}{OA} \cdot \frac{OD}{OB}$

Ou

- *Eficiência total = Eficiência técnica x Eficiência alocativa*

3.1.10 Fronteira de Eficiência

Denominação dada à fronteira representada pelo melhor desempenho das unidades de tomada de decisão – DMU's. A fronteira de eficiência é composta pelas unidades produtoras que são mais eficientes na transformação de suas entradas em saídas. As unidades que determinam a fronteira são classificadas como sendo 100% eficientes e, conseqüentemente, qualquer unidade fora da fronteira tem um índice de eficiência inferior a 100%. A eficiência de uma unidade produtiva ineficiente, ou melhor, não 100% eficiente está, portanto, relacionada a sua distância radial com relação à fronteira. (HEYNES; DINC, 2005).

A Figura 9 ilustra o conceito de Fronteira de Eficiência.

Figura 9 – Fronteira de eficiência
Fonte: Mello et al. (2005)

Na figura, o eixo X representa os insumos (entradas) e o eixo Y os produtos (saídas). A curva S , a Fronteira de Eficiência, indica o máximo que foi produzido para cada nível de recurso. A região abaixo da curva é chamada de Conjunto Viável de Produção.

A partir deste conceito é possível se diferenciar produtividade de eficiência, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Curva de um processo produtivo
Fonte: Mello et al. (2005)

Na figura, as unidades B e C são eficientes, uma vez que estão localizadas na fronteira de eficiência (S), no entanto, a unidade C é mais produtiva pelo fato do

coeficiente angular da reta OC ser maior que o coeficiente angular da reta OB . A unidade A é simultaneamente uma unidade menos produtiva e menos eficiente.

3.1.11 Folga

Nome dado à subprodução de saídas ou ao uso excessivo de insumos; representa as melhorias, na forma de um aumento de saídas ou diminuição de entradas, necessárias para possibilitar que uma unidade ineficiente se torne eficiente (HEYNES; DINC, 2005).

3.1.12 Alvos

Consiste nos valores das entradas e saídas a serem atingidos para que uma unidade ineficiente se torne eficiente (HEYNES; DINC, 2005).

3.1.13 Entradas e Saídas Virtuais

Nome dado ao valor calculado a partir da soma de todas as entradas (ou saídas) referentes a uma DMU parte de um processo produtivo, multiplicando o valor da entrada (ou saída) pelo peso correspondente ideal para a DMU em questão. O valor do peso ideal corresponde à solução do modelo de programação linear primal.

3.2 MODELAGEM DO MÉTODO DEA

O método DEA possibilita a medida da eficiência relativa uma vez que determina o desempenho da DMU sob avaliação quando esta é comparada às demais unidades. Por este motivo, é sensível à inclusão ou exclusão de qualquer unidade no conjunto sob análise.

Cooper, Seiford e Tone (2006), afirmam que no método DEA, uma DMU é considerada totalmente eficiente se e somente se não for possível minimizar qualquer entrada ou maximizar qualquer saída desta unidade sem prejuízo de alguma outra entrada ou saída, respectivamente. Esta definição, também conhecida como Eficiência de *Pareto-Koopmans*, devido às contribuições dos economistas

Vilfredo Pareto e Tjalling Koopmans, foi posteriormente implementada por Farrell. Segundo Casa Nova¹¹ (2002 apud ARAUJO, 2008, p.30), “Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolveram suas pesquisas considerando múltiplas entradas e saídas. O método DEA, resultante desta pesquisa, permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica possíveis graus de ineficiência das DMU's”.

A DMU considerada como mais eficiente servirá de parâmetro para o julgamento de todas as outras, permitindo desta forma a análise comparativa. O objetivo do DEA é construir um conjunto de referência e classificar as DMU's em unidades eficientes ou ineficientes, tendo como parâmetro delineador uma fronteira de eficiência (ARAUJO, 2008).

É possível criar e estimar modelos que proporcionam projeções de entrada ou saída orientada tanto para retornos de escala constantes como variáveis. Além disso, a análise por envoltória de dados soluciona problemas orientados à entrada, que procuram otimizar a diminuição proporcional dos insumos (variáveis de entrada) mantendo os produtos (saídas) constantes, como problemas orientados à saída que visam a otimização do número de produtos (saídas), mantendo os insumos (entradas) constantes. A Figura 11 ilustra tais conceitos. Observar que as setas, na Figura 11, indicam o deslocamento para atingir a função de produção e consequentemente a orientação.

Figura 11 – Modelo CCR de orientação ao insumo ou ao produto
Fonte: Araújo (2008)

¹¹ CASA NOVA, S. P. C. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstração contábeis.** 2002. (Tese de Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

A seguir, são apresentados os modelos DEA mais relevantes: CCR e BCC.

3.2.1 O Modelo CCR

O modelo básico DEA foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e por isso é chamado de modelo CCR.

Nesta seção será apresentado o equacionamento deste modelo, o qual foi inicialmente desenvolvido com orientação para a entrada.

Consideremos um processo produtivo com n DMU's a serem avaliadas. Cada DMU estará sujeita a m entradas, ou irá consumir m tipos de insumos, o que resultará em s saídas, ou s produtos distintos.

Seja:

- x_{ij} o valor da i -ésima entrada da j -ésima DMU, logo com $i=1...m$ e $j=1,...n$;
- y_{rj} o valor da r -ésima saída da j -ésima DMU, logo com $r=1...s$ e $j=1,...n$;
- v_i , com $i=1,...m$ o peso referente ao aumento relativo na eficiência com cada redução unitária do valor de entrada; e
- u_r com $r=1,...s$ o peso referente à diminuição relativa na eficiência com cada redução unitária do valor de saída.

A eficiência E_j da j -ésima DMU pode ser escrita como segue:

$$E_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \dots\dots\dots (7)$$

Usando técnicas de programação matemática, o método DEA atribui otimamente valores para os pesos v_i e u_r para cada DMU, relativos a cada uma das entradas e saídas consideradas. Esta atribuição é sujeita às seguintes restrições:

- Os pesos são atribuídos de forma tal que quando o mesmo conjunto de pesos de entrada e saída (v_i e u_r) de uma DMU for aplicado a todas as outras DMU's que estão sendo comparadas, nenhuma outra DMU terá

eficiência superior a 1, ou seja, DMU's terão um valor de eficiência sempre menor ou igual a 1, e

- os pesos, v_i e u_r são não negativos.

A função objetivo, que deverá ser maximizada, da j -ésima DMU é a razão entre a saída total ponderada dividida pela entrada total ponderada:

$$\text{Max } E_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \dots\dots\dots (8)$$

Sujeita a

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \text{ para } j = 1, \dots, n \dots\dots\dots (9)$$

Sendo, $v_i \geq 0$ para $i = 1, \dots, m$, e $u_r \geq 0$ para $r = 1, \dots, s$.

Os pesos u e v são escolhidos de forma a maximizarem o escore de eficiência da unidade sob análise.

O modelo CCR generaliza a um único conjunto entrada/saída o cálculo da eficiência de problemas com múltiplas entradas e múltiplas saídas, através da construção de uma única entrada virtual e uma única saída virtual, calculando a eficiência relativa. Para uma determinada DMU, esta relação fornece uma medida de eficiência que é uma função de multiplicadores. O objetivo é maximizar a soma de saídas ponderadas da DMU, mantendo a soma ponderada de suas entradas no valor unitário, forçando assim a relação entre a saída ponderada e a entrada ponderada, num valor inferior ou igual a 1.

O problema apresentado deve ser resolvido para cada uma das DMU's e pode ser transformado em um problema de programação linear (PPL). Para tal, obriga-se que o denominador da função objetivo deva ser igual a uma constante, normalmente igual à unidade, ou seja, $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1$ (MELLO et al., 2005).

A formulação do modelo CCR é, então, apresentada em (10) (COOPER; SEIFORD; TONE, 2006). As variáveis de decisão são os pesos v_i e u_r .

$$\begin{aligned}
 \text{Max } E_j &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \\
 \text{Sujeito a.: } &\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \quad \dots\dots\dots (10) \\
 &\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, \dots, n \\
 &u_r, v_i \geq 0, \quad \forall x, y
 \end{aligned}$$

Existem casos, em que o objetivo buscado é a maximização dos produtos obtidos no processo produtivo sem alterar o nível das entradas. Nestes casos uma orientação do problema para as saídas vem a ser mais apropriada.

A eficiência, no modelo orientado às saídas, é calculada pelo inverso da função objetivo, ou seja, o problema define a relação das entradas sobre as saídas (MACEDO; BENGIO, 2003).

De maneira análoga, ao que foi apresentado anteriormente nas equações (8), (9) e (10), obtém-se o modelo CCR orientado a saídas:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } &\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \\
 \text{Sujeito a.: } &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} = 1 \quad \dots\dots\dots (11) \\
 &\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \geq 0, \quad k = 1, \dots, n \\
 &u_r, v_i \geq 0, \quad \forall x, y
 \end{aligned}$$

O modelo CCR é também conhecido como CRS - *Constante Returns to Scale*.

O método DEA consiste na construção de uma fronteira formada pelas unidades eficientes. Essa fronteira é constituída através da combinação linear das DMU's que apresentam as melhores práticas. As unidades sobre a fronteira são consideradas eficientes, enquanto as demais são ineficientes.

O modelo CCR, desconsidera os ganhos de escala quando calcula a eficiência, assim a eficiência de uma DMU é obtida por meio da divisão da sua produtividade pela maior produtividade dentre todas as DMU's em análise. Desta forma, a fronteira de eficiência adquire o formato de uma reta com ângulo de 45° (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006), conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 – Fronteiras de eficiência para o modelo CCR
Fonte: Adaptado de Cooper, Seiford e Tone (2006)

À modelagem primal apresentada é dado o nome de Modelo dos Multiplicadores, uma vez que os pesos são as variáveis de decisão.

Segundo o princípio da dualidade, a todo problema de programação linear primal associa-se outro problema denominado dual cujo resultado da função objetivo é o mesmo do problema original (THANASSOLIS¹², 2001 apud MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006, p. 8). Por meio das modelagens duais, é possível calcular os alvos, conforme definido em 3.1.12 para as DMU's ineficientes. Esses alvos são calculados por meio de variáveis λ_k .

O modelo dual desenvolvido a partir do Modelo dos Multiplicadores, apresentado em (12) é denominado Modelo do Envelope. Seja o processo produtivo com n DMU's descrito no início desta seção, considerando orientação a entrada, para a j 'ésima DMU pode-se escrever que:

¹² THANASSOULIS, E. Introduction to the theory and application of data envelopment analysis: a foundation text with integrated software. **Kluwer Academic Publishers**, 2001.

$$\text{Min } \theta_j$$

Sujeito a

$$\theta_j \cdot x_{ij} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \quad \text{para } i = 1, \dots, m$$

$$-y_{rj} + \sum_{k=1}^n y_{rk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad \text{para } r = 1, \dots, s \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

A função objetivo θ é tida como um indicador de eficiência da DMU analisada, ou seja, θ é o valor que deve ser multiplicado por todos os insumos (entradas) de forma a reduzi-los e assim obter valores que coloquem a DMU na fronteira eficiente. O primeiro conjunto de restrições garante que essa redução em cada um dos insumos (entradas) não ultrapasse a fronteira definida pelas DMU's eficientes. O segundo grupo de restrições garante que a redução das entradas não altere o nível atual das saídas da DMU analisada (MELLO et al., 2005).

Enquanto no Modelo dos Multiplicadores, os pesos são as variáveis de decisões, no Modelo do Envelope as variáveis de decisão são θ e os λ_k 's.

A partir da modelagem Dual e dos coeficientes λ_k 's é possível determinar quais DMU's eficientes podem ser adotadas como *benchmarks* para que as DMU's ineficientes possam alcançar a eficiência (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006). Para determinar as DMU's eficientes, é preciso considerar que cada variável λ_k representa uma DMU diferente. Sendo assim, após a resolução da modelagem dual, com relação à variável λ associada a uma determinada DMU pode-se afirmar que:

- Para $\lambda = 0 \Rightarrow$ a DMU não será um *benchmark* para a DMU analisada e
- Para $\lambda \neq 0 \Rightarrow$ a DMU será um *benchmark*.

A Figura 13 apresenta um exemplo gráfico do Modelo do Envelope para um processo produtivo com 6 DMU's, 2 entradas e 1 saída.

Figura 13 – Exemplo gráfico do modelo do envelope
Fonte: Adaptado de Mello et al. (2005) e Hu, Wang (2006)

Na figura, o eixo horizontal representa o valor da primeira entrada dividido pela saída, enquanto que o eixo vertical representa o valor da segunda entrada dividido pela saída. O gráfico é equivalente a uma curva de nível da fronteira eficiente para saída igual a 1.

O trabalho de Mello et al. (2005), faz uma análise muito elucidativa deste exemplo, a qual será descrita a seguir:

- As retas que ligam as DMU's ineficientes à origem permitem encontrar os alvos dessas DMU's, que são os pontos onde as retas interceptam a fronteira. Por exemplo, para a DMU *B*, o alvo é indicado pelo ponto *B'*. O fato do ponto *B'* estar localizado no segmento de reta determinado pelas DMU's *D* e *C*, significa que estas DMU's são os *benchmarks* da DMU *B*. No entanto, o alvo está mais próximo da DMU *D* do que da DMU *C*. Portanto, a DMU *D* é um *benchmark* mais importante para a unidade *B*;
- A distância de um ponto ineficiente *B* e o ponto alvo correspondente *B'* é denominada ajuste radial. Algebricamente o ajuste radial é dado por $(1 - \theta_B) \cdot x_B$
- Esta análise geométrica pode ser feita algebricamente pelo cálculo dos λ_k 's. Um λ igual a zero significa que a DMU correspondente não

é *benchmarks* para a DMU em análise. Quanto maior for o λ , maior a importância da DMU correspondente como referência para a DMU ineficiente. No exemplo da Figura 13, para a DMU B λ_E e λ_F são iguais a zero.

- Para DMU's C, D só é possível reduzir o valor de uma entrada e permanecer na fronteira de eficiência aumentando o valor da outra entrada ou diminuindo o valor da saída;
- A DMU F, apesar de eficiente, tem um comportamento distinto das demais DMU's. Ela pode diminuir a Entrada 1 (x_1) mantendo constante a Entrada 2 (x_2) e mesmo assim permanecer na fronteira. Essa quantidade que ainda é possível ser reduzida é denominada folga (ver 3.1.11). Desta forma, conclui-se que a DMU F, apesar de ser 100% eficiente não é tão eficiente quanto às outras unidades eficientes. (Aqui é possível identificar as DMU's C e D como ótimos de Pareto ou não dominadas. Já a DMU F é dominada pela DMU C);
- Para o modelo DEA CCR orientado a entradas, a folga igual a zero ocorre quando $\theta_j \cdot x_{ij} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k = 0$ e $-y_{rj} + \sum_{k=1}^n y_{rk} \lambda_k = 0$, para valores ótimos de θ e λ_k ; e
- Finalmente, para a DMU A, o ponto A' projetado na fronteira de eficiência corresponde ao alvo que a DMU deve atingir através da redução do ajuste radial AA'. No entanto, o nível de entrada do ponto A pode ser ainda reduzido para o nível de entrada do ponto D, mantendo o mesmo nível de saída, através da folga DA'. A soma da folga (DA') e o ajuste radial (AA') são denominados ajuste total, que corresponde à distância entre os pontos A e D (DA). O ajuste total representa o total dos valores das entradas que devem ser adaptados por uma DMU para atingir sua eficiência ideal.

Analogamente ao que foi exposto anteriormente, obtém-se o Modelo do Envelope com orientação a saídas:

$$\text{Max } \theta_j$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} x_{ij} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, m \\ -\theta_j \cdot y_{rj} + \sum_{k=1}^n y_{rk} \lambda_k &\geq 0 \quad \text{para } r = 1, \dots, s \quad \dots\dots\dots (13) \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned}$$

3.2.2 O Modelo BCC

Desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), o modelo BCC considera retornos variáveis de escala, isto é, substitui o axioma da proporcionalidade entre entradas e saídas pelo axioma da convexidade. Por este motivo, esse modelo também é conhecido como VRS – *Variable Returns to Scale*.

Ao obrigar que a fronteira seja convexa, o modelo BCC permite que DMU's que operam com baixos valores de entradas tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala (MACEDO; BENGIO, 2003).

Matematicamente, a convexidade da fronteira equivale a uma restrição adicional ao modelo CCR.

O modelo BCC desenvolvido por Casa Nova¹³ (2002 apud ARAUJO, 2008, p.31) propõe uma distinção entre ineficiências técnicas e de escala, isto é, estima a eficiência técnica para uma dada escala de operações.

As equações (14) e (15) descrevem os modelos BCC orientado às entradas e às saídas, respectivamente, com suas funções objetivo e suas devidas restrições.

Partindo-se do mesmo processo produtivo descrito na seção 3.2.1.

¹³ CASA NOVA, S. P. C. **Utilização da Análise por Envolvória de Dados (DEA) na análise de demonstração contábeis**. 2002. (Tese de Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

$$\begin{aligned} \text{Max } E_j &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + u_* \\ \text{Sujeito a.: } &\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\begin{aligned} &-\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + u_* + \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \geq 0, \quad k = 1, \dots, n \\ &u_r, v_i \geq 0, \quad \forall x, y, u_* \in R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min } E_j &= \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_* \\ \text{Sujeito a.: } &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} = 1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + v_* - \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \geq 0, \quad k = 1, \dots, n \\ &u_r, v_i \geq 0, v_* \in R \end{aligned}$$

Onde u_* e v_* representam coeficientes de retorno de escala.

A Figura 14 ilustra o Modelo BCC (VRS). Observa-se que modelo BCC, por sua vez, considera os ganhos de escala quando calcula a eficiência. Assim, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade dentre as DMU's que apresentam o mesmo tipo de retorno a escala, resultando em uma fronteira formada por retas de ângulos variados o que caracteriza uma fronteira linear por partes (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006).

Figura 14 – Fronteiras de eficiência para o modelo BCC
Fonte: Adaptado Cooper, Seiford e Tone (2006)

Matematicamente, a convexidade da fronteira introduzida no modelo BCC equivale a uma restrição adicional ao Modelo do Envelope, que passa a ser conforme indicado em (16) para orientação a entradas, e (17) para orientação a saídas.

$$\text{Min } \theta_j$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} \theta_j \cdot x_{ij} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \quad \text{para } i = 1, \dots, m \\ -y_{rj} + \sum_{k=1}^n y_{rk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \quad \text{para } r = 1, \dots, s \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

$$\text{Max } \theta_j$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} x_{ij} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, m \\ -\theta_j \cdot y_{rj} + \sum_{k=1}^n y_{rk} \lambda_k &\geq 0 \quad \text{para } r = 1, \dots, s \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

Nestes modelos $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ é associada às variáveis duais u_* e v_* .

3.2.3 Análise Comparativa entre os Modelos CCR (CRS) e BCC (VRS)

Tanto no modelo CCR como no modelo BCC, o valor de E indica o nível de eficiência da unidade. Se $E_j = 1$, então a unidade j , sob análise, está na fronteira e pode ser considerada eficiente. Por outro lado, se $E_j < 1$ a unidade j pode reduzir a quantidade consumida de insumos mantendo as quantidades produzidas inalteradas sendo, portanto, ineficiente. Em DEA cada unidade é comparada com uma unidade

virtual obtida por meio de uma combinação linear de todas as unidades eficientes, consideradas suas referências para definição de metas (*benchmarks*). O modelo de otimização busca os pesos para os insumos (v) e para os produtos (u). A Figura 15 ilustra uma análise comparativa entre os dois modelos.

Figura 15 – Análise comparativa entre os modelos CCR e BCC

Fonte: Adaptado de Mello et al. (2005)

A Figura 15 mostra a fronteira estimada de eficiência CCR e a fronteira estimada de eficiência BCC. A DMU que opera na fronteira é considerada eficiente enquanto que as DMU's que se desviam desta fronteira são consideradas ineficientes. No caso do modelo CCR com orientação ao insumo, a ineficiência técnica da unidade produtiva D, por exemplo, pode ser estimada pelo segmento DD''. Se considerarmos o modelo BCC, a ineficiência técnica é DD'. A diferença entre estas duas medidas é denominada ineficiência de escala.

Os Modelos BCC distinguem-se dos Modelos CCR pela existência do escalar u_* ou v_* , conforme orientação a entradas ou a saídas respectivamente, que representam os retornos variáveis de escala e estão associadas à restrição $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ no modelo do envelope. No caso de orientação a entradas, u_* negativo indica retornos crescentes, u_* positivo, retornos decrescentes e quando nulo indica retornos constantes de escala.

A Figura 16, apresentada por Jubran (2006) compila as informações referentes à aplicação dos métodos CCR e BBC, para cada tipo de orientação do problema, ou seja, à *INPUT* (entrada) ou à *OUTPUT* (saída).

Figura 16 – Classificação entre retornos de escalas e orientação
Fonte: Adaptado de Jubran (2006)

3.2.4 Outros Modelos DEA

Um modelo é uma representação da realidade sob o qual um método precisa se apoiar para poder ser utilizado. Os principais modelos do método DEA são o CCR, o BCC, assim como os multiplicativos variante e invariante e o aditivo. Além desses, existem outros dentre os quais o Modelo DEA de Janela (*Windows*) que será analisado posteriormente, ainda nesse capítulo. O Quadro 1 apresenta um resumo das características dos principais modelos do DEA.

Modelo	Retorno à escala	Forma da fronteira
Aditivo	Variável	Linear por partes
Multiplicativo variante	Variável	Cobb-Douglas por partes
Multiplicativo invariante	Constante	Log-linear por partes
BCC	Variável	Linear por partes
CCR	Constante	Reta de 45°

Quadro 1 – Quadro resumo: principais modelos DEA
Fonte: Mariano, Almeida e Rebelatto (2006)

3.2.5 Fator Total de Eficiência Energética Baseado em DEA

Como já foi descrito anteriormente, há dois conhecidos indicadores adotados para estudar como insumos energéticos são utilizados: a intensidade energética e a eficiência energética (ou produtividade energética). O índice de eficiência energética calculado de forma convencional consiste na realidade em um fator parcial de avaliação da produtividade, uma vez que a energia é a única entrada considerada, enquanto a substituição ou complemento entre energia e outros insumos (por exemplo, trabalho e capital) são negligenciados (CHANG; HU, 2010).

Na verdade indicadores que simplesmente relacionam consumo de energia e Produto Interno Bruto (PIB), sem levar em conta a possibilidade de substituição entre outros fatores de produção, podem constituir uma ferramenta insuficiente na classificação da eficiência em comparações temporais ou espaciais. Por exemplo, a relação de intensidade energética pode diminuir simplesmente substituindo o tipo de combustível utilizado ou mediante um aumento do número de trabalhadores manuais. Isso, entretanto, não significa que a energia é utilizada de forma mais eficiente. Embora a energia e o capital sejam complementares, máquinas, por exemplo, necessitam de energia e podem transformá-la, além disso, a substituição entre energia e capital também pode ocorrer. Investimentos em equipamentos que são mais eficientes na transformação ou distribuição de energia é uma forma de substituir a energia pelo capital quando a energia é cara, ou quando objetivos ambientais têm de ser cumpridos.

Para superar a desvantagem de fatores parciais de eficiência energética, um número crescente de pesquisadores tem se dedicado à análise do fator total de eficiência energética utilizando Análise de Envoltória de Dados. O Fator Total de Eficiência Energética, do inglês *Total-factor Energy Efficiency* (TFEE), proposto inicialmente por Hu e Wang (2006), pode ser definido como a razão entre o consumo de energia ideal e o consumo de energia real. Em seu trabalho Hu e Wang (2006) propõe uma solução que utiliza o modelo DEA – CCR para determinação do TFEE.

Em um trabalho posterior, Zhang et al. (2011), motivados pelas limitações do modelo CCR quanto à necessidade das DMU's, neste modelo, operarem em uma escala ótima e também quanto à necessidade de uniformidade entre as

características das DMU's, adaptaram o equacionamento desenvolvido por Hu e Wang (2006) para o modelo DEA – BCC.

Tomando-se como ponto de partida o Modelo do Envelope – BCC orientado a entradas, é possível observar que a metodologia DEA permite identificar o ponto mais eficiente na fronteira como um alvo (*benchmark*) para as DMU's ineficientes atingirem (COELLI; RAO; BATTESE, 1998). O modelo DEA – BCC possibilita a decomposição da eficiência total em eficiência técnica e eficiência alocativa (HU; WANG, 2006), conforme definições do item 3.1.9.

Na metodologia para cálculo do TFEE desenvolvida por Hu e Wang (2006), a distância entre o ponto ineficiente e seu alvo, é chamada de ajuste radial, pelo fato de ajustar o nível de insumos (entradas). O valor da entrada de energia “alvo” é identificado através da técnica DEA em conjunto com outros insumos, de modo a produzir uma saída econômica. Os ajustes exigem tanto uma promoção do nível de tecnologia como uma melhoria do processo de produção, de modo que a eficiência total é otimizada.

O valor do ajuste total da entrada de energia é considerado como a parte ineficiente do consumo real de energia (*Actual Energy Input – AEI*) para uma região. Quanto maior o valor do ajuste total, menos eficiente é o consumo de energia. Assim, se o valor do ajuste total de entrada de energia é igual a zero, então o consumo de energia nesta região é o consumo de energia alvo (*Target Energy Input – TEI*), o que significa a máxima eficiência quando sua produção é maximizada. A eficiência de energia, definida conforme (18) é chamada de fator total de eficiência energética (TFEE). Portanto, para a DMU i no tempo t :

$$TFEE(i,t) = \frac{TEI(i,t)}{AEI(i,t)} \dots\dots\dots (18)$$

Como o consumo energético alvo (*TEI*) é o melhor nível mínimo prático de entrada de energia em uma região, a entrada de energia real (*AEI*) é, portanto, sempre maior ou igual a *TEI*. Isso faz com o índice TFEE tenha seu valor sempre

entre 0 e 1. Quando o nível da entrada real de energia de uma DMU é igual ao consumo energético alvo, o índice TFEE será igual a unidade. Inversamente, se o nível de entrada de energia real está longe do consumo energético alvo, então o índice se aproxima de zero, o que representa baixa eficiência.

Zhang et al. (2011), acrescentaram a este modelo o conceito de ajuste total (*total adjustments* - TA), ou seja, o valor resultante da soma do ajuste radial e da folga, conforme definido no item 3.2.1. Desta forma, o valor do ajuste total (TA) para as entradas de energia é obtido a partir da diferença entre os valores do consumo energético alvo e da entrada real de energia. Assim, o alvo para os insumos de energia (TEI) neste estudo é, portanto, a entrada de energia real (AEI) menos o ajuste total (TA) e representa um nível mínimo de prática de energia que deve ser tomado como um alvo para se otimizar o consumo de energia.

Assim sendo, o fator total de eficiência energética ($TFEE$) é dado por:

$$TFEE(i,t) = \frac{AEI(i,t) - TA(i,t)}{AEI(i,t)} \dots\dots\dots (19)$$

De acordo com o modelo o ajuste total será sempre maior ou igual a zero. Ajuste total igual a zero indica que a energia real consumida é de fato a entrada de energia do alvo, assim TFEE é a unidade e a energia é utilizada na eficiência ideal. O TFEE é menor do que a unidade se o total de ajustes são maiores do que zero. Isto implica que há uma fonte de energia redundante, que deve ser reduzida sem afetar a produção. Portanto, o índice de TFEE está sempre entre zero e a unidade. Quanto maior o valor de TFEE, mais eficiente o consumo de energia.

O modelo busca identificar para uma determinada DMU sob análise, o nível mínimo de consumo de energia em conjunto com outros insumos que propicie um valor máximo de saída.

3.2.6 Fator Total de Eficiência Energética Baseado em DEA de Janela

Análise DEA de janela é uma variação do modelo DEA tradicional que permite abordar problemas com variáveis transversais e temporais. Esta técnica opera no princípio de médias móveis e estabelece medidas de eficiência ao tratar cada DMU

em períodos de tempos diferentes, como uma unidade separada e é útil para detectar tendências de desempenho de uma unidade ao longo do tempo. O desempenho de uma DMU em um período pode ser comparado com o seu próprio desempenho em outros períodos, bem como com o desempenho das outras DMU's. Isso aumenta o número de pontos analisados, o que pode ser útil quando se lida com amostras pequenas (ASMILD et al., 2004).

Portanto, a análise DEA de janela possibilita explorar a evolução do desempenho através de uma sequência de janelas sobrepostas. A idéia básica é considerar cada DMU como se fosse uma DMU diferente em cada período de tempo considerado. Variando a largura da janela, que é o número de períodos de tempo incluídos na análise, é possível cobrir o espectro da análise contemporânea, que inclui observações apenas de um período de tempo, à análise intertemporal, que inclui observações do período de estudo integral (TULKENS; VANDEM EECKAUT, 1995 apud ASMILD et al., 2004, p. 70)¹⁴.

Estando o valor da largura da janela entre um e o período total de tempo sob estudo, a janela definida para análise pode ser vista como um caso especial de análise sequencial. Em uma análise sequencial presume-se que o que era viável no passado permanece viável e, portanto, todas as observações anteriores são consideradas. Na análise de janela, no entanto, apenas as observações contidas no espaço de tempo correspondente à largura da janela são consideradas. Quando a janela é definida as observações dentro dessa janela são vistas de uma forma intertemporal.

Nota-se que desde que todas as unidades dentro de uma determinada janela são medidas umas contra as outras, esta abordagem assume implicitamente que não há mudanças técnicas dentro de cada uma das janelas. Este é um problema geral do método de Análise DEA de janela. Desta forma, para a análise oferecer resultados admissíveis, a largura da janela deve ser escolhida de forma tal que se possa assumir que as mudanças tecnológicas dentro de cada janela são

¹⁴ TULKENS H., VANDEM EECKAUT P. Non-parametric efficiency, progress and regress measures for panel data: methodological aspects. **European Journal of Operational Research**, v. 80, p. 474–499, 1995.

insignificantes. Larguras de janela estreitas, portanto, devem ser usadas para reduzir este problema. Charnes et al.¹⁵ (1994 apud ZHANG et al. 2011, p. 646) constataram que uma janela de tempo de três ou quatro períodos tendem a produzir o melhor equilíbrio entre informatização e estabilidade dos escores de eficiência.

Uma revisão sucinta do equacionamento do método DEA de Janela, conforme desenvolvida por Cooper, Seiford e Tone (2006) e Asmild et al (2004) é apresentada aqui.

Seja uma sequência de dados referentes a N DMU's ($n = 1, \dots, N$) as quais foram observadas em T períodos ($t = 1, \dots, T$) e cujo processo produtivo possui m entradas e s saídas. A amostra tem, portanto, $N \cdot T$ observações, e a n -ésima DMU no período t tem o vetor de entrada (com dimensão igual a m): $x_t^n = (x_{1t}^n, x_{2t}^n, \dots, x_{mt}^n)'$ e o vetor de saída (com dimensão igual a s): $y_t^n = (y_{1t}^n, y_{2t}^n, \dots, y_{st}^n)'$.

A janela com início no tempo k ($1 \leq k \leq T$) e com a largura w ($1 \leq w \leq T - k$) é denotada por k_w e tem $N \cdot w$ observações.

A matriz de entradas para a análise de janela é dada por (20).

$$X_{k_w} = (x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^N, x_{k+1}^1, x_{k+1}^2, \dots, x_{k+1}^N, \dots, x_{k+w}^1, x_{k+w}^2, \dots, x_{k+w}^N) \dots\dots\dots (20)$$

E a matriz de produtos (saídas) é dada por (21).

$$Y_{k_w} = (y_k^1, y_k^2, \dots, y_k^N, y_{k+1}^1, y_{k+1}^2, \dots, y_{k+1}^N, \dots, y_{k+w}^1, y_{k+w}^2, \dots, y_{k+w}^N) \dots\dots\dots (21)$$

O problema DEA orientado a entradas que deverá ser então solucionado para a DMU_t^0 é dado por:

¹⁵ CHARNES, A., COOPER, W.W., LEWIN, A.Y., SEIFORD, L.M. Data envelopment analysis: theory, methodology, and application. **Kluwer Academic Publishers**, Norwell, 1994b.

Min θ

Sujeito a.:

$$\theta x_t^o - X_{k_w} \cdot \lambda \geq 0 \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$Y_{k_w} \cdot \lambda - y_t^o \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, N \cdot w$$

Para o problema considerado com N DMU's, T períodos e largura de janela igual a w tem-se:

- $n^\circ \text{ de janelas } (z) = T - w + 1$
- $n^\circ \text{ de DMU's diferentes} = N \cdot w \cdot z$
- $\Delta \text{ } n^\circ \text{ de DMU's} = N \cdot (w - 1) \cdot (T - w)$

Sendo que Δ representa o acréscimo no número de DMU's em relação ao que seria considerado na análise DEA sem a tratativa dispensada às janelas temporais.

3.3 PARTICULARIDADES DO MÉTODO DEA

3.3.1 Vantagens

As principais características conforme Charnes et al.¹⁶ (1996 apud ARAUJO, 2008, p. 28) e também Yun et al.¹⁷ (2004 apud ARAUJO, 2008, p. 28), assim como vantagens, do método são:

- DEA pode ser aplicado para medir múltiplas entradas e saídas;
- Na sua forma clássica, o método DEA permite total flexibilidade na seleção dos pesos, o que é importante para identificar as DMU's ineficientes, que tem baixa performance, fazendo com que cada DMU atinja o escore máximo de eficiência viável para seus níveis de entradas e saídas.

¹⁶ CHARNES, A; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Data envelopment analysis: theory, methodology and applications**. 2nd ed. Norvell Kluwer Academic Press, 1996.

¹⁷ YUN, Y. B.; NAKAYAMA, H.; TANINO, T. A generalizad model for data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, p. 87-105, 2004.

- O método permite estabelecer limites, permitindo certa flexibilidade sobre o valor real dos pesos;
- DEA gera um único patamar de desempenho relativo às outras unidades;
- O método diferencia as unidades eficientes das ineficientes;
- DEA define os recursos e calcula o nível de ineficiência das unidades ineficientes;
- Mesmo desconhecendo informações sobre a função produção, o método DEA ainda pode ser usado para medir a eficiência relativa;
- DEA possibilita a inserção das preferências dos tomadores de decisão; e
- A análise por envoltória de dados possui a habilidade de detectar deficiências específicas, que não podem ser detectadas por outras técnicas.

3.3.2 Limitações

A aplicação do método DEA apresenta uma gama de questões relacionadas com a homogeneidade das unidades sob avaliação, o conjunto de fatores de entradas/saídas utilizado, assim como a medição desses fatores e os pesos atribuídos a eles na análise. Cada uma dessas questões pode apresentar dificuldades de ordem prática na aplicação DEA. Dyson et al. (2001) relatam algumas destas limitações ou “armadilhas”. Algumas dessas limitações são apresentadas, de forma sucinta, a seguir:

Suposições de homogeneidade

DEA faz uma série de suposições sobre a homogeneidade das unidades sob avaliação. Em geral, as unidades são tomadas como semelhantes em vários aspectos: atividades, produtos ou serviços comparáveis, utilização de tecnologias comuns, disponibilidade de faixa semelhante de recursos e finalmente, a suposição implícita de que as unidades estão operando em ambientes similares, uma vez que o ambiente externo em geral, oferece impactos ao desempenho global das unidades. No entanto, essa suposição raramente pode ser feita com segurança, e, como

consequência, as variáveis ambientais muitas vezes são trazidas para a análise para complementar o conjunto de entrada / saída.

As abordagens que possivelmente podem solucionar estas questões são: procurar comparadores externos e então fazer a comparação interna; agrupar as unidades em conjuntos homogêneos; incluir variáveis ambientais na análise; utilizar um modelo de retornos variáveis de escala (VRS) sendo, no entanto, aconselhável testar os dados separadamente para efeitos de escala e usar o modelo VRS apenas quando os efeitos de escala forem passíveis de serem demonstrados.

O conjunto de fatores de entrada e saída

A primeira armadilha na seleção de entradas e saídas é incluir fatores de forma indiscriminada. Como DEA permite flexibilidade na escolha de pesos nas entradas e saídas, quanto maior o número de fatores incluídos menor o nível de discriminação, conforme já foi discutido anteriormente. Além disso pode ocorrer a omissão de fatores importantes ou ainda misturar índices, muitas vezes associados a medidas de desempenho, com níveis de atividade, que são medidas de volume.

Incorporar índices, percentagens e outros dados normalizados no conjunto de fatores de entrada e saída pode ser aceitável se todas as entradas e saídas são deste tipo, mas o perigo ocorre quando são feitas tentativas para misturar estes dados com medidas de volume. Neste caso, várias soluções são possíveis, tais como: usar uma medida substituta, escalar o percentual de índice por uma medida de volume para torná-lo compatível com todas as outras medidas de volume (o que pode não ser simples no sentido de que não é sempre claro qual medida de volume usar) e ainda separar o numerador e denominador (das razões e percentagens), incluindo o numerador como uma entrada e o denominador como uma saída.

Para correta inclusão de fatores de entrada e saída é importante analisar cuidadosamente as considerações sobre a consistência da missão, objetivos e medidas de desempenho e evitar a omissão de variáveis puramente por razões de correlação.

Variáveis qualitativas

Ocorre em algumas aplicações a necessidade ou o desejo de incorporar variáveis qualitativas ao modelo, sendo que estes fatores são muitas vezes altamente subjetivos. Uma abordagem possível, neste caso é transformar medidas qualitativas em quantitativas através de rateio associado à minimização dos efeitos da subjetividade do fator na mensuração da eficiência.

Os critérios para escolha destes valores são: grau de correspondência, a habilidade de expressar esta correspondência de forma funcional e conformidade entre os resultados e os objetivos da análise (JUBRAN, 2006).

Entradas e saídas indesejáveis

Em algumas aplicações pode ocorrer a necessidade de inclusão de fatores indesejáveis na análise.

Na literatura são encontradas três abordagens possíveis: inverter o fator indesejável, ou seja, utilizar sinal negativo nos valores relativos aos fatores indesejáveis, que apresenta a desvantagem de destruir a relação ou escala de intervalo (presumido) dos dados e dos dados resultantes; subtrair o valor do fator indesejável do maior número inteiro maior que todas as saídas indesejáveis observadas, enquanto uma terceira opção é mover a variável a partir da saída para o lado de entrada do modelo, ou vice-versa.

Fatores exógenos

Algumas entradas e saídas podem ser exógenas às DMU's. Exemplos incluem condições ambientais, geográficas ou questões legislativas sobre as quais DMU's não tem nenhum controle. Outros fatores podem ser controláveis pela DMU, mas são limitados pela escala utilizada, como por exemplo percentagens, ou por limites físicos, o tamanho da área ou a demanda do mercado. Se tais fatores são tratados como entradas e saídas normais, podem ser atribuídos valores inviáveis pelo modelo ao identificar alvos eficientes.

Neste caso, duas abordagens podem ser consideradas, para um modelo DEA padrão: pode ser possível incluir todos os fatores exógenos como entradas e usar uma saída num modelo DEA orientado a saída ou incluir todos os fatores exógenos no lado de saída e usar um modelo orientado a entrada. Outra sugestão é o uso de modelos DEA que contemplem explicitamente a existência de fatores exógenos.

Pesos

A liberdade de selecionar e manipular os pesos utilizados para avaliar as unidades é um dos pontos fortes que define a técnica DEA. No entanto, algumas aplicações podem implicar em pressupostos limitantes associados à seleção dos pesos.

Dentre estes pressupostos pode-se citar: o fato dos pesos serem valores multiplicadores anexados às entradas e saídas resultando em funções de valor linear pode ser problemática como, por exemplo, quando para algumas saídas o valor adicional começar a diminuir, indo contra o princípio de linearidade.

Em alguns modelos DEA as restrições aos pesos permitem que os mesmos sejam iguais a zero o que significa que o fator ao qual o peso nulo foi anexado efetivamente é omitido da avaliação, no entanto quando um fator é incluído na avaliação DEA, pressupõe-se que o mesmo é importante e deve ser levados em conta. Quando livremente escolhidos, os pesos de entrada e saída podem violar algum pressuposto de relatividade entre os valores de fatores escolhidos para análise; certas entradas e saídas podem ser fortemente ligadas, e a flexibilidade na seleção dos pesos pode permitir, por exemplo, que um peso elevado e um peso baixo sejam atribuídos respectivamente a dois fatores fortemente ligados, o que iria contradizer o objetivo geral.

Um exemplo para ilustrar este problema, citado por Dyson et al. (2001) é relativo ao caso de cuidados pré-natais onde os bebês em situação de risco que sobrevivem aparecem como uma saída e estão diretamente ligados ao número total de bebês em risco, que é a entrada correspondente. Neste caso a técnica DEA, pode permitir que um peso elevado seja anexado ao número de bebês em risco,

enquanto um peso baixo seja atribuído para os sobreviventes, o que iria contradizer o desejo de uma elevada taxa de sobrevivência.

Essa deficiência do DEA pode ser superada pela restrição de peso, ou seja, pela atribuição de valores aos pesos. O principal objetivo dos métodos para restrições de peso é estabelecer limites dentro dos quais os pesos possam variar, preservando uma certa flexibilidade ou alguma incerteza sobre seus valores reais.

Dado que estas restrições são introduzidas no problema original, as pontuações de eficiência obtida com a nova formulação serão menores ou iguais aos valores obtidos com a formulação original. O número de DMUs eficientes é reduzida, melhorando a discriminação.

Segundo Angulo-Meza e Lins (2002), uma abordagem que pode solucionar os problemas relativos à atribuição de valores aos pesos é o método denominado: Atribuição Direta, que objetiva impor limites numéricos aos pesos do tipo:

$$\begin{aligned} \alpha_i &\leq v_i \leq \beta_i \text{ para a entrada } i, \\ \alpha_r &\leq u_r \leq \beta_r \text{ para a saída } r. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (23)$$

A finalidade destes limites é garantir que uma parte ou todas as entradas e saídas de variáveis não será superestimada ou ignorada na análise. Os valores dos limites dependem do contexto e podem ser estabelecidos após análise dos pesos resultantes do problema DEA original, ou seja, o problema resolvido sem restrições aos pesos. Outras abordagens que constam na literatura são o Modelo Cônico, o Região Garantida e o Região Garantida Global (COOPER; SEIFORD; TONE, 2006).

Além dos métodos de restrições de peso, existe uma outra solução elaborada para resolver o problema dos inúmeros empates de DMUs eficientes, que são obtidos na DEA clássica, decorrentes da liberdade de atribuição de pesos, que não leva em consideração, por exemplo, o equilíbrio entre as variáveis, as informações prévias sobre os pesos, a atribuição de pesos nulos, além de diversos outros fatores.

Trata-se da Técnica da Fronteira Invertida (LETA et al., 2005¹⁸ apud REINAS, et al., 2011, p.686).

No método DEA a fronteira eficiente é também denominada fronteira clássica.

Existe, no entanto, outra formulação denominada fronteira invertida, que consiste na troca dos fatores de entrada e saída de lugar. A Técnica da Fronteira Invertida consiste no cálculo de um índice composto a partir da média aritmética entre o índice da fronteira clássica ($E_{clássica}$) e o índice da fronteira invertida subtraído de um $(1 - E_{invertida})$, sendo que é interessante fazer a posterior normalização dos resultados para que se obtenha um índice que varie entre 0 e 1 (REINAS, et al., 2011).

[...] Pelo índice composto, a DMU mais eficiente é aquela que consegue ter um bom desempenho naquilo em que é melhor, dado pelo nível de eficiência clássica, sem ter um desempenho ruim naquilo em que é pior, dado pelo nível de eficiência invertida [...] (LETA et al., 2005¹⁶ apud REINAS, et al., 2011, p. 686).

Outras considerações:

- Devido ao fato de depender da alimentação de dados exógenos, o método DEA é sensível a ruídos, como erros de medição ou valores extremos; e
- O método DEA analisa o desempenho relativo, o qual converge de forma lenta para o desempenho absoluto, devido ao fato de se basear em dados observados, ao invés de buscar o ótimo absoluto.

Uma organização é tida como eficiente se fizer suas saídas terem rendimento máximo, a partir de uma determinada quantidade de entradas utilizadas. Há também uma compensação entre unidades eficientes e ineficientes. As unidades eficientes realizam um papel compensador para as DMU's ineficientes, uma vez utilizadas como parâmetro para as demais (FARRELL, 1957). Tal avaliação demonstra a necessidade de que as variáveis de entrada e saída representem fenômenos do

¹⁸ LETA, F. R. et al. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Investigação Operacional**. v. 25, n. 2, p. 229-242, 2005.

contexto real. Como exemplo, para calcular a eficiência de um sistema é necessário que as organizações identifiquem as principais variáveis atuantes no sistema que se pretende analisar.

Neste capítulo foi desenvolvida a modelagem da técnica DEA e no próximo capítulo será detalhado o procedimento para aplicação dessa técnica, assim como toda a metodologia empregada neste estudo e os resultados obtidos.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, será descrito inicialmente, um procedimento para aplicação do método DEA, baseado em Golany e Roll (1989). Na sequência será apresentado o modelo, bases de dados e ferramenta computacional utilizados, seguidos dos resultados obtidos nas simulações.

4.1 PROCEDIMENTO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA

A aplicação de qualquer abordagem analítica de avaliação requer conhecimento a respeito da formulação de modelos, escolha de variáveis, hipóteses subjacentes, representação de dados, interpretação de resultados e conhecimento de suas limitações (MAÇADA; BEEKER, 1999) e a Análise por Envoltória de Dados – DEA não foge a esta regra.

Golany e Roll (1989) sugerem um procedimento de aplicação do método DEA, o qual será apresentado na sequência e utilizado na elaboração do modelo e simulações relativas ao escopo deste trabalho.

A aplicação do método deve considerar três fases no estudo de medida de eficiência:

- Definição e seleção das Unidades de Tomada de Decisão (DMU's), para análise;
- Determinação dos fatores, ou seja, das variáveis insumos (entradas) e produtos (saídas) que são relevantes e adequados para avaliar a eficiência relativa das DMU's selecionadas; e
- Simulações e análise dos resultados.

Cada uma destas três fases compreende alguns passos. A Figura 17 apresenta um fluxograma do processo como um todo.

Figura 17 – Fluxograma para aplicação DEA
Fonte: Adaptado de Golany e Roll (1989)

4.1.1 Fase 1: Seleção das Unidades de Tomada de Decisão (DMU's)

Para a aplicação da técnica DEA surge a exigência de que as unidades sob análise façam parte de um conjunto homogêneo, onde comparações das DMU's façam sentido. Um grupo de unidades pode ser considerado homogêneo para atender aos objetivos do DEA quando:

- As unidades em consideração desempenham as mesmas tarefas, objetivos similares;
- Os insumos e produtos considerados, respectivamente variáveis de entrada e saída, que caracterizam o desempenho de todas as unidades

do grupo, são iguais, exceto por diferenças de intensidade ou magnitude; e

- Todas as unidades comparadas atuam sob as mesmas condições de mercado.

Uma vez definido um grupo homogêneo de unidades, o segundo passo consiste da definição do tamanho do grupo de comparação. Conforme Golany e Roll (1989), neste caso, duas situações contraditórias se apresentam.

Por um lado, existe uma tendência de se aumentar o número de unidades porque em uma população maior, tem-se uma maior probabilidade de unidades de alto nível de desempenho determinarem a fronteira de eficiência. Além disso, um conjunto com um grande número de unidades permite uma maior identificação das relações típicas entre entradas e saídas no conjunto. E ainda, o aumento do número de unidades possibilita a introdução de um número maior de variáveis na análise. Ainda segundo Golany e Roll (1989), uma regra que pode ser considerada na definição do tamanho do conjunto de DMU's é que o número de unidades deve ser no mínimo, duas vezes o número de entradas e saídas consideradas.

Por outro lado, um número grande de unidades pode diminuir a homogeneidade dentro do conjunto, aumentando a possibilidade de alguns resultados serem afetados por fatores exógenos, o que não seria interessante para a análise.

Deve-se ter em mente que a eficiência é medida com referência às DMU's e às variáveis selecionadas. Não há nenhuma garantia de que a seleção inicial é correta ou mesmo que melhor serve aos propósitos da análise. Assim, pode ser necessária a repetição dos passos do procedimento proposto na Figura 17 de forma iterativa. Nenhuma regra prática é sugerida para a determinação do número de interações, que depende inteiramente da aplicação específica. Além disso, pode ser útil em alguns casos apresentar mais de um conjunto de resultados provenientes de diferentes seleções de variáveis e DMU's.

Uma última consideração deve ser feita para o caso de análise DEA de janela. Neste caso a seleção das DMU's que deverão compor o modelo no processo de

avaliação é afetada por dois tipos de limites. Um compreende as fronteiras organizacionais, físicas ou regionais que definem as unidades individuais. O outro se relaciona com o tempo utilizado para medir as atividades das DMU's. De preferência, os prazos considerados devem ser naturais, correspondendo a ciclos sazonais. Outra consideração é quão longe ir, sem distorcer a comparação, ao se criar uma sobreposição de dados.

A etapa final da determinação do conjunto de unidades consiste em “filtrar” as DMU's que podem ser considerados como *outliers*, ou seja, unidades ou períodos de tempo que se desviam da caracterização geral do grupo a ser analisado. Este processo de filtragem dependerá muito da experiência do pesquisador.

Observa-se que as considerações aqui apresentadas tratam da aplicação do método DEA de maneira genérica. Por sua vez, a pesquisa desenvolvida neste trabalho, seguiu a mesma linha metodológica já testada por outros pesquisadores, dentre os quais se pode citar: Hu e Wang (2006), Chien e Hu (2007), Zhou e Ang (2008) e Zhang et al. (2011), tratando-se assim de uma metodologia já validada.

4.1.2 Fase 2: Seleção dos Fatores

Os fatores de avaliação são representados pelas variáveis de entradas e saídas do processo produtivo analisado e um dos principais desafios vem a ser a alta subjetividade aplicada na escolha destes fatores (JUBRAN, 2006).

Experiências apresentadas por alguns pesquisadores revelam que a seleção adequada de variáveis de entrada e saída é o passo mais importante na utilização do DEA para medir eficiência de qualquer tipo de organização, uma vez que determina o contexto de avaliação da comparação (Yeh¹⁹, 1996 apud MAÇADA; BEEKER, 1999, p. 6).

Esta fase do processo representa a busca de um modelo de referência, que descreva as relações de produção que regem as DMU's a serem analisadas. As

¹⁹YEH, Q. The application of data envelopment analysis in conjunction with financial ratios for bank performance evaluation. **J. Opl. Res.** v. 47, p. 980-988, 1996.

variáveis devem ser classificadas como de entrada ou de saída. Qualquer insumo usado pelas DMU's deve ser incluído como entrada. As DMU's convertem insumos em produtos, ou sejam, saídas. Geralmente o modelo de referência deve ser elaborado a partir de uma revisão bibliográfica acompanhada ou não de um estudo empírico.

Atenção especial deve ser dada ao processo de validação do modelo de referência. Neste sentido, é interessante buscar na literatura, constructos já validados, reduzindo o ônus de um processo completo de validação (MAÇADA; BEEKER, 1999).

Golany e Roll (1989) propõem a elaboração de uma lista inicial de fatores a serem considerados para avaliar o desempenho das DMU's, tão ampla quanto possível. Todos os fatores que podem afetar as DMU's a ser avaliadas devem ser incluídos na lista inicial. Tais fatores podem ser total ou parcialmente controláveis pelas DMU's ou, ainda, podem ser fatores ambientais, podendo ainda ser fatores quantitativos (mensuráveis) ou qualitativos (imensuráveis) com diferentes graus de dificuldade para atribuição de valores numéricos. Os fatores podem ser entradas ou saídas, ou podem ser colocados em ambos os lados de uma relação de produção. Todos os fatores que podem, eventualmente, ter qualquer relação com o desempenho da DMU a ser analisada devem ser listados nesta fase, sem qualquer tratamento numérico. Claramente, isso pode resultar em um grande número de fatores na lista inicial.

No entanto, a introdução de um grande número de fatores reduz a capacidade do método de distinguir as DMU's eficientes das ineficientes e, portanto, o modelo deve ser o mais compacto possível para maximizar o poder discriminatório do DEA. Logo, a partir desta lista inicial executa-se um procedimento para redução do número de fatores, utilizando-se de uma análise criteriosa, podendo ocorrer ainda, durante este processo, a inclusão de fatores adicionais ao modelo. Assim, os próximos passos são direcionados para a redução da lista inicial para uma que inclua apenas os fatores mais relevantes. Os fatores escolhidos devem distinguir claramente entre as unidades comparadas e servir eficazmente os objetivos da análise. Este refinamento da lista pode ser realizado em três estágios: classificação crítica; análise quantitativa e qualitativa e escolha da ferramenta de análise DEA.

Diversos autores indicam que a relação estabelecida entre as variáveis deve ser entre 4 a 5 vezes superior à quantidade de DMU's (ARAUJO, 2008). Cooper, Seiford e Tone (2006) definem que o número de DMU's deve ser pelo menos, três vezes maior que a quantidade de insumo m e produtos s . Com base em tais pressupostos, definem a relação entre a quantidade de variáveis e o tamanho da amostra (quantidade de DMU's) conforme equação (24).

$$n \geq \max\{m \cdot s; 3(m + s)\} \dots\dots\dots (24)$$

Sendo:

n = número de DMU's;

m = número de insumos (entradas); e

s = número de produtos (saídas).

Observa-se que não é necessário se preocupar em utilizar alguma técnica para seleção dos fatores quando se tem uma pequena disponibilidade de variáveis e grandes quantidades de observações, ou até mesmo nos casos em que o número de DMU's é pequeno em relação ao número de possíveis entradas e saídas. Assim, devem ser escolhidos os fatores que melhor descrevem a performance das DMU's sob análise (COOPER; SEIFORD; TONE, 2006).

Estágio1: Análise crítica.

Consiste em um exame crítico por especialistas no campo de operação das DMU's analisadas. O seguinte questionamento deve ser aplicado neste estágio:

- O fator ou variável relacionada contribui para, um ou mais, dos objetivos da avaliação?
- O fator ou variável carrega informações pertinentes não referenciadas por outros fatores?
- O fator ou variável contém elementos que interferem no conceito de eficiência técnica?
- Existem dados disponíveis relativos ao fator escolhido e os mesmos são confiáveis?

Estágio 2: Análise quantitativa e qualitativa.

Este estágio consiste na quantificação dos fatores selecionados. Para os fatores quantitativos devem ser utilizadas as unidades físicas. Para os fatores qualitativos devem ser atribuídos valores numéricos para que possam participar da avaliação matemática da eficiência. Nesta fase é necessário ainda observar que os algoritmos computacionais podem ser sensíveis a valores iguais a zero, que podem aparecer em função de períodos que não correspondem ao ciclo natural de operações ou por razões que deram origem a estes dados. Nestes casos, os períodos podem ser redefinidos ou os dados podem ser acumulados por vários períodos, evitando-se assim o valor zero.

O próximo passo dentro desta fase é classificar as variáveis em entradas e saídas. Insumos utilizados pela DMU são tipicamente entradas, enquanto os benefícios mensuráveis (produtos) gerados constituem as saídas. Isto, na maioria dos casos, é um procedimento simples, mas algumas variáveis podem ser interpretadas como entrada e saída, dependendo do ponto de vista do pesquisador, ou pode ter efeitos de *feedback*.

Finalmente, pode-se fazer uma análise de correlação para identificar a relação existente entre entradas e saídas. Segundo Golany e Roll (1989), uma relação fraca para alguns dos fatores (variáveis) pode indicar uma necessidade de reexaminá-los e, se necessário for, desconsiderá-los. Alternativamente, relações fortes podem indicar que as informações contidas na variável podem já ter sido representadas por meio de outra variável e, novamente, a desconsideração da mesma pode representar uma opção.

Além disso, quando um fator apresentar fraca relação com as entradas e forte relação com as saídas pode ser classificado como uma entrada. O resultado reverso sugere que é uma saída. A análise de correlação tende a eliminar as informações incorretas (HAYNES; DINC, 2005).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978), ressaltam que esses testes estatísticos não devem ser considerados como regras absolutas, mas como indicadores caso haja a necessidade de examinar alguns dos fatores mais de perto e Dyson et al. (2001)

afirmam que para a correta inclusão de fatores de entrada e saída é importante analisar cuidadosamente as considerações sobre a consistência da missão, objetivos e medidas de desempenho e evitar a omissão de variáveis puramente por razões de correlação. Tendo como base estas afirmações e partindo-se do fato de que, conforme foi ressaltado anteriormente, a metodologia utilizada nesta pesquisa já foi validada por outros autores, optou-se pela não aplicação da análise de correlação na determinação dos fatores de avaliação.

Estágio 3: Ferramenta de análise DEA.

Neste estágio deve ser feita a escolha do modelo DEA mais adequado a ser utilizado no processamento das informações. Os modelos diferenciam-se quanto ao tipo de retorno à escala (constante ou variável) e ainda quanto à orientação a entradas, enfatizando a redução das entradas; ou saídas, enfatizando o aumento das saídas.

Quanto ao tipo de retorno à escala tem-se dois modelos básicos: o CCR e o BCC. A restrição de convexidade na formulação do modelo BCC garante que a unidade comparável é de um tamanho de escala semelhante à da unidade que está sendo medido. O escore de eficiência obtido com este modelo dá uma pontuação que é pelo menos igual à pontuação obtida com o modelo CCR.

Quanto ao tipo de orientação do modelo, em alguns casos, as entradas são particularmente inflexíveis, sendo recomendado o modelo com orientação a saídas. Em outros casos as saídas são ajustadas a um conjunto de metas pré-definidas ou restringidas pelas condições ambientais, recomendando-se então neste caso, a adoção de um modelo com orientação à entradas.

4.1.3 Fase 3: Aplicação do Modelo DEA

A última fase consiste na aplicação de um dos modelos DEA e posterior análise dos resultados.

Existem várias ferramentas computacionais e soluções tecnológicas que permitem a incorporação método DEA em sistemas de apoio à decisão e processos de *benchmarking*. Haynes e Dinc (2005) descrevem as principais características e

Barr (2004) em sua pesquisa faz uma análise crítica e comparativa dos pacotes de software de aplicação de DEA mais relevantes, tanto comerciais como não comerciais.

Neste trabalho optou-se pela utilização do software *DEA Solver Pro*, devido ao fato de apresentar as capacidades necessárias quanto ao processamento de análises DEA de janela; facilidade de interoperabilidade e interface; os relatórios gerados são importantes e suficientes; a documentação de apoio é completa, uma vez que exemplos de aplicação fazem parte do conteúdo do livro de Cooper, Seiford e Tone (2006) e o tempo de processamento, embora maior que de outros softwares existentes, em nenhuma situação comprometeu ou influenciou nos resultados.

A seguir são elencadas as principais características do *DEA Solver Pro*, apresentadas por Barr (2004).

DEA-Solver-Pro, é um software desenvolvido pela *SAITECH, Inc*, e apresenta a facilidade de ser executado dentro do Microsoft Excel. Os dados sobre a organização, assim como fatores de entrada e saída são acessados através de uma planilha, dispostos em um formato específico, e os resultados são gerados em planilhas separadas, criadas dentro de um mesmo arquivo. O processo é guiado por um assistente na tela (iniciada quando o aplicativo é carregado), que solicita nomes de arquivos e opções de processamento. Por isso a operação é simples.

As vantagens do software ser baseado no Excel são: as entradas e saídas são simplificadas, relatórios e gráficos podem ser facilmente adicionados pelo desenvolvedor e usuário, a interoperabilidade com outros produtos da Microsoft é simples, e conexão para fontes de dados empresariais via protocolo ODBC - *Open Database Connectivity* é possível.

As desvantagens do ambiente Excel são: o padrão Excel Solver tem limites de aplicação, problemas maiores requerem compra de um otimizador, a velocidade de execução é tipicamente menor quando comparados a outros softwares.

Os dados de entrada, para a maioria dos modelos, são elaborados em uma planilha única com os rótulos das variáveis na primeira linha e os valores respectivos, para cada DMU individual, em linhas subseqüentes, sendo cada DMU

identificada na primeira coluna. Os rótulos para as variáveis de entrada devem ser iniciados com os caracteres **(I)** e para as variáveis de saída com os caracteres **(O)**. Variantes deste formato são usados para especificar as restrições de segurança, de região, período de multi-valores e alguns tipos de dados.

Vários relatórios podem ser gerados: gráficos padrões, gráficos tipo histograma para escore de eficiência, o gráfico específico para análise DEA de janela e o gráfico para análise com índice de *Malmquist*. O ambiente Excel permite a ordenação das tabelas de resultados e a criação de relatórios e gráficos personalizados.

O *DEA-Solver-PRO* foi projetado com base no livro “*Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-Solver software and references*” (COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K, 2006) e ainda o software apresenta forte capacidade técnica e um conjunto completo de funcionalidades, além de documentação voltada para usuários iniciantes.

4.2 APLICAÇÃO DO MODELO

4.2.1 Fonte de Dados e Construção das Variáveis.

Com o intuito de estabelecer uma avaliação comparativa do desempenho energético de alguns países em desenvolvimento, no período compreendido entre os anos de 1993 e 2009 e verificar a posição do Brasil frente esta avaliação comparativa, foram desenvolvidas várias análises, as quais serão apresentadas a seguir. Cada análise realizada seguiu o procedimento descrito anteriormente neste capítulo. Observa-se, no entanto, que alguns passos do procedimento foram suprimidos por não serem necessários ou aplicáveis dentro do contexto proposto.

4.2.2 Definição do Conjunto de DMU's

Nesta análise optou-se por elencar o grupo de países em desenvolvimento a partir do grupo G-20 criado pela Organização Mundial do Comércio (OMC). Os países que constituem o G-20 da OMC estão listados no Quadro 2.

África	Ásia	América
África do Sul	China	Argentina	Guatemala
Egito	Filipinas	Bolívia	México
Nigéria	Índia	Brasil	Paraguai
Tanzânia	Indonésia	Chile	Peru
Zimbábue	Paquistão	Cuba	Uruguai
	Tailândia	Equador	Venezuela

Quadro 2 – Países do grupo G-20 – OMC

Fonte: World Trade Organization (2012)

Observa-se que do grupo G-20 da OMC não foram considerados no conjunto de DMU's analisadas Cuba, Nigéria e Zimbábue, uma vez que não existem informações disponíveis a respeito dos mesmos nas bases de dados consultadas. Além disso, buscou-se analisar os países do grupo do BRICS (Brasil, Rússia, Índia China e África do Sul), que apresentam as características de estarem em um estágio mais avançado de industrialização e terem um grande peso econômico no cenário global, porém falham na distribuição equitativa de renda, fazendo com que haja pobreza e problemas estruturais. Desta forma a Rússia foi incluída no conjunto de DMU's.

Assim, o conjunto de dados resultantes é composto por 21 países (logo, número de DMU's $\rightarrow n=21$): África do Sul, Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, China, Egito, Equador, Filipinas, Guatemala, Índia, Indonésia México, Paquistão, Peru, Paraguai, Rússia, Tanzânia, Tailândia, Uruguai, Venezuela.

4.2.3 Análise 1

Objetivos da análise

A primeira análise desenvolvida objetivou estabelecer o TFEE dos países do conjunto de DMU's selecionadas no período de 1993 a 2009. O período de análise ($T=17$ anos) foi determinado em função da existência de dados disponíveis para a Argentina a partir de 1993.

Seleção dos fatores de avaliação

Nesta primeira análise, foram considerados quatro fatores de avaliação, sendo três entradas ($m=3$) e uma saída ($s=1$).

Com base nos pressupostos apresentados no item 4.1.2, a relação entre a quantidade de variáveis e a quantidade de DMU's é dada pela equação (24). Observa-se que para a Análise 1 como $n= 21$, $m= 3$ e $s= 1$, a relação é satisfeita.

Todos os valores utilizados nesta análise foram obtidos mediante consulta ao banco de dados do Banco Mundial

Insumos (Entradas):

- Consumo Total de Energia Primária: valores em quilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep). Refere-se à energia primária consumida, que é equivalente à produção interna mais as importações, subtraídas as exportações e combustíveis fornecidos a navios e aeronaves utilizados no transporte internacional (WORLD BANK, 2011).
- Força de Trabalho: definido como o número de pessoas com idade a partir de 15 anos e que se enquadram na definição da Organização Internacional do Trabalho, como população economicamente ativa, ou seja, todas as pessoas que constituem oferta de trabalho para a produção de bens e serviços durante um determinado período. Inclui tanto os empregados, quanto os desempregados e as forças armadas. No entanto, não inclui as donas de casa e outros trabalhadores não remunerados e trabalhadores do setor informal (WORLD BANK, 2011).
- Capital: valores em percentagem do PIB. Refere-se a parcela do capital total que é investido em ativos fixos (tais como terrenos, edifícios, veículos, instalações e equipamentos) que permanecem nesta condição de ativo fixo num prazo superior a um período contábil. A formação bruta de capital é composta pelas adições aos ativos fixos da economia mais variações líquidas no nível dos estoques somados aos melhoramentos de terrenos, compra de máquinas e equipamentos, construção de estradas, ferrovias, e similares, incluindo escolas, escritórios, hospitais,

habitações particulares residenciais e edifícios comerciais e industriais, sendo que as aquisições líquidas de valores também são consideradas formação de capital. Os valores obtidos foram posteriormente multiplicados pelo PIB dos países nos anos respectivos (WORLD BANK, 2011).

Produto (Saída)

- Produto Interno Bruto (PIB): definido como o valor bruto (valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos em um país, somados aos impostos sobre os produtos e subtraídos de quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos. Calcula-se sem fazer deduções para depreciação de bens fabricados ou para a exaustão e degradação dos recursos naturais. O valor utilizado é o produto interno bruto convertido em dólares internacionais (constantes de 2005), com taxas de paridade de poder aquisitivo. Um dólar internacional tem o mesmo poder de compra sobre o PIB como o dólar dos EUA tem nos Estados Unidos. O uso de taxas de paridade de poder aquisitivo ao invés de taxas de câmbio visa padronizar valores para os níveis de desenvolvimento econômico entre países e regiões e por conseguinte melhorar a análise comparativa (WORLD BANK, 2011).

Tamanho da janela de análise

Seguindo o que foi exposto no item 3.2.6, optou-se pela utilização de janelas com 3 períodos ($w=3$). Nota-se, como já foi observado anteriormente que, todas as unidades dentro de uma determinada janela são medidas umas contra as outras. Logo, esta abordagem pressupõe implicitamente que não há mudanças técnicas dentro de cada janela.

Desta forma para $w=3$ períodos, $T=17$ anos e $n=21$ DMU's, aplicando-se as equações do item 3.2.6 tem-se:

- n° de janelas (z) = 15;
- n° de DMU's "diferentes" = 945; e

- Δ n° de DMU's = 588, sendo que Δ representa o acréscimo no número de DMU's em relação ao que seria considerado na análise DEA sem a tratativa dispensada às janelas temporais, ou seja, $n^{\circ} DMU's = T.n$

Assim, os três primeiros anos de 1993, 1994 e 1995 formam a primeira janela. A janela se move em um período de um ano, deixando de lado a formação original e acrescentando um novo ano. A segunda janela será formada pelos anos de 1994, 1995 e 1996. O processo continua até a última janela constituída pelos três últimos anos, ou seja, 2007, 2008 e 2009. Para cada país (DMU) analisado foram calculados, portanto, três valores de TFEE em cada ano, com exceção de 1993 e 2009, que têm apenas um valor, e 1994 e 2008, que têm dois valores.

Definição do modelo DEA

Na presente análise, o método DEA foi utilizado com uma função de produção econômica para determinação do fator total de eficiência energética (TFEE). Consumo energético em conjunto com trabalho e capital, que usualmente são utilizados na determinação da produtividade econômica, são as entradas e o PIB a saída econômica.

O problema foca, portanto, a redução das entradas para a obtenção dos mesmos valores de saída. Portanto foi utilizado um modelo orientado a entrada. A fronteira de eficiência estabelecida pela DEA, composta pelos países (DMU's) de melhor eficiência serve como base para o cálculo de eficiência dos demais países.

A formulação BCC foi utilizada por ser menos restritiva, uma vez que os países analisados têm tamanhos diferentes. Como o tamanho dos países sob investigação pode influenciar a sua capacidade de produção de saídas de forma eficiente e tratando-se de uma análise que engloba um período de tempo, a suposição de CCR seria inadequada.

Além disso, foi calculado o índice composto, segundo a técnica da Fronteira Invertida, conforme descrita no item 3.3.2. Avaliou-se esta técnica como adequada, uma vez que o índice composto considera que todos os fatores em análise são importantes, e que nenhum pode ser relegado a segundo plano.

Resultados: Análise 1

Seguindo o mesmo método utilizado por Zhang et al. (2011), foi calculada a média dos resultados das TFEE's de cada país no mesmo ano. Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 1 e Tabela 2, na Figura 18, Figura 19 e Figura 20. Dados complementares referentes a esta análise estão no Apêndice B.

Tabela 1 – Resultados da Análise 1: TFEE médio calculado (índice composto) – Parte 1

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
África do Sul	0,864	0,869	0,813	0,830	0,840	0,820	0,818	0,837	0,806
Argentina	0,918	0,923	0,907	0,928	0,937	0,919	0,931	0,991	1,000
Bolívia	0,734	0,786	0,725	0,715	0,637	0,476	0,596	0,613	0,772
Brasil	0,976	0,960	0,966	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,980
Chile	0,782	0,819	0,804	0,810	0,809	0,791	0,832	0,872	0,854
China	0,501	0,569	0,591	0,611	0,649	0,645	0,634	0,654	0,644
Egito	0,872	0,868	0,834	0,916	0,895	0,759	0,736	0,826	0,849
Equador	0,896	0,919	0,849	0,862	0,887	0,808	0,848	0,717	0,674
Filipinas	0,684	0,691	0,697	0,671	0,640	0,645	0,703	0,663	0,697
Guatemala	0,807	0,914	0,861	0,918	0,866	0,792	0,700	0,763	0,641
Índia	0,709	0,692	0,662	0,702	0,679	0,687	0,683	0,706	0,626
Indonésia	0,604	0,573	0,522	0,501	0,523	0,574	0,658	0,655	0,603
México	1,000	1,000	1,000	0,985	0,967	0,928	0,886	0,915	0,932
Paquistão	0,832	0,892	0,894	0,876	0,914	0,940	0,924	0,821	0,748
Paraguai	0,585	0,512	0,505	0,542	0,572	0,650	0,638	0,658	0,636
Peru	0,967	0,941	0,852	0,894	0,873	0,848	0,837	0,886	0,896
Rússia	0,652	0,597	0,539	0,537	0,617	0,629	0,651	0,670	0,602
Tailândia	0,428	0,441	0,404	0,391	0,452	0,690	0,709	0,679	0,629
Tanzânia	0,421	0,428	0,501	0,589	0,657	0,511	0,566	0,559	0,484
Uruguai	0,835	0,871	0,818	0,838	0,864	0,852	0,835	0,848	0,827
Venezuela	0,950	0,976	0,957	0,950	0,815	0,712	0,718	0,796	0,706

Tabela 2 – Resultados da Análise 1: TFEE médio calculado (índice composto) – Parte 2

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média
África do Sul	0,824	0,776	0,749	0,749	0,738	0,698	0,626	0,621	0,781
Argentina	1,000	0,943	0,875	0,828	0,787	0,819	0,887	0,962	0,915
Bolívia	0,661	0,783	0,827	0,795	0,768	0,785	0,773	0,794	0,720
Brasil	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993
Chile	0,877	0,897	0,919	0,885	0,932	0,944	0,871	0,945	0,861
China	0,639	0,621	0,609	0,609	0,606	0,648	0,655	0,647	0,620
Egito	0,823	0,859	0,893	0,848	0,846	0,815	0,802	0,897	0,843
Equador	0,652	0,682	0,708	0,714	0,725	0,749	0,746	0,742	0,775
Filipinas	0,711	0,720	0,761	0,790	0,806	0,850	0,878	0,899	0,736
Guatemala	0,615	0,642	0,673	0,696	0,674	0,735	0,839	0,907	0,767
Índia	0,639	0,653	0,618	0,619	0,632	0,645	0,672	0,679	0,665
Indonésia	0,574	0,567	0,508	0,498	0,486	0,479	0,458	0,409	0,541
México	0,954	0,956	0,951	0,945	0,936	0,959	0,968	0,970	0,956
Paquistão	0,709	0,727	0,770	0,727	0,639	0,630	0,649	0,741	0,790
Paraguai	0,619	0,540	0,573	0,578	0,619	0,674	0,675	0,647	0,601
Peru	0,940	0,933	0,938	0,933	0,925	0,916	0,877	0,928	0,905

continua

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média
Rússia	0,640	0,623	0,641	0,661	0,659	0,671	0,681	0,622	0,629
Tailândia	0,633	0,616	0,598	0,542	0,573	0,629	0,619	0,674	0,571
Tanzânia	0,461	0,399	0,341	0,324	0,316	0,320	0,335	0,344	0,444
Uruguai	0,811	0,792	0,791	0,769	0,749	0,759	0,757	0,759	0,810
Venezuela	0,689	0,800	0,807	0,750	0,734	0,773	0,889	0,812	0,814

Conclusão.

A Figura 18 refere-se aos países com valores de TFEE médio até 0,7. São eles: China, Índia, Indonésia, Paraguai, Rússia, Tailândia e Tanzânia. Neste grupo, observa-se que China, Tailândia e de maneira pouco acentuada o Paraguai, apresentaram tendência crescente entre os valores de 1993 e 2009; Índia e Rússia tiveram seus valores oscilando em torno de um mesmo valor e Indonésia e Tanzânia apresentaram tendência decrescente.

Figura 18 – Análise 1: valores médios de TFEE - Resultados 1

Já na Figura 19 pode-se observar os países com valores de TFEE médio entre 0,7 e 0,9, ou seja: África do Sul, Bolívia, Chile, Egito, Equador, Filipinas, Guatemala, Paquistão, Uruguai e Venezuela. Dentre estes países, Chile e Filipinas tiveram crescimento entre os valores relativos a 1993 e 2009; Bolívia, Egito, Guatemala, Paquistão e Uruguai apresentaram resultados oscilantes em torno de um mesmo valor. África do Sul, Equador e Venezuela apresentaram tendência de queda em seus resultados.

Figura 19 – Análise 1: valores médios de TFEÉ - Resultados 2

A Figura 20 representa os valores de TFEÉ médio obtidos para Argentina, Brasil, México e Peru, países com TFEÉ médio entre 0,9 e 1,0.

O Brasil resultou em dois picos negativos em torno do anos 1993 e 2001 e fora destes períodos valor relativo igual a 1,0. Para os demais países, Argentina, México e Peru, os valores oscilaram no período considerado, ou seja, não se observa tendência de crescimento ou declínio.

Figura 20 – Análise 1: valores médios de TFEÉ - Resultados 3

É importante ressaltar que os resultados obtidos retratam a posição comparativa dos países considerados. O TFEÉ de um país em um determinado ano é contrastado com seu próprio TFEÉ em outros anos, além do TFEÉ dos outros países. Assim sendo, os resultados obtidos não devem ser considerados em seus valores absolutos, mas são úteis para o estabelecimento de tendências.

Na sequência são apresentados gráficos relativos ao crescimento do PIB (Figura 21), intensidade energética, ou seja, a razão entre consumo e PIB (Figura 22), a razão entre força de trabalho e PIB (Figura 23), a razão entre capital e PIB (Figura 24) e os valores de TFEÉ médios calculados (Figura 25) para os BRICS.

Figura 21 – PIB – países BRICS

Figura 22 – Intensidade energética – países BRICS

Figura 23 – Força de trabalho/PIB – países BRICS

Figura 24 – Capital social/PIB – países BRICS

Figura 25 – Análise 1 – resultados países BRICS

Para examinar os resultados obtidos é importante inicialmente estabelecer algumas considerações a respeito de variações no consumo energético entre países.

O consumo final de energia e consequentemente a intensidade energética de um país em determinado período de tempo depende de fatores, tais como: a natureza das atividades econômicas, as variações na composição do produto influenciadas pela participação de setores com diferentes intensidades energéticas e combinações de capital, trabalho e energia, originadas da variação de preços relativos, melhorias técnicas ou do progresso tecnológico. Além disso, influenciam também no consumo: o clima, o nível de desenvolvimento e estilos de vida, a organização do setor dos transportes (em especial a importância do transporte público), o setor industrial e a eficiência nos usos finais, como por exemplo, equipamentos e edifícios (WEC, 2010)

A Europa é a região do mundo com menor intensidade energética. Países da OECD (não europeus) e da América Latina estão em média 10% acima do nível europeu, já os países da América do Norte, Ásia (não membros da OEDC) e a Índia estão ao mesmo nível da média mundial, com intensidade energética 50% maior do que a Europa. Finalmente, na China, Continente Africano, países da *Community of Independent States* (CIS)²⁰ e Oriente Médio, a intensidade energética é duas vezes maior do que a média européia. Verifica-se que regiões com maior intensidade energética têm experimentado maior redução deste índice (WEC, 2010).

Esta informação coincide com os resultados obtidos nesta análise, uma vez que países com maior intensidade energética experimentaram a maior redução no período estudado, como China, Índia e Rússia.

Outra constatação importante é que a indústria intensiva resulta em índices de intensidade energética seis vezes maior do que do setor de serviços. A participação da indústria no PIB varia de 20% na América do Norte, a 25% na Europa, Índia e África, cerca de 30% para América Latina e países asiáticos membros da OECD e

²⁰ Países do CIS (Community of Independent States): Azerbaijão, Armênia, Bielorrússia, Geórgia, Cazaquistão, Quirguistão, Moldávia, Rússia, Tadjiquistão, Turcomenistão, Uzbequistão e Ucrânia

cerca de 60% na China. Por sua vez, a participação do setor de serviços é de cerca de 20% na China, 50% na América Latina, Índia e países do CIS, 60% na Europa e nos demais países da OECD e 75% na América do Norte (WEC, 2010).

Deve-se considerar ainda que os países em pleno desenvolvimento, de maneira geral, possuem um consumo de energia *per capita* muito pequeno (por exemplo, em 2009 o consumo de energia *per capita* brasileiro correspondia a 29% do consumo *per capita* dos países membros OECD) o que torna inevitável o crescimento do consumo de energia devido à necessidade de construção de infraestrutura industrial, de transporte e de desenvolvimento urbano. Soma-se a isso, o crescimento populacional e a evolução do padrão de vida diretamente relacionados ao crescimento da demanda energética.

Por outro lado, os países em desenvolvimento têm grande potencial para saltos qualitativos através da introdução de inovações, especialmente nas indústrias de materiais básicos de alta intensidade energética (aço, produtos químicos, cimento).

O que se observa, é que alguns países conseguiram dar este salto, como o caso da China e da Índia onde os resultados obtidos mostram acentuada queda na intensidade energética, acompanhada por decréscimo da força de trabalho e crescimento do capital, o que indica avanço tecnológico. Esses países foram capazes de estabelecer um forte ritmo no crescimento econômico (representado pelo PIB) sem requerer uma demanda mais significativa de energia. Já outros países em desenvolvimento, dentre os quais se inclui o Brasil, não obtiveram os mesmos resultados.

Nesta primeira análise observa-se que os quatro países com melhores escores de eficiência: Argentina, Brasil, México e Peru, (países da América Latina), partem de valores de intensidade energética em níveis mais baixos, o que aliado aos demais fatores envolvidos (trabalho e capital) implica nos resultados obtidos.

Em particular o Brasil, para o grupo de países e período analisado, apresenta valores de TFEE próximos de 1,0, sendo, portanto, o país mais eficiente e servindo de parâmetro para análise comparativa de todos os outros países. Este resultado

justifica-se pelo fato de apresentar valores mínimos para as relações: de consumo energético/PIB, força de trabalho/PIB e capital/PIB, conforme Figuras 22, 23 e 24.

No entanto, estes valores mantêm-se praticamente constantes ao longo do período estudado. Logo, em vistas do crescimento econômico (o PIB brasileiro cresceu em 61% entre 1993 e 2009), não se constata a minimização do consumo energético ou trocas entre este consumo e/ou trabalho e capital. Logo, os resultados alcançados pelo Brasil estão mais relacionados à natureza das atividades econômicas, setores produtivos, o clima, o nível de desenvolvimento, estilos de vida e matriz energética, do que à maximização da eficiência do consumo energético.

Estendendo a análise para os demais países do BRICS, verifica-se que a África do Sul tem sua relação de consumo energético/PIB praticamente constante, porém em uma faixa de valores superior aos apresentados pelo Brasil. A força de trabalho/PIB tem valores baixos e praticamente constantes e o capital/PIB crescente a partir do ano de 2002. Isto resulta em valores de TFEE entre 0,8 e 0,9 até por volta de 2002 quando começa a decair. Estes resultados indicam que o crescimento do capital não resultou em troca de tecnologia por força de trabalho, nem tampouco na efficientização dos meios de consumo. Apesar das ações tomadas pelo governo sul africano, as ações de eficiência energética não constituem uma prioridade, em um país onde existem outros grandes problemas sociais.

A Rússia, por sua vez, está entre os 25 países do mundo, juntamente com a China, com maiores valores de intensidade energética. Isto se deve, entre outros fatores, ao fato de que historicamente os preços de energia na Rússia eram subsidiados pelo governo, o que resultou em pouca preocupação com a eficiência de edifícios e equipamentos (WEC, 2010). No entanto, por volta do ano de 1998 este índice começa a cair, enquanto se observa queda também na relação entre força de trabalho/PIB e aumento em capital/PIB. Esta combinação de valores resulta em valores de TFEE (em média iguais a 0,63) com tendência de crescimento no período entre 1998 e 2008. Os resultados indicam uma troca entre trabalho e capital somados à queda do consumo energético, e portanto ganho no FTEE entre 1998 e 2008, apesar de apresentar ao longo de todo o período analisado valores oscilantes em torno da média.

Na Rússia o setor industrial é o que mais consome energia. Verifica-se que ao mesmo tempo em que possui uma infraestrutura com idade média elevada e, portanto, eficiência média baixa, a indústria russa tem alto potencial de ganho em eficiência quando comparada a outras economias industriais. As metas de modernização estabelecidas pelo governo russo em curto prazo, se implementadas, deverão direcionar as perspectivas de desenvolvimento econômico assim como a segurança energética e sustentabilidade ambiental. Os índices de crescimento do capital verificados na Figura 24 apontam para a modernização da economia, o que refletiu na redução da intensidade energética.

Já a Índia apresenta tendência levemente decrescente para a relação de consumo energético/PIB, e de maneira mais acentuada para força de trabalho/PIB. O capital/PIB apresenta tendência de crescimento. Estes resultados apontam para a troca de força de trabalho por capital, e que esta troca está refletindo positivamente na redução da intensidade energética. No entanto, apesar da tendência decrescente, as relações força de trabalho/PIB e capital/PIB têm valores muito altos quando comparados aos demais países, o que resulta em um TFEE oscilando em torno de um mesmo valor, com média igual a 0,67.

Com características de crescimento similares as do Brasil, a Índia iniciou a aplicação de medidas voltadas para a conservação de energia na década de 1990. A Lei de Conservação de Energia da Índia criou padrões de eficiência energética para prédios e construções, normas de eficiência energética para consumidores industriais e programas de rotulagem para eletrodomésticos.

A China, apesar de ter os maiores valores apresenta decréscimo acentuado de consumo/PIB e força de trabalho/PIB durante todo o período. A relação capital/PIB decaiu até por volta de 1997, sobe levemente até 2001, tem aumento mais acentuado até 2004, devido ao rápido crescimento do setor de indústrias intensivas, permanece praticamente constante até 2007, voltando a crescer em 2008 e 2009. Observa-se que este comportamento coincide com os valores de TFEE que cresce até 1997, decai levemente entre 1997 e 2006, quando volta a crescer. A China é o único país do BRICS que apresenta efetiva tendência crescente de TFEE, apesar de seu valor de TFEE médio ser baixo, igual a 0,62.

A grande redução da intensidade energética verificada na China é resultante de vários fatores: utilização mais eficiente do carvão, mudança do carvão para o petróleo, reestruturação da indústria, aumento nos preços da energia e altos investimentos por parte do governo chinês em pesquisa, principalmente relativas à veículos ecoeficientes. Suas respectivas influências são, porém, difíceis de quantificar.

Observa-se finalmente que os resultados encontrados no cálculo do TFEE levam tanto em consideração as tendências de crescimento ou queda para os três fatores de entrada considerados, assim como a comparação dos valores destes fatores entre as DMU's.

4.2.4 Análise 2

Objetivos da análise

Na Análise 2 buscou-se estabelecer a eficiência relativa dos países do conjunto de DMU's, da mesma forma como foi feito na primeira Análise, adicionando-se, neste caso, as emissões de CO₂ como uma saída indesejável. O período considerado nesta análise ($T=16$ anos) inicia-se no ano de 1993 e termina no ano de 2008. Este período foi determinado em função da disponibilidade de dados.

Foram utilizados os mesmos fatores da Análise 1, com a inclusão, neste caso, das emissões de CO₂ como uma saída indesejável.

Seleção dos fatores de avaliação

Foram considerados cinco fatores de avaliação, sendo três entradas ($m=3$) e duas saídas ($s=2$).

Observa-se que também para a Análise 2 como $n= 21$, $m= 3$ e $s= 2$, a relação estabelecida pela equação (24) também é satisfeita.

Insumos (Entradas):

- Consumo Total de Energia Primária;

- Força de Trabalho; e
- Capital.

Produtos (Saídas)

- Produto Interno Bruto (PIB); e
- Emissões de CO₂: valores em kt obtidos mediante consulta ao banco de dados do Banco Mundial e definidos como as emissões de dióxido de carbono decorrentes da queima de combustíveis fósseis e da fabricação de cimento. Incluem o dióxido de carbono produzido durante o consumo de combustíveis sólidos, líquidos, gasosos e da queima de gás (WORLD BANK, 2011).

Tamanho da janela de análise

Optou-se pela utilização de janelas com 3 períodos ($w=3$), de maneira análoga à análise anterior.

Desta forma para $w=3$ períodos, $T=16$ anos e $n=21$ DMU's, aplicando-se as equações do item 3.2.6 tem-se:

- n° de janelas (z) = 14;
- n° de DMU's "diferentes" = 882; e
- Δn° de DMU's = 546.

Definição do modelo DEA

Conforme justificado anteriormente, foi utilizada a formulação BCC orientado à entrada, com o cálculo do índice composto (técnica da Fronteira Invertida). Observa-se que foram testadas duas formas de tratativa para a inclusão de saída indesejável no modelo: utilizando os dados com valores negativos e incluindo os dados com valores positivos como uma entrada (DYSON et al., 2001), sendo que nos dois casos os resultados obtidos foram praticamente idênticos. Optou-se então por utilizar os dados com valores negativos.

Resultados: Análise 2

Um resumo dos resultados obtidos nesta análise é apresentado na Tabela 3 e na Tabela 4. Na Tabela 5 estão os valores médios obtidos nas Análises 1 e 2. Dados complementares referentes a esta análise estão no Apêndice C.

Tabela 3 – Resultados da Análise 2: Parte 1
Valores médios de eficiência relativa (índice composto)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
África do Sul	0,864	0,869	0,813	0,830	0,840	0,817	0,817	0,835
Argentina	0,918	0,927	0,908	0,931	0,938	0,916	0,931	0,991
Bolívia	0,662	0,706	0,649	0,655	0,594	0,471	0,591	0,613
Brasil	0,985	0,967	0,966	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Chile	0,782	0,819	0,804	0,810	0,809	0,788	0,832	0,872
China	0,501	0,569	0,591	0,611	0,649	0,642	0,634	0,654
Egito	0,872	0,868	0,834	0,916	0,895	0,756	0,736	0,826
Equador	0,895	0,919	0,849	0,862	0,887	0,805	0,848	0,717
Filipinas	0,686	0,691	0,697	0,671	0,640	0,643	0,703	0,663
Guatemala	0,843	0,917	0,868	0,918	0,868	0,793	0,708	0,778
Índia	0,709	0,692	0,662	0,702	0,679	0,685	0,683	0,706
Indonésia	0,604	0,573	0,522	0,501	0,523	0,571	0,658	0,655
México	1,000	1,000	1,000	0,985	0,967	0,925	0,886	0,915
Paquistão	0,841	0,901	0,902	0,879	0,914	0,937	0,924	0,822
Paraguai	0,652	0,617	0,571	0,643	0,624	0,653	0,636	0,663
Peru	0,967	0,941	0,861	0,894	0,873	0,845	0,837	0,886
Rússia	0,652	0,597	0,539	0,537	0,617	0,626	0,651	0,670
Tailândia	0,428	0,441	0,404	0,391	0,452	0,687	0,709	0,679
Tanzânia	0,610	0,661	0,547	0,611	0,657	0,660	0,651	0,663
Uruguai	0,831	0,871	0,817	0,837	0,864	0,849	0,835	0,848
Venezuela	0,950	0,976	0,957	0,950	0,815	0,709	0,718	0,796

Tabela 4 – Resultados da Análise 2: Parte 2
Valores médios de eficiência relativa (índice composto)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Média
África do Sul	0,806	0,824	0,757	0,626	0,699	0,706	0,652	0,604	0,772
Argentina	1,000	1,000	0,943	0,875	0,828	0,787	0,803	0,873	0,911
Bolívia	0,742	0,657	0,697	0,761	0,743	0,732	0,729	0,773	0,674
Brasil	0,981	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994
Chile	0,854	0,877	0,899	0,919	0,885	0,932	0,931	0,871	0,855
China	0,644	0,639	0,621	0,609	0,609	0,606	0,648	0,656	0,618
Egito	0,849	0,823	0,859	0,893	0,848	0,846	0,808	0,792	0,839
Equador	0,674	0,652	0,682	0,708	0,714	0,725	0,735	0,733	0,775
Filipinas	0,697	0,711	0,720	0,761	0,790	0,806	0,839	0,869	0,724
Guatemala	0,643	0,615	0,644	0,675	0,696	0,674	0,725	0,849	0,763
Índia	0,626	0,639	0,653	0,619	0,619	0,632	0,657	0,686	0,665
Indonésia	0,603	0,574	0,567	0,508	0,498	0,486	0,489	0,471	0,550
México	0,932	0,955	0,956	0,951	0,945	0,936	0,941	0,950	0,953
Paquistão	0,750	0,709	0,727	0,770	0,727	0,639	0,635	0,657	0,796
Paraguai	0,647	0,636	0,580	0,612	0,635	0,640	0,686	0,719	0,638

continua

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Média
Peru	0,896	0,940	0,933	0,938	0,933	0,925	0,902	0,859	0,902
Rússia	0,602	0,640	0,623	0,641	0,661	0,659	0,682	0,699	0,631
Tailândia	0,629	0,633	0,616	0,598	0,542	0,573	0,624	0,616	0,564
Tanzânia	0,625	0,633	0,628	0,609	0,571	0,633	0,606	0,656	0,626
Uruguai	0,827	0,811	0,792	0,791	0,769	0,749	0,765	0,766	0,814
Venezuela	0,706	0,688	0,773	0,807	0,750	0,734	0,773	0,889	0,812

Conclusão.

Tabela 5 – Valores médios análises 1 e 2

	Análise 1	Análise 2	Variação %
África do Sul	0,781	0,772	-1,15%
Argentina	0,915	0,911	-0,44%
Bolívia	0,720	0,674	-6,39%
Brasil	0,993	0,994	0,10%
Chile	0,861	0,855	-0,70%
China	0,620	0,618	-0,32%
Egito	0,843	0,839	-0,47%
Equador	0,775	0,775	0,00%
Filipinas	0,736	0,724	-1,63%
Guatemala	0,767	0,763	-0,52%
Índia	0,665	0,665	0,00%
Indonésia	0,541	0,550	1,66%
México	0,956	0,953	-0,31%
Paquistão	0,790	0,796	0,76%
Paraguai	0,601	0,638	6,16%
Peru	0,905	0,902	-0,33%
Rússia	0,629	0,631	0,32%
Tailândia	0,571	0,564	-1,23%
Tanzânia	0,444	0,626	40,99%
Uruguai	0,810	0,814	0,49%
Venezuela	0,814	0,812	-0,25%

Da análise dos resultados pode-se concluir que a inclusão das emissões de CO₂ como um fator indesejável para o processo produtivo, não trouxe uma variação significativa nos resultados obtidos com relação à primeira análise. Isto já era esperado, haja vista a alta correlação (próxima de 1,0) obtida entre esta variável e o consumo energético, conforme se observa na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise 2: Correlação média entre entradas e saídas

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões CO ₂
Consumo	1,000	0,903	0,949	0,942	0,993
Força de Trabalho	0,903	1,000	0,962	0,909	0,913
Capital Social	0,949	0,962	1,000	0,964	0,959
PIB	0,942	0,909	0,964	1,000	0,924
Emissões CO₂	0,993	0,913	0,959	0,924	1,000

Faz-se a seguir algumas considerações para melhor interpretação dos resultados obtidos.

O principal fator a ser levado em conta quando da avaliação das emissões de CO₂ refere-se a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) emitida, por unidade de energia utilizada (intensidade de carbono). Países com recursos hídricos ou outras fontes limpas consideráveis, como o Brasil, têm uma baixa intensidade de carbono; países que utilizam intensivamente carvão, como a China ou a Austrália têm uma elevada intensidade de carbono. Obviamente, a intensidade de carbono depende dos recursos básicos de cada país e da disponibilidade de fontes limpas de energia, ou seja, fontes com menor índices de emissões.

O gráfico da Figura 26 demonstra a relação entre emissões de CO₂ e PIB para alguns dos países sob análise. China, Rússia, África do Sul e Índia, de forma menos acentuada, apresentam tendência de queda, apesar de terem valores altos e o Brasil tem baixos valores e posição estagnada também quanto a este aspecto. Disso resulta uma eficiência relativa calculada nesta análise, praticamente inalterada para estes países, com relação a Análise 1.

No Brasil, a maior fonte de emissões é decorrente do desmatamento florestal, o que contrasta com a situação dos demais países do BRICS onde a geração de energia é basicamente dependente de fontes fósseis, petróleo, carvão e gás, que constituem a principal fonte de emissões.

Figura 26 – Emissões de CO₂/PIB

Pode-se dizer que, nestes países (onde o desmatamento não representa uma fonte importante de emissão de gases de efeito estufa), a descarbonização das economias ocorre como o avanço de fontes alternativas de energia limpa e redução da intensidade energética (ABRAMOVAY, 2010).

O Brasil tem o trunfo de possuir uma matriz energética predominantemente constituída de fontes renováveis. Não se pode dizer, entretanto, que isto represente por si só uma estratégia de desenvolvimento sustentável, uma vez que pesa sobre as fontes brasileiras de energia a dúvida a respeito dos impactos socioambientais de sua expansão. Além disso, chama a atenção no caso brasileiro a dificuldade de diversificação para fontes alternativas, o alto consumo industrial e a redução do desmatamento nas áreas florestais contrastando com o aumento do desmatamento em áreas de caatinga e cerrado. (ABRAMOVAY, 2010).

Outras considerações a serem feitas tendo em vista os resultados obtidos referem-se a Tanzânia e ao Paraguai que apresentam os menores valores na relação CO₂/PIB (Figura 26) o que justifica o crescimento de seu índice TFEE com relação à Análise 1. Os dados referentes à relação Emissões de CO₂/PIB para todos os países encontram-se no Apêndice C.

Na Figura 27 é possível observar as tendências dos vários índices que compõe a análise para a Tanzânia.

Figura 27 – Análise de tendências – Tanzânia

Esse país tem 2/3 de sua matriz energética representada por geração hidroelétrica e sua maior fonte de emissões de gases de efeito estufa está no desmatamento florestal. A Tanzânia introduziu políticas e leis para assegurar a gestão eficaz de seus abundantes recursos naturais, (dentre as quais se pode citar a Política Florestal de 1998, A Lei florestal de 2002 e a Lei de Gestão Ambiental de 2004). No entanto, a implementação destas leis ainda é prejudicada por falhas em recursos humanos e capacidade institucional. Os investimentos públicos em gestão de recursos naturais permanecem relativamente fracos em vista da importância do setor para o desenvolvimento sustentável, geração de receita e contribuição para a renda familiar (AFRICAN ECONOMIC OUTLOOK, 2012). Verifica-se que estas ações, embora tímidas, colaboraram para a redução das emissões, embora esta redução não esteja refletida na relação CO₂/PIB ao longo dos anos analisados.

Godoy et al. (2012), em seu estudo, estimaram a cobertura restante das florestas costeiras na Tanzânia e as emissões de CO₂ devido à perda de floresta entre c. 1990 e c. 2007. Segundo os autores a Tanzânia possuía mais de 273.700 hectares de floresta em 2007. As taxas de desmatamento baixaram de 1,0% ao ano durante a década de 1990, para 0,4% ao ano entre 2000 - 2007. Apesar das taxas mais baixas de desmatamento em 2000-2007, o percentual de floresta perdida dentro de áreas reservadas permaneceu estável em 0,2% ao ano para ambos os períodos de tempo. As emissões de CO₂ provenientes do desmatamento desaceleraram em média de 0,63 Mt de CO₂ ao ano entre 1990-2000, para menos

de 0,20 Mt entre 2000-2007. No entanto, o desmatamento regional na Tanzânia é altamente dinâmico e apesar das taxas terem diminuído desde 2000, não há nenhuma garantia de que as mesmas permanecerão baixas no futuro.

Observa-se que o cenário descrito assemelha-se ao caso brasileiro. No entanto, verifica-se que a Tanzânia obteve um ganho de eficiência relativa nesta análise, por ser o país, dentre os analisados, com menor taxa de emissões de CO₂ por PIB, combinado com um decréscimo pouco acentuado na intensidade energética, observado na Tabela 27, e ainda ocorre uma troca entre capital e trabalho, ou seja, decresce a relação Força de trabalho/PIB e cresce a relação Capital/PIB.

4.2.5 Análise 3

Objetivos da análise

A terceira análise utilizou o mesmo conjunto de DMU's definido em 4.2.2. O objetivo desta análise foi estabelecer a eficiência relativa dos países, utilizando o IDH como fator de saída em substituição ao PIB. O período de análise ($T=5$ anos) inicia-se no ano de 2005 e termina no ano de 2009. Este período foi escolhido uma vez que o método de cálculo do IDH, fator de saída desta análise, apresenta variações metodológicas no decorrer dos anos, impossibilitando a utilização dos valores disponíveis em análises comparativas temporais. Em 2010 foi adotada uma nova metodologia de cálculo, apresentada no Apêndice E, e os valores de 2005 a 2009 foram recalculados segundo esta nova metodologia, tornando-se assim possível sua utilização na análise comparativa.

Seleção dos fatores de avaliação

Nesta análise, foram considerados quatro fatores de avaliação, sendo três entradas ($m=3$) e uma saída ($s=1$). Observa-se que como $n=21$, $m=3$ e $s=1$, a equação (24) é satisfeita.

Nos testes preliminares foram utilizados valores de entradas idênticos aos da Análise 1, ou seja, valores de volume. No entanto, observou-se que pelo fato da

saída escolhida ser um valor índice, os resultados obtidos mostraram-se inconsistentes, com valores de correlação entre a saída IDH e todas as entradas, muito próximos de zero e até mesmo negativos.

Conforme discutido no item 3.3.2, incorporar índices, percentagens e outros dados normalizados no conjunto de fatores de entrada e saída pode ser aceitável se todas as entradas e saídas são deste tipo, mas o perigo ocorre quando são feitas tentativas de misturar estes dados com medidas de volume. Desta forma, a solução encontrada foi transformar as medidas de volume em índices, uma vez que transformar a saída IDH em volume não seria possível, pela complexidade do cálculo deste índice.

Esta decisão, no entanto, incorre em uma variação no problema estudado, haja vista que a utilização de valores *per capita* resulta na manutenção da proporção entre entradas (mix de entradas) e na redução do efeito da quantidade de recursos utilizados pela DMU. Devido a esta constatação esta análise foi dividida em duas partes, a primeira identificada como “Análise de Desenvolvimento Econômico” utilizando o PIB *per capita* como fator de saída e a segunda identificada como “Análise de Desenvolvimento Humano” utilizando o IDH.

Insumos (Entradas):

- Consumo Total de Energia Primária *per capita*: valores idênticos aos utilizados na Análise 1, divididos pela população total;
- Força de Trabalho *per capita*: valores idênticos aos utilizados na Análise 1, divididos pela população total;
- Capital *per capita*: valores idênticos aos utilizados na Análise 1, divididos pela população total.

Produto (Saída)

Análise Desenvolvimento Econômico

- Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*: valores idênticos aos utilizados na Análise 1, divididos pela população total. Os dados utilizados nesta análise estão no Apêndice D.

Análise Desenvolvimento Humano

- Índice de Desenvolvimento Humano - IDH: definido e calculado conforme exposto no Apêndice E. Valores obtidos a partir do banco de dados do HUMAN DEVELOPMENT REPORT 2011 (HDR, 2011). Os dados utilizados nesta análise estão no Apêndice D.

Observação: os valores da população total foram obtidos a partir do banco de dados do World Bank (2011).

Tamanho da janela de análise

Aqui também se optou pela utilização de janelas com 3 períodos ($w=3$).

Desta forma para $w=3$ períodos, $T=5$ anos e $n=21$ DMU's, aplicando-se as equações do item 2.3.9 tem-se:

- n° de janelas (z) = 3;
- n° de DMU's "diferentes" = 189;
- Δ n° de DMU's = 84.

Definição do modelo DEA

Conforme justificado anteriormente, foi utilizada a formulação BCC orientado à entrada, com o cálculo do índice composto (técnica da Fronteira Invertida).

Resultados: Análise 3

Foram calculados os valores de eficiência relativa, índice composto, e foi estabelecido um *ranking* para as duas análises: Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Humano.

Foi calculado também o TFEE médio para o período de 2005 a 2009, nos mesmos moldes do que foi feito na Análise 1.

A Tabela 7 apresenta a classificação de eficiência média para os países sob análise, para os anos de 2005 a 2009. Os dados utilizados nesta análise estão no Apêndice D.

Tabela 7 – Classificação de eficiência média – anos de 2005 a 2009

País	TFEE médio (Análise 1)	Desenvolvimento Econômico	Desenvolvimento Humano
Brasil	1	2	12
México	2	11	10
Peru	3	4	3
Chile	4	12	8
Argentina	5	13	14
Filipinas	6	7	2
Egito	7	6	4
Venezuela	8	14	16
Bolívia	9	3	1
Guatemala	10	5	11
Uruguai	11	1	6
Equador	12	10	5
África do Sul	13	15	18
Paquistão	14	9	9
Paraguai	15	8	7
Rússia	16	18	19
Índia	17	16	13
China	18	21	21
Tailândia	19	20	20
Indonésia	20	17	17
Tanzânia	21	19	15

Algumas considerações em vista do exposto na Tabela 7:

- Dos cinco países que apresentaram os melhores índices de TFEE médio, somente o Peru manteve-se no mesmo “ranking” nas outras duas análises (Desenvolvimento Econômico e Desenvolvimento Humano). Este resultado indica que o Peru, dentro do grupo de países estudados, conseguiu manter a mesma proporção entre recursos e produtos, com relação às 3 saídas consideradas.
- Com Argentina, Brasil, Chile e México não aconteceu o mesmo. A menos do Brasil, estes países têm seus valores de IDH entre os mais altos do grupo estudado e a proporção entre de suas entradas e o IDH resultante, é superior à de outros países que portanto estão melhores classificados;

- Os outros países melhores posicionados no *ranking* de Desenvolvimento Humano: Bolívia, Egito, Equador e Filipinas, têm classificação relativa, quanto ao TFEE, em um nível médio. Observa-se que estes países, apresentam valores de IDH comparativamente superiores com relação aos obtidos para a saída PIB *per capita*;
- África do Sul, Rússia e Venezuela apresentam classificação crescente relativas às três análises e Índia, Paraguai e Tanzânia classificação decrescente;
- China, Indonésia, Paquistão e Tailândia estão no mesmo *ranking* para desenvolvimento econômico e humano; e
- Guatemala e Uruguai têm posicionamento melhor na classificação quanto ao desenvolvimento econômico que desenvolvimento humano.

Conforme foi observado, a nova relação comparativa de eficiência tendo como saída o IDH variou muito com relação a inicial que tinha o PIB como saída.

Observa-se que os países melhores posicionados no *ranking* de desenvolvimento humano (Bolívia, Filipinas, Egito e Peru), também apresentam um posicionamento entre os dez melhores índices de eficiência para as outras duas análises. Estes países caracterizam a situação de serem economias menores dentro do grupo estudado, mas com indicadores desenvolvimento humano pareados com os das demais economias (por exemplo, o PIB médio da Bolívia, melhor colocada no ranking, representa 0,56% do PIB da China e 2,2% do PIB do Brasil, seu PIB *per capita* médio representa 72% da China e 44% do Brasil e seu IDH médio é praticamente igual ao da China e somente 7% inferior ao do Brasil).

Embora os países melhores posicionados no *ranking* não representem economias significativas para serem adotadas como um *benchmarking* para os demais países, o que se observa é que as taxas de crescimento econômico aceleradas de alguns países não estão sendo acompanhadas pelo seu desenvolvimento humano.

Focando esta análise nos países denominados BRICS observa-se que apenas a Índia obteve no ranking comparativo apresentado na Tabela 7, um posicionamento melhor com relação à análise que utiliza o PIB como saída.

Diante dos resultados obtidos, vale considerar a pertinência das idéias de Stuart L. Hart²¹ em uma entrevista ao portal da Revista Exame (HERZOG, 2008) na qual fala a respeito de dois movimentos cruciais para a busca da sustentabilidade: o da base da pirâmide, que consiste no crescimento da comercialização de produtos junto a populações de baixa renda, e o das tecnologias limpas. Para Hart, estes dois movimentos não devem mais caminhar isolados. Em suas palavras, o desenvolvimento de tecnologias que produzem menos impactos ao meio ambiente esteve muito voltado para o topo da pirâmide, ou seja, visando a geração de riquezas, enquanto o movimento de negócios para a base da pirâmide ganhou corpo sem muita preocupação com o meio ambiente. No entanto, é pouco provável que tecnologias verdes revolucionárias sejam aceitas com facilidade nos mercados desenvolvidos, nos quais os consumidores já estão acostumados com o conforto e a facilidade das tecnologias tradicionais.

Desta forma, o que se antevê é, por um lado no caso das tecnologias limpas, o risco de não se encontrar boas maneiras de comercializá-las, por serem muito caras, e por outro lado, no movimento da base da pirâmide o risco é de colapso ambiental. Segundo Hart, a solução estaria na convergência dos dois movimentos, com tecnologias limpas sendo desenvolvidas e testadas na base da pirâmide, onde as mesmas seriam incubadas e, somente depois, levadas ao topo.

De uma maneira geral, conclui-se que, diferentemente dos países desenvolvidos que buscam a otimização de processos produtivos, uma vez que já têm uma estrutura consolidada, os países em desenvolvimento necessitam continuar seu processo de crescimento, o que requer ampliações constantes da estrutura priorizando, no entanto, o uso das tecnologias e processos de uso racional de energia, criados pelos países desenvolvidos. Isso permitirá manter suas taxas de crescimento do PIB sem que seja necessária uma demanda mais significativa.

No próximo capítulo serão apresentadas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

²¹ Stuart L. Hart é Professor da Universidade Cornell, escreveu em 2002, juntamente com C.K. Prahalad, o artigo intitulado *Fortuna na Base da Pirâmide* e é hoje uma das maiores referências mundiais em estratégias empresariais para as populações de baixa renda.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

A principal contribuição deste trabalho está na avaliação comparativa do desempenho energético dos países em desenvolvimento, que teve como premissa identificar os melhores resultados relativos às estratégias de políticas de eficiência energética.

O cálculo do Fator Total de Eficiência Energética usando o método DEA, mostrou-se uma importante ferramenta para a verificação de tendências de eficiência energética considerando não somente o consumo energético, mas também a influência da força de trabalho e do capital no processo produtivo, além das trocas entre esses vários fatores.

Avaliando os resultados obtidos na Análise 1, constatou-se que a China, embora estando entre os países com menor TFEE, apresentou uma forte tendência de crescimento para este índice (Chile, Filipinas e Tailândia também resultaram em valores crescentes). Assim concluí-se que durante o período estudado esses países desenvolveram ações positivas e efetivas no que diz respeito à minimização do uso de energia, considerando as possíveis trocas entre energia, trabalho e capital, em função do crescimento do PIB. No entanto, muito ainda há para ser feito, uma vez que estão distantes dos índices obtidos pelos países tidos como mais eficientes.

Por outro lado, pode-se citar a África do Sul, além de Equador, Indonésia, Tanzânia e Venezuela, onde foi verificada tendência decrescente para o TFEE. Aqui se verifica uma situação onde novas ações deveriam ser implantadas e as ações existentes revistas. Uma vez que a exemplo da China, comprovadamente, ações que resultem no melhor uso dos recursos energéticos não necessariamente comprometem o crescimento econômico.

Finalmente, a maioria dos países do grupo G-20 da OMC, têm seus valores de TFEE mais ou menos estabilizados em torno de um mesmo valor. Brasil, Índia e Rússia estão entre estes países. Neste contexto, a Índia surge como uma economia onde está ocorrendo a substituição da força de trabalho pelo capital em pró de uma redução na intensidade energética, inicialmente elevada. As práticas indianas indicam um caminho eficaz, porém com muito potencial de evolução. Já a Rússia,

apresenta um cenário de muitas oportunidades, em função da idade média de sua infraestrutura, conforme foi discutido no Capítulo 4.

Os resultados obtidos para o Brasil, que apresentou TFEE médio próximo de 1, devem ser analisados dentro de duas vertentes. Por um lado o país constitui uma referência para a classificação dos outros países devido ao fato de apresentar baixas taxas de consumo, força de trabalho e capital com relação ao PIB. Por outro lado, esta situação não evoluiu no decorrer do período analisado. Assim não se constata a minimização do consumo energético ou trocas entre este consumo e/ou trabalho e capital. O país manteve-se num patamar de valores constantes. Esse resultado é preocupante, uma vez que sinaliza para a não efetividade das ações implantadas.

A inclusão das emissões de CO₂ como um fator indesejável para o processo produtivo, realizada na Análise 2, não trouxe uma variação significativa nos valores de eficiência obtidos com relação à primeira análise. A leitura que se faz destes resultados é que estando o consumo energético altamente atrelado às emissões de CO₂, a redução do primeiro fator implica na redução do segundo e, portanto, a aplicação da técnica DEA incluindo os dois fatores mostrou-se redundante.

Mediante os resultados da Análise 3 observou-se, para alguns países dentre os quais o Brasil, uma queda muito significativa nos escores de eficiência, quando utilizou-se o IDH como saída do processo produtivo.

De uma maneira geral, conclui-se que, os países em desenvolvimento necessitam continuar seu processo de crescimento, priorizando, no entanto, o uso das tecnologias e processos de uso racional de energia. Isso permitirá manter suas taxas de crescimento do PIB sem que seja necessária uma demanda mais significativa.

Além disso, o caminho da sociedade global rumo ao desenvolvimento sustentável envolve o desafio de vencer paradigmas na busca de novos modelos, que operem de forma mais inclusiva do ponto de vista social e eficiente na sua relação com o meio ambiente.

No caso específico do Brasil, constata-se que o sucesso das políticas adotadas no que diz respeito ao crescimento econômico, redução na desigualdade de renda e minimização da pobreza, não se repetiu quanto ao desenvolvimento humano, haja vista a diferença de posicionamento no ranking da avaliação comparativa apresentado na Tabela 7. Além disso, o país carece de um plano estratégico de desenvolvimento sustentável.

Apesar de fazer uso predominantemente de fontes energéticas renováveis, o Brasil enfrenta atualmente os problemas advindos dos impactos socioambientais relativos à expansão destas fontes e da baixa inclusão de tecnologias energéticas alternativas em sua matriz. Soma-se a isto, a maneira como é conduzida a contenção da devastação florestal: na Amazônia, a redução do desmatamento não é complementada por um projeto inovador de desenvolvimento da região preservada, e na caatinga e no cerrado ocorre a ampliação da devastação. E ainda, os esforços voltados para a modernização da produção e consumo estão muito mais focados no crescimento do PIB do que na sustentabilidade, fazendo com isso que o Brasil se distancie muito dos padrões da inovação tecnológica contemporânea, orientada para a minimização da utilização de materiais e energia e na preservação e regeneração ambiental.

Conclui-se quanto à necessidade do estabelecimento de estratégias de políticas energéticas que considerem: segurança energética, proteção ambiental, crescimento econômico e desenvolvimento humano.

Este trabalho, através da utilização de uma metodologia mais completa, realizou de forma original, a avaliação comparativa do desempenho energético dos países em desenvolvimento frente ao crescimento econômico, à sustentabilidade e ao desenvolvimento humano. No entanto, constitui um passo inicial na busca de uma nova metodologia para avaliação da eficiência energética.

Sugestões para trabalhos futuros

Para um trabalho futuro, que será realizado por esta pesquisadora, sugere-se que novas avaliações possam ser realizadas, com outros grupos de países. A análise comparativa de países desenvolvidos, ou das maiores economias mundiais

incluindo neste grupo países com altos índices de IDH poderá resultar na identificação de onde estão sendo desenvolvidas as melhores práticas, ou seja, quais países estão alcançando melhores índices de eficiência, possibilitando o cálculo da distância entre estes países e os demais.

Além disso, sugere-se a utilização de outros parâmetros de saída, que poderão permitir um aprofundamento da avaliação.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil? **Novos estud. – CEBRAP**, n.87, São Paulo, 2010. ISSN 0101-3300.

AFRICAN ECONOMIC OUTLOOK. **Tanzania**. Disponível em <<http://www.africaneconomicoutlook.org/en/countries/east-africa/tanzania/>>. Acesso em 31 ago. 2012.

ALTINAY, G.; KARAGOL, E. Structural break, unit root, and the causality between energy consumption and GDP in Turkey. **Energy Economics**. vol. 26, nov. 2004, p. 985-994.

ANG, B. W. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index. **Energy Policy**, v. 34, p. 574-582, 2006.

ANGULO-MEZA, L.; LINS, M. P. E. Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**. v. 116, p. 225–242, 2002.

ARAUJO, P. H. S. L. **Elaboração de um rankings por meio do uso de técnicas estruturadas**: uma aplicação no setor de seguros privados. 2008. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ASAFU-ADJAYE, J. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. **Energy Economics**. vol. 22, dez. 2000, p. 615-625.

ASMILD et al. Combining DEA Window Analysis with the Malmquist Index Approach in a Study of the Canadian Banking Industry. **Journal of Productivity Analysis**, v. 21, p. 67–89, 2004.

AZADEH, A. et al. An integrated DE PCA numerical taxonomy approach for energy efficiency assessment and consumption optimization in energy intensive manufacturing sectors. **Energy Policy**, v. 35, p. 3792–3806, 2007.

BARR, R. S. **DEA software tools and technology**: a state-of-the-art survey. EMIS, c. 16, p. 1-29, 2004.

BALACHANDRA, P.; RAVINDRANATH, D.; RAVINDRANATH, N. H. Energy efficiency in India: Assessing the policy regimes and their impacts. **Energy Policy**. 2009. doi:10.1016/j.enpol.2009.08.013.

BARDALES, K. N.; ZAGO, M. G.; SAIDEL, M. A. **Análise do Modelo da “Efficiency Vermont”**. In III CBEE – Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Belém – Brasil, 2009.

BATISTA, F. D. **Metodologia para o uso da análise por envoltória de dados no auxílio à decisão**. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, p. 1078-1092, 1984.

BOYD, G. A. A statistical model for measuring the efficiency gap between average and best practice energy use: the ENERGY STARTM industrial energy performance indicator. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, p. 51–66, 2005.

BOYD, G. A.; PANG, J. X. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. **Energy Policy**, v. 28, p. 289–296, 2000.

BRASIL - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: EPE, 2011. 266p. CDU 620.9:553.04(81).

BRASIL. ITAMARATI (2012a). Ministério das Relações Exteriores. **BRICS - Agrupamento Brasil-Rússia-Índia-China-África do Sul**. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/temas/mecanismos-inter-regionais/agrupamento-brics>>. Acesso em 29 set. 2012.

BRASIL. ITAMARATI (2012b). Ministério das Relações Exteriores. **G-20 Comercial**. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/temas/temas-multilaterais/copy_of_desenvolvimento-comercio-e-financas/organizacao-mundial-do-comercio/rodada-doha-da-omc/g-20-comercial/>. Acesso em 19 jul. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. 2012. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf>. Acesso em 21/10/2012.

BRASIL. Ministério de Minas Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas**. Ministério de Minas Energia, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Departamento de Desenvolvimento Energético, 2011. 158p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia, colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007. 12v. CDU 621.3(81) “2030”: 338.28.

BRUCE, N.; PEREZ-PADILLA, R.; ALBALAK, R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. **Bulletin of the World Health Organization**. vol. 78, 2000, 1078–1092.

CANADÁ. Natural Resources Canada. **Energy Efficiency Trends in Canada, 1990 to 2007**. Disponível em: <<http://oee.nrcan.gc.ca>>. Acesso em 20 mar. 2012.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 162p. ISBN 85-7605-047-1.

CHENG, B. S. Energy consumption and economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: a time series analysis. **Applied Economics Letters**, vol. 4, 1997, p. 671–674.

CHIEN, T.; HU, J. L. Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. **Energy Policy**, v.35, p. 3606-3615, 2007.

CHANG, T. P.; HU, J. L. Total-factor energy productivity growth, technical progress, and efficiency change: an empirical study of China. **Applied Energy**, v. 87, p. 3262-3270, 2010.

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.

COELLI, T.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. An introduction to efficiency and productivity analysis. **Kluwer Academic Publishers**, v. 10, p. 220-233, 1998.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Introduction to data envelopment analysis and its uses**: with DEA-Solver software and references. New York: Springer, 2006. INSB-13: 978-0387-28580-1.

DAVIDSON, O.; TYANI, L.; AFRANE-OKESSE, Y. Climate Change, Sustainable Development and Energy: Future Perspectives for South Africa. **OECD Energy and Development Research**. Centre University of Cape Town, 2002.

DYSON, R. G. et al. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 132, p. 245-259, 2001.

ENFLO, K.; HENRIQUES, S. **Bias-corrected estimates of Total Factor Energy Efficiency in OECD and Non-OECD countries 1965-1990**. Department of Economic History Lund University Work in progress, 2007. Disponível em: <<http://www.ekonomiskhistoria.se>>. Acesso em 10 fev. 2012.

ENGLE, R. F.; YOO, B. S. Forecasting and testing in co-integrated systems. **Journal of Econometrics**. vol. 35, maio. 1987, p. 143-159.

ESTADOS UNIDOS. **Energy Information Administration**. Disponível em <<http://www.eia.gov>>. Acesso em 21 abr. 2012.

ESTADOS UNIDOS. Federal EDERAL REGISTER. **The President**: Executive order 13514–Federal leadership in environmental, energy, and economic performance. Washington, DC, v. 74, n. 194, p. 52115-52127, 2009. Disponível em <<http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/eo13514.pdf>>. Acesso em 21 abr. 2012.

ESTADOS UNIDOS. International Energy Agency. **Perspectivas em tecnologias energéticas**. 2010.

ESTADOS UNIDOS. International Energy Agency. **Russian Federation**. In co-operation with UN/ECE. Disponível em: <<http://www.iea.org/countries/non-membercountries/russianfederation/>>. Acesso em 31 mai. 2012.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

GARCIA, H. (Ed.). **iDicionário Aulete**. Lexikon Editora Digital Ltda. Disponível em: <<http://aulete.uol.com.br>>. Acessado em 19 abr. 2012.

GELLER, H. et al. Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. **Energy Policy**, v. 34, p. 556-573, 2006.

GHALI, K. H.; EL-SAKKA, M. I. T. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. **Energy Economics**, vol. 26, p. 225-238, 2004.

GODOY, F. L. et al. Deforestation and CO2 emissions in coastal Tanzania from 1990 to 2007. **Environmental Conservation**, v. 39, p. 62-71, 2012.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega Int. J. of Mgmt Sci.**, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. **Estudos avançados**, v. 12, n. 33, 1998. ISSN 0103-4014.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. **Encontro Nacional de Ciência da Informação**, vol. 6, p. 1-18, 2005.

HALKOS, G. E.; TZEREMES, N. G. Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. **Ecological Economics**, v. 68, p. 2168-2176, 2009.

HAYNES, K. E.; DINC, M. Data Envelopment Analysis (DEA). **Encyclopedia of Social Measurement**, v. 1, p. 609-616, 2005.

HERZOG, A. L. **Portal Exame - Só a base da pirâmide salva**. 2008. Disponível em: <www.portalexame.abril.com.br_v2009_areascomuns>. Acesso em 10 out. 2009.

HU, J. L.; KAO, C. H. Efficient energy-saving targets for APEC economies. **Energy Policy**, v. 35, p. 373-382, 2007.

HU, J. L.; WANG, S. C. Total-factor energy efficiency of regions in China. **Energy Policy**, v. 34, p. 3206-3217, 2006.

HUMAN DEVELOPMENT REPORT. 2011. Disponível em: <<http://hdr.undp.org>>. Acesso em 15 jul. 2012.

HUNTINGTON, H. G. Been top down so long its look like up to me. **Energy Policy**, v.22, p. 833–839, 1994.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Tendências e oportunidades na economia verde: eficiência energética**. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP. Novembro/2010.

IM, K. S.; PESARAN, M.H.; SHIN, Y. Testing for unit roots in heterogeneous panels. **Journal of Econometrics**. vol. 115, p. 53-74, 2003.

JACKSON, J. Improving energy efficiency and smart grid program analysis with agent-based end-use forecasting models. **Energy Policy** v. 38, p. 3771–3780, 2010a.

JACKSON, J. Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools. **Energy Policy**, v. 38, p. 3865-3873, 2010b.

JUBRAN, A. K. **Modelo de análise de eficiência na administração pública: estudo aplicado às prefeituras na administração usando a análise envoltória de dados**. 2006. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

JUMBE, C. B. L. Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi. **Energy Economics**. vol. 26, p. 61-68, 2004.

KRAFT, J.; KRAFT, A. Relationship between energy and GNP. **J. Energy Dev. United States**. vol. 3, 1978.

LAM, P. L.; SHIU, A. Efficiency and Productivity of China's Thermal Power Generation. **Review of Industrial Organization**. vol. 24, p. 73-93, 2004.

LEE, C. C. Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. **Energy Economics**. vol. 27, p. 415-427, 2005.

LEE, W. S. Benchmarking the energy efficiency of government buildings with data envelopment analysis. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 891–895, 2008.

LIMA, C.; BRANDÃO, D. I.; SOUZA, A. N. **Novas tendências tecnológicas aplicadas no uso eficiente de energia**. In 9th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE, Mar del Plata, Argentina, 2011.

LIU, N.; ANG, B. W. Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: Energy intensity versus product mix. **Energy Economics**, v. 29, p. 609–635, 2007.

LOPES, A. L. M. et al. **Data Envelopment analysis – DEA como estratégia para seleção de carteiras de investimento: uma aplicação a 13 anos do mercado de ações brasileiro**. In XXXII EnANPAD, Rio de Janeiro, 2008.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avanço**. v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

MAÇADA, A. C. G.; BEEKER, J. L. Measuring the efficiency of investments in information technology in Brazilian Banks. In: Second International Conference on Operations and Quantitative Management (ICOQM-II) Ahmedabad, **Anais...** India: The Land of Mahatma Gandhi, 1999.

MACEDO, M. A. S.; BENGIO, M. C. **Avaliação de eficiência organizacional através de análise envoltória de dados**. In: VIII Congresso Internacional de Custos, Punta del Leste, 2003.

MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. **Peculiaridades da análise por envoltória de dados**. In. XII SIMPEP, Bauru, 2006.

MARTINOT, E. et al. Renewable Energy Markets in Developing Countries. **Annual Review of Energy and the Environment**. vol. 27, p. 309-348, 2002.

MARZAGÃO, D. S. L.; ERARIO, A. L.; CARVALHO, M. M. Sistemas de Indicadores de Desempenho: Revisão Bibliográfica por Métodos Bibliométricos. **30º Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos, Brasil, 2010.

MASIH, A. M. M.; MASIH, R. Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques. **Energy Economics**. vol. 18, p. 165-183, 1996.

MELLO, J. C. C. B. S. et al. **Curso de análise de envoltória de dados**. In. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, 2005.

MIELNIK, O.; GOLDEMBERG, J. Convergindo para um padrão comum de uso de energia em desenvolvimento e países industrializados. **Política Energética**. v. 28, n. 8, p. 503-508, 2000.

MUKHERJEE, K. Energy use efficiency in US manufacturing: a nonparametric analysis. **Energy Economics**, v. 30, p. 76–96, 2008.

NADEL, S. Energy efficiency resource standards: experience and recommendations. **ACEEE Report E063**. American Council for an Energy-Efficient Economy, 2006.

NAÇÕES UNIDAS. Disponível em: <<http://www.un.org>>. Acesso em 10 out. 2011.

NEELY, A. The evolution of performance measurement research - developments in the last decade and a research agenda for the next. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n.12, p. 1264-1277, 2005.

NOVA ZELÂNDIA - Energy Efficiency and Conservation Authority. **Energy Efficiency and Renewable Energy in New Zealand - Year Six Report: March 2001 to 2007**. Disponível em: <<http://www.eeca.govt.nz>>. Acesso em 20 mar. 2012.

ODYSSEE. Disponível em: <<http://www.odyssee-indicators.org>>. Acesso em 13 abr. 2012.

ONUT, S.; SONER, S. Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 964–971, 2006.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Perspectivas sobre o desenvolvimento mundial 2010: deslocação da riqueza**. 2010. ISBN 978-92-64-084650. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/23/3/45461580.pdf>>. Acesso em 27 mai. 2012.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2012a). **Convention on the Organisation for Economic Co-operation and Development**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/general/conventionontheorganisationforeconomicco-operationanddevelopment.htm>>. Acesso em 29 set. 2012.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2012b). **Economic Survey of the Russian Federation**. Disponível em: <http://www.oecd.org/document/13/0,3746,en_2649_34573_49101325_1_1_1_1,00.html>. Acesso em 20 abr. 2012.

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? Concepts, indicators, and methodological issues. **Energy Policy**, v. 24, p. 377-390, 1996.

PEREIRA, S. L. **Ecoeconomia tecnológica cooperativa – uma proposta conceitual: ciência e tecnologia da automação como ferramentas de inclusão social e de suporte ao desenvolvimento sustentável**. 2009. 169p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Desenvolvimento humano e IDH**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/IDH.aspx>>. Acesso em 20 abr. 2012.

RAMANATHAN, R. A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes. **Energy Policy**, v. 28, p. 743–747, 2000.

RELATÓRIO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO 2006. RDH, 2006. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/10-Backmatter_PT.pdf>. Acesso em 01 ago. 2012.

RELATÓRIO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO 2010. RDH, 2010. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2010_PT_Complete_reprint.pdf>. Acesso em 01 ago. 2012.

RELATÓRIO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO 2011. RDH, 2011. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2011_PT_Complete.pdf>. Acesso em 17 dez. 2012.

REINAS, R. I.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. N. Custo/benefício de aeronaves: uma abordagem pela análise envoltória de dados. **Produção**. v. 21, n. 4, p. 684-695, 2011. doi: 10.1590/S0103-65132011005000048.

SA'AD, S. Improved technical efficiency and exogenous factors in transportation demand for energy: An application of structural time series analysis to South Korean data. **Energy**, v. 35, p. 2745-2751, 2010.

SANTANA, N. B. **Crescimento econômico, desenvolvimento sustentável e inovação tecnológica : uma análise de eficiência por envoltória de dados para os países do BRICS**. 2012. 210p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SANTOS, A.; NOVA, S. P. C. C. Proposta de um modelo estruturado de análise de demonstrações contábeis. **RAE-eletrônica**, v. 4, n. 1, Art. 8, 2005.

SCHILDT, H. A. Sitkis: Software for Bibliometric Data Management and Analysis. **Helsinki Institute of Strategy and International Business**. 2002.

STERN, D. I. A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. **Energy Economics**. vol. 22, p. 267–283, 2000.

SOYTAS, U.; SARI, R. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. **Energy Economics**. vol. 25, p. 33-37, 2003.

TORESAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.

TRUDEAU, N.; MURRAY, I. **Development of Energy Efficiency Indicators in Russia** 2011. OECD/IEA. Disponível em: <http://www.iea.org/papers/2011/Russia_En_Eff_Ind.pdf>. Acesso em 27 mai. 2012.

VERGARA, S. C. **Projeto e relatórios de pesquisa em administração**. 13. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2011. 94p. ISBN 978-85-224-6508-8.

VASCONCELLOS, M. A. S.; OLIVEIRA, R. G. **Manual de microeconomia**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010. 317p. ISBN 978-85-224-2281-4.

WIKIPEDIA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em 10 out. 2011.

WORLD BANK. Disponível em: <<http://data.worldbank.org>>. Acesso em 10 out. 2011.

WORLD ENERGY COUNCIL (WEC). **Energy Efficiency: A Recipe for Success For sustainable energy**. 2010. ISBN: 978 0 946121 00 7.

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO). Disponível em: <http://www.wto.org/english/tratop_e/dda_e/negotiating_groups_e.htm#grp016>. Acesso em 19 jul. 2012.

YANG, H. Y. A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan. **Energy Economics**. vol. 22, p. 309-317, jun. 2000.

YING, C. **Efforts of the Chinese government for promoting environmental innovation in the fields of energy efficiency and renewable energy**. Berlin, 2007. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/3/14/39371278.pdf>>. Acessado em 27 mai. 2012.

YORK, D.; KUSHLER, M. ACEEE's 3rd National Scorecard on Utility and Public Benefits Energy Efficiency Programs: A National Review and Update of State-Level Activity. **American Council for an Energy-Efficient Economy**. Washington, D.C., 2005.

ZAGO, M. G.; SAIDEL, M. A.; SOUZA, A. N. **Energia e eficiência energética em países em desenvolvimento – uma análise bibliométrica**. In 9th CLAGTEE – Latin American Congress on Electricity Generation and Transmission, Mar del Plata – Argentina, 2011.

ZAGO, M. G.; SOUZA, A. N. **Gestão de projetos de P&D do setor elétrico brasileiro e seus impactos científicos e tecnológicos**. In XV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru – S.P., 2008.

ZHANG, X. P. et al. Total-factor energy efficiency in developing countries. **Energy Policy**, v. 39, p. 644-650, 2011.

ZHOU, P.; ANG, B. W. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. **Energy Policy**, v. 36, p. 2911-2916, 2008.

ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. **European Journal of Operational Research**, v. 189, p. 1–18, 2008.

ZHOU, P.; ANG, B. W.; ZHOU D. Q. Measuring economy-wide energy efficiency performance: A parametric frontier approach. **Applied Energy**, v. 90, p.196-200, 2011. In press.

APÊNDICE A – Análise bibliométrica do tema: energia e eficiência energética em países em desenvolvimento

Texto baseado em Zago; Saidel e Souza (2011).

Bibliometria é um conjunto de leis e princípios empíricos que contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos de uma determinada área objeto de estudo científico. O termo *statistical bibliography* – hoje bibliometria – foi usado pela primeira vez em 1922 por E. Wyndham Hulme, com a conotação de esclarecimento dos processos científicos e tecnológicos, por meio da contagem de documentos (GUEDES; BORSCHIVER, 2005). Trata-se de um instrumento quantitativo, que permite minimizar a subjetividade inerente à recuperação das informações e contribui para tomadas de decisão na gestão da informação e do conhecimento através da sistematização das informações científicas e tecnológicas.

Com o decorrer do desenvolvimento das técnicas bibliométricas, notou-se que sendo a literatura o ingrediente chave no processo de comunicação do conhecimento, é de grande contribuição para o estabelecimento dos fundamentos teóricos de um tema de estudo, que uma unidade de literatura, que existe em forma publicada, isto é, artigos de periódicos e livros, possa ser estudada em termos estatísticos. A análise estatística das publicações, autores, palavras-chave, usuários, citações e periódicos são alguns dos parâmetros observáveis em estudos bibliométricos da literatura.

O estudo, ora apresentado, consiste Este na contextualização teórica a respeito do tema energia e eficiência energética em países em desenvolvimento. Para a realização desta contextualização teórica foi empregado um processo de análise bibliométrica, o qual está explicitado na Seção II.

Os resultados são apresentados por meio de gráficos pertinentes à análise dos dados obtidos do portal de periódicos *ISI Web of Science* e tratados com ferramentas de software. A partir destes resultados foi possível estabelecer a evolução do tema ao longo do tempo e verificar a intensidade relacional do estudo da eficiência energética dentro deste contexto.

Análise Bibliométrica

O processo de análise bibliométrica utilizado neste trabalho segue o modelo proposto em (NEELY, 2005) e pode ser segmentado em cinco etapas conforme Figura 28.

Figura 28 – Processo bibliométrico

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos mediante pesquisa junto à base de dados do portal de periódicos ISI Web of Science. Foram identificadas as publicações dos tipos: “Article”, “Proceedings paper” e “Review” que continham no campo “Topics” as palavras: Países em Desenvolvimento e Energia. As áreas correlatas consideradas foram: Engenharias, Administração, Economia, Ciências da Computação, Física, Ciências Sociais e Ciências Ambientais. Esta pesquisa identificou 2032 artigos publicados em 432 periódicos diferentes. A primeira publicação incluída no conjunto de dados foi publicada em 1967 e a mais recente em 2011.

As 2032 publicações incluídas no conjunto de dados utilizaram como embasamento teórico, outras 35782 publicações, que serão tratadas neste texto como referências citadas ou citações.

Os dados foram descarregados utilizando o software SITKIS 2 (SCHILDT, 2002). Após esta etapa foi utilizada a ferramenta de análise UCINET (software de acesso livre - Analytic Technologies) e também foram feitas análises utilizando o software Microsoft Office Acess. Na sequência foram gerados gráficos com o

software NETDRAW (software de acesso livre - Analytic Technologies). Este conjunto de ferramentas possibilitou a análise estatística das publicações obtidas inicialmente no portal ISI Web of Science.

RESULTADOS

Referências Citadas com maior frequência de citação

A Tabela 8 apresenta a tabulação inicial dos dados da pesquisa bibliográfica, ou seja, dos artigos e livros (um total de 35782) utilizados como embasamento teórico (citações) para as 2032 publicações identificadas na base dados ISI Web of Science e importados para a base do Sitkis. Das 35782 referências, apenas 17 são citadas mais do que 20 vezes.

Tabela 8 – Número de citações de referências em publicações no ISI Web of Science. Período entre 1967 e 2011 (referências mais citadas)

REFERÊNCIAS MAIS CITADAS	FREQUÊNCIAS DE CITAÇÕES
LEE CC (2005)	56
ASAFU – ADJAYE J (2000)	42
KRAFT J (1978)	37
STERN DI (2000)	31
MASIH AMM (1996)	28
SOYTAS U (2003)	28
BRUCE N (2000)	26
MARTINOT E (2002)	24
YANG HY (2000)	24
GHALI KH (2004)	23
ENGLE RF (1987)	23
JUMBE CBL (2004)	22
SHIU A (2004)	22
IM KS (2003)	21
SMITH KR (2000)	20
YU ESH (1985)	20

A Figura 29 mostra o padrão de citações de artigos mais influentes (aqueles com maior frequência de citações) estabelecendo uma rede de co-citações. A espessura da linha indica a frequência com que os dois artigos estavam ligados, ou seja, co-citados.

Observa-se que a rede resultante é formada por um único grupo de autores.

Dos artigos com maior frequência de citações a grande maioria (aproximadamente 70%) é integrante de publicações na área de economia e relatam, sob vários focos de pesquisa, a análise da relação causal entre o Produto Interno Bruto (PIB) e o consumo de energia.

Figura 29 – Referências com maior frequência de citações

O artigo com maior frequência de citação de Lee (2005), apresenta uma análise da relação de causalidade entre o consumo de energia e o PIB em 18 países em desenvolvimento. Na mesma linha de pesquisa estão: o trabalho de Asafu-Adjaye (2000) onde é feita uma estimativa das relações causais entre o consumo de energia e renda para a Índia, Indonésia, Filipinas e Tailândia utilizando técnicas de modelagem e correção de erro, o trabalho intitulado “Relationship between Energy and GNP” (KRAFT; KRAFT, 1978), o artigo de Stern (2000) que analisa a relação causal entre o PIB e o consumo de energia para o período nos Estados Unidos no período pós guerra, o trabalho de Masih e Masih (1996) que ao analisar a relação causal entre o consumo de energia e o crescimento econômico constata a co-integração entre essas variáveis, o trabalho de Soytas e Sari (2003) que apresenta a relação de causalidade entre o consumo de energia e a renda e estuda uma série de propriedades em tempo de consumo de energia e o PIB e reexamina a relação de causalidade entre as duas séries em dez mercados emergentes, o trabalho de Yang (2000) onde a causalidade entre o consumo de energia e o PIB em Taiwan é reexaminada no período compreendido entre os anos de 1954-1997, o trabalho de Ghali e El-Sakka (2004) que desenvolve um modelo com vetor de correção de erros para testar a existência e a direção da causalidade entre o crescimento do produto

interno e uso de energia no Canadá, o trabalho de Engle e Yoo (1987), o trabalho de Jumbe (2004) que aplicada as técnicas de causalidade de Granger e correção de erros em dados de 1970-1999 para analisar a cointegração e causalidade entre o consumo de energia elétrica (kWh) e, respectivamente, o PIB global, o PIB agrícola (AGDP) e não-agrícolas e o PIB (NGDP) no Malawi, o trabalho de Lam e Shiu (2004) que usa resultados obtidos com a análise envoltória de dados (DEA) para analisar a produtividade total dos fatores de crescimento na China, o trabalho de Altinay e Karagol (2004) que investiga a relação de causalidade entre o PIB e o consumo de energia na Turquia e finalmente o trabalho Cheng (1997) onde são aplicadas técnicas desenvolvidas de cointegração e de causalidade de Granger para três países latinos (Brasil, México e Venezuela).

Dois outros trabalhos Martinot et al. (2002) e Bruce, Peres-Padilla e Albalak (2000) tratam de políticas públicas em países em desenvolvimento.

Os demais trabalhos que apareceram entre os mais citados na presente pesquisa são; o trabalho de Im, Pesaran e Shin (2003) que apresenta uma teoria estatística, o trabalho de Smith (2000) a respeito da relação entre poluição atmosférica e a propagação de doenças epidemiológicas, e finalmente o trabalho de Yu (1985) que apresenta um estudo de alocação de recursos com diferenciais de preços considerando o fator em incerteza do preço.

Artigos publicados por ano

As publicações identificadas no *ISI of Knowledge*, indicam uma aparente tendência crescente de reforço da pesquisa acadêmica no tema analisado. É possível ilustrar esta tendência em um gráfico indicando a somatória de publicações em função do tempo. Este gráfico está ilustrado na Figura 30. Observar-se que o interesse pelo assunto estudado é crescente a partir dos anos 1990, sendo que 68% das publicações estão localizadas no período entre os anos 2000 e 2011.

Figura 30 – Gráfico de distribuição das publicações ao longo do tempo

Palavras-Chave

O Quadro 3 apresenta as palavras-chave com maior frequência de ocorrência nas publicações identificadas no *ISI of Knowledge*, além dos dois tópicos utilizados na determinação da pesquisa, ou seja, “países em desenvolvimento” e “energia”.

Quadro 3 – Palavras-chave com maior frequência de ocorrência nas publicações identificadas no ISI of Web of Science

ENERGIA RENOVÁVEL
BIOMASSA
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
EMISSIONES DE CO2
MUDANÇAS CLIMÁTICAS
CONSUMO

A Figura 31 apresenta uma rede com as palavras-chave mais citadas nas publicações identificadas. Foram utilizadas para construção desta rede palavras-chave que aparecerem no mínimo em 50 artigos analisados. A maior intensidade das linhas que interligam as palavras-chave na Figura indica um número maior de vezes que tais palavras são citadas conjuntamente. Esta figura enfatiza o fato de que o estudo de eficiência energética dentro da problemática referente à questão energética dos países em desenvolvimento não só é pertinente, como se encontra intrinsecamente relacionado com os tópicos de maior relevância na literatura. É possível observar na figura uma linha com maior intensidade relacionando os tópicos Eficiência Energética (“Energy Efficiency”) e Países em Desenvolvimento (“Developing Countries”).

Figura 31 – Rede de palavras-chave com maior frequência de ocorrência.

Periódicos

A Tabela 9 relata os dez periódicos com maior frequência de ocorrência nas publicações identificadas no ISI of Knowledge, assim com o número de publicações por periódico.

Tabela 9 – Periódicos com maior frequência de ocorrência nas publicações identificadas no ISI of Web of Science

<i>Periódico</i>	<i>Frequência de Citação</i>
ENERG POLICY	277
RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	73
RENEWABLE ENERGY	62
ENERGY ECONOMICS	50
ENERGY	45
ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT	42
CLIMATE POLICY	35
ECOLOGICAL ECONOMICS	29
APPLIED ENERGY	26
FONTES DE ENERGIA	24

Autores mais Citados

Seguindo a mesma linha de análise de Marzagão, Erario e Carvalho(2010), apresenta-se na Figura 32 o gráfico de área contendo as distribuições de citações, por autor em termos relativos por ano. As restrições do gráfico representado concentram-se aos cinco autores mais citados e ao período compreendido entre os anos de 1991 e 2011.

Figura 32 – Autores mais citados.

Observando a influência dos autores através do tempo, percebe-se até por volta do ano de 2002 uma hegemonia na importância dos trabalhos de Kirk; Smith²² e José Goldemberg²³. Os trabalhos de Smith focam-se em estudos quantitativos epidemiológicos de doenças específicas e o impacto, nos países em desenvolvimento, do uso de combustíveis sólidos ou produzidos à base de biomassa quantificando uma estimativa do total da carga de doença (mortalidade e morbidade) atribuível à poluição do ar. Por sua vez, os trabalhos de Goldemberg neste período apresentam a energia e a tecnologia como ingredientes essenciais ao desenvolvimento e discute os desafios relativos à erradicação da pobreza e do subdesenvolvimento em face do forte aumento populacional e proporcional aumento da energia consumida. Goldemberg afirma que estes desafios só poderão ser cumpridos com o êxito do uso de tecnologia avançada, "ultrapassando" o caminho seguido no passado pelos países industrializados. Nesta linha de pesquisa, o autor inicia uma discussão quanto à dissociação do consumo de energia e o desenvolvimento econômico e também a respeito do desenvolvimento sustentável.

A partir do ano de 2002 nota-se um crescimento da importância dos trabalhos de Ayhan Demirbas²⁴, Chien-Chiang Lee²⁵ e David I. Stern²⁶. Os trabalhos de

²² Kirk R. Smith: Professor de Saúde Ambiental da Escola de Saúde Pública da Divisão de Ciências de Saúde Ambiental da University of Califórnia, Berkeley.

²³ José Goldemberg: Físico, Membro da Academia Brasileira de Ciências e Academia de Ciências do Terceiro Mundo e Co-Presidente do Global Energy Assessment.

²⁴ Ayhan Demirbas: Professor da Escola de Engenharia da Sirtak University, Turkey.

Dermibas discutem a importância dos biocombustíveis e o impacto desta tecnologia na economia. Stern, por sua vez, discute a respeito das metas de redução de emissões de CO₂ atribuídas aos países em desenvolvimento, focando a China e a Índia e de políticas de mitigação, o autor pesquisa ainda curvas ambientais de Kuznets (relacionando PIB *per capita* e emissão de poluentes) e desenvolvimento sustentável. Os trabalhos de Lee, por sua vez, centram-se na análise da relação de causalidade entre crescimento econômico, desenvolvimento e o consumo de energia, focando diferentes realidades ambientais e temporais.

Conclusões

O crescente consumo energético resultante do desenvolvimento tecnológico, crescimento populacional e mudanças comportamentais, suscita uma discussão a respeito de vários fatores inter-relacionados, ou seja: energia, desenvolvimento e sustentabilidade. Tendo como premissa a busca da relação entre estes vários fatores, buscou-se neste estudo, com o uso de uma técnica de análise bibliométrica, responder a algumas questões, ou seja: “Quais foram as mais influentes publicações e autores que discutiram a questão energética em países em desenvolvimento?”; “Quais os temas de pesquisa abordados em concomitância com energia, desenvolvimento e sustentabilidade?” e “O que a análise das pesquisas ao longo do tempo permite inferir a respeito de temas para estudos futuros?”.

A rede relativamente densa apresentada na Figura 29, sugere que os estudos desenvolvidos se concentram em questões referentes ao estabelecimento de relações de causalidade entre consumo de energia e produto interno bruto, ou seja, discute-se a questão do desenvolvimento e suas implicações no consumo de energia.

A Figura 31, por sua vez, apresentando uma rede de palavras-chave mais citadas, adiciona novas componentes à discussão introduzindo questões relativas a:

²⁵ Chien-Chiang Lee: Economista, Professor do Departamento de Economia da National Sun Yat-sen University.

²⁶ David I. Stern: Economista, Professor Escola de Economia e Gestão – Crawford da, Australian National University, Canberra, Australia.

energias renováveis, desenvolvimento sustentável, emissões de carbono e eficiência energética.

O gráfico de distribuição das publicações ao longo do tempo, apresentado na Figura 30, reforça a importância desta linha de pesquisa que vem crescendo de forma acentuada principalmente a partir do ano de 2006.

Dentre os autores mais citados, ressalta-se a importância da influência dos trabalhos de José Goldemberg que inicia a discussão a respeito do desenvolvimento sustentável, em países em desenvolvimento, e as implicações econômicas e sociais desta questão. Mais recentemente introduziu-se a esta discussão as implicações a respeito das metas de redução de emissão de CO₂ atribuídas aos países em desenvolvimento e, a busca de novas fontes renováveis e sustentáveis de energia e, com os trabalhos de Lee, a tentativa de mensurar a relação de causalidade agora estendida para além do crescimento econômico, desenvolvimento e o consumo de energia, focando ainda questões ambientais e sociais.

Desta forma, partindo-se na análise bibliométrica desenvolvida pode-se concluir que o futuro da pesquisa relativa à questão energética em países em desenvolvimento remete para o desafio de se buscar respostas tecnológicas que possibilitem o desenvolvimento sustentável dos países, ou seja, o desenvolvimento econômico, a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de vida das populações, mitigando, no entanto, as emissões de CO₂ e resolvendo a equação relativa à expansão do consumo energético, ou seja, desenvolvimento de soluções sustentáveis de produção de energia e tornando mais eficiente as formas de consumo.

APÊNDICE B – Resultados complementares: Análise 1

Análise estatística e cálculo da correlação entre fatores:

No. of DMUs = 21

No. of Input items = 3

Input(1) = Consumo

Input(2) = Força de Trabalho

Input(3) = Capital Social

No. of Output items = 1

Output(1) = PIB

No. of Time periods = 17

Time period(1) = 1993

Time period(2) = 1994

Time period(3) = 1995

Time period(4) = 1996

Time period(5) = 1997

Time period(6) = 1998

Time period(7) = 1999

Time period(8) = 2000

Time period(9) = 2001

Time period(10) = 2002

Time period(11) = 2003

Time period(12) = 2004

Time period(13) = 2005

Time period(14) = 2006

Time period(15) = 2007

Time period(16) = 2008

Time period(17) = 2009

Returns to Scale = Variable (Sum of Lambda = 1)

Statistics on Input/Output Data

Time period = 1993

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	937316,2	6,74E+08	6,69E+13	1,78E+12
Min	2517,613	1434929	3,81E+11	1,87E+10
Average	136039,9	69490372	1,04E+13	4,26E+11
SD	244270,9	1,53E+08	1,52E+13	5,11E+11

Correlation (Time period = 1993)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,816168	0,926569	0,894471
Força de Trabalho	0,816168	1	0,916329	0,771313
Capital Social	0,926569	0,916329	1	0,93238
PIB	0,894471	0,771313	0,93238	1

Time period = 1994

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	980275,4	6,82E+08	7,22E+13	2,01E+12
Min	2404,88	1442031	3,55E+11	1,94E+10
Average	135954,8	70621814	1,1E+13	4,44E+11
SD	240940,7	1,55E+08	1,63E+13	5,38E+11

Correlation (Time period = 1994)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,861791	0,934541	0,896686
Força de Trabalho	0,861791	1	0,923603	0,822567
Capital Social	0,934541	0,923603	1	0,952106
PIB	0,896686	0,822567	0,952106	1

Time period = 1995

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1047246	6,9E+08	7,65E+13	2,23E+12
Min	2571,997	1460369	3,72E+11	2,05E+10
Average	140754,8	71772478	1,13E+13	4,62E+11
SD	250893,9	1,57E+08	1,71E+13	5,72E+11

Correlation (Time period = 1995)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,882406	0,942957	0,906676
Força de Trabalho	0,882406	1	0,951476	0,858142
Capital Social	0,942957	0,951476	1	0,953747
PIB	0,906676	0,858142	0,953747	1

Time period = 1996

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1084845	6,98E+08	8,28E+13	2,45E+12
Min	2835,222	1468245	4E+11	2,06E+10
Average	144759,2	72883688	1,18E+13	4,86E+11
SD	256989	1,59E+08	1,83E+13	6,13E+11

Correlation (Time period = 1996)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,889991	0,939824	0,911543
Força de Trabalho	0,889991	1	0,958048	0,879743
Capital Social	0,939824	0,958048	1	0,954501
PIB	0,911543	0,879743	0,954501	1

Time period = 1997

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1087375	7,06E+08	8,81E+13	2,68E+12
Min	2880,565	1486703	3,7E+11	2,12E+10
Average	145803,6	74151652	1,24E+13	5,12E+11
SD	255505	1,61E+08	1,93E+13	6,56E+11

Correlation (Time period = 1997)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,900342	0,940263	0,922903
Força de Trabalho	0,900342	1	0,962404	0,891113
Capital Social	0,940263	0,962404	1	0,963035
PIB	0,922903	0,891113	0,963035	1

Time period = 1998

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1085530	7,13E+08	9,77E+13	2,89E+12
Min	2964,861	1506000	4,12E+11	2,13E+10
Average	146030,4	75295522	1,26E+13	5,22E+11
SD	254381,7	1,63E+08	2,12E+13	6,95E+11

Correlation (Time period = 1998)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,90479	0,932768	0,927375
Força de Trabalho	0,90479	1	0,968255	0,907306
Capital Social	0,932768	0,968255	1	0,962289
PIB	0,927375	0,907306	0,962289	1

Time period = 1999

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1085777	7,21E+08	1,06E+14	3,11E+12
Min	3236,2	1524303	3,85E+11	2,1E+10
Average	150108,2	76652531	1,27E+13	5,45E+11
SD	257332,2	1,65E+08	2,3E+13	7,44E+11

Correlation (Time period = 1999)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,901403	0,924419	0,93476
Força de Trabalho	0,901403	1	0,97248	0,916096
Capital Social	0,924419	0,97248	1	0,960284
PIB	0,93476	0,916096	0,960284	1

Time period = 2000

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1094871	7,28E+08	1,15E+14	3,37E+12
Min	3091,889	1539197	3,56E+11	2,03E+10
Average	151940,7	77835086	1,36E+13	5,77E+11
SD	260181,1	1,67E+08	2,49E+13	8,01E+11

Correlation (Time period = 2000)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,900479	0,932763	0,940089
Força de Trabalho	0,900479	1	0,964915	0,917299
Capital Social	0,932763	0,964915	1	0,964795
PIB	0,940089	0,917299	0,964795	1

Time period = 2001

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1091386	7,36E+08	1,26E+14	3,65E+12
Min	2711,575	1552487	3,59E+11	2,07E+10
Average	152888,2	79110977	1,45E+13	6,02E+11
SD	260555	1,69E+08	2,74E+13	8,57E+11

Correlation (Time period = 2001)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,898389	0,939392	0,946254
Força de Trabalho	0,898389	1	0,971241	0,92665
Capital Social	0,939392	0,971241	1	0,971005
PIB	0,946254	0,92665	0,971005	1

Time period = 2002

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1181701	7,43E+08	1,44E+14	3,98E+12
Min	2538,084	1560263	3,48E+11	2,07E+10
Average	158881,3	80347470	1,53E+13	6,28E+11
SD	276595,4	1,71E+08	3,1E+13	9,23E+11

Correlation (Time period = 2002)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,909998	0,944422	0,955657
Força de Trabalho	0,909998	1	0,967508	0,9342
Capital Social	0,944422	0,967508	1	0,964942
PIB	0,955657	0,9342	0,964942	1

Time period = 2003

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1345046	7,5E+08	1,72E+14	4,38E+12
Min	2522,978	1568575	3,55E+11	2,15E+10
Average	169649,8	81556835	1,71E+13	6,68E+11
SD	307903,2	1,72E+08	3,68E+13	1,01E+12

Correlation (Time period = 2003)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,916705	0,95399	0,96141
Força de Trabalho	0,916705	1	0,966383	0,941966
Capital Social	0,95399	0,966383	1	0,961431
PIB	0,96141	0,941966	0,961431	1

Time period = 2004

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1567915	7,56E+08	1,96E+14	4,82E+12
Min	2860,987	1576399	3,86E+11	2,24E+10
Average	184988,9	82786011	1,96E+13	7,19E+11
SD	350128	1,74E+08	4,23E+13	1,1E+12

Correlation (Time period = 2004)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,928281	0,966836	0,965917
Força de Trabalho	0,928281	1	0,973654	0,946209
Capital Social	0,966836	0,973654	1	0,967184
PIB	0,965917	0,946209	0,967184	1

Time period = 2005

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1696389	7,62E+08	2,15E+14	5,36E+12
Min	2947,946	1587528	4,44E+11	2,3E+10
Average	194227,3	84052674	2,16E+13	7,75E+11
SD	375151,9	1,76E+08	4,65E+13	1,22E+12

Correlation (Time period = 2005)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,931442	0,96989	0,970397
Força de Trabalho	0,931442	1	0,976722	0,952373
Capital Social	0,96989	0,976722	1	0,971622
PIB	0,970397	0,952373	0,971622	1

Time period = 2006

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1853975	7,68E+08	2,46E+14	6,05E+12
Min	3175,663	1601545	4,57E+11	2,4E+10
Average	205616,7	85379339	2,43E+13	8,43E+11
SD	407262,5	1,78E+08	5,3E+13	1,36E+12

Correlation (Time period = 2006)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,932959	0,973815	0,973869
Força de Trabalho	0,932959	1	0,975129	0,95641
Capital Social	0,973815	0,975129	1	0,975615
PIB	0,973869	0,95641	0,975615	1

Time period = 2007

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	1963992	7,73E+08	2,7E+14	6,9E+12
Min	3163,245	1639418	4,46E+11	2,56E+10
Average	214055,1	86490434	2,71E+13	9,23E+11
SD	429787,4	1,79E+08	5,85E+13	1,54E+12

Correlation (Time period = 2007)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,935814	0,979674	0,979273
Força de Trabalho	0,935814	1	0,976517	0,959597
Capital Social	0,979674	0,976517	1	0,983468
PIB	0,979273	0,959597	0,983468	1

Time period = 2008

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	2117483	7,79E+08	3,09E+14	7,57E+12
Min	4144,728	1639810	4,78E+11	2,71E+10
Average	225487,4	87724447	3,01E+13	9,83E+11
SD	461038,2	1,81E+08	6,63E+13	1,68E+12

Correlation (Time period = 2008)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,934969	0,98355	0,981756
Força de Trabalho	0,934969	1	0,969286	0,959948
Capital Social	0,98355	0,969286	1	0,98471
PIB	0,981756	0,959948	0,98471	1

Time period = 2009

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	2257101	7,86E+08	3,8E+14	8,26E+12
Min	4093,296	1655959	3,94E+11	2,61E+10
Average	232477,6	88942108	3,32E+13	1,02E+12
SD	488971,4	1,83E+08	8,1E+13	1,81E+12

Correlation (Time period = 2009)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,943993	0,985364	0,984876
Força de Trabalho	0,943993	1	0,960354	0,967962
Capital Social	0,985364	0,960354	1	0,981437
PIB	0,984876	0,967962	0,981437	1

Tabela 10 - Valores do PIB – em US\$ internacionais (constantes de 2005), usando taxas de paridade de poder aquisitivo (ppp)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
África do Sul	2,75E+11	2,84E+11	2,93E+11	3,06E+11	3,14E+11	3,15E+11	3,23E+11	3,36E+11	3,45E+11	3,58E+11	3,69E+11	3,85E+11	4,06E+11	4,28E+11	4,52E+11	4,69E+11	4,61E+11
Argentina	3,25E+11	3,44E+11	3,34E+11	3,53E+11	3,81E+11	3,96E+11	3,83E+11	3,80E+11	3,63E+11	3,23E+11	3,52E+11	3,84E+11	4,19E+11	4,55E+11	4,94E+11	5,27E+11	5,32E+11
Bolívia	2,28E+10	2,39E+10	2,50E+10	2,61E+10	2,74E+10	2,88E+10	2,89E+10	2,96E+10	3,01E+10	3,09E+10	3,17E+10	3,30E+10	3,45E+10	3,62E+10	3,78E+10	4,01E+10	4,15E+10
Brasil	1,14E+12	1,20E+12	1,25E+12	1,28E+12	1,32E+12	1,32E+12	1,32E+12	1,38E+12	1,40E+12	1,43E+12	1,45E+12	1,53E+12	1,58E+12	1,65E+12	1,75E+12	1,84E+12	1,83E+12
Chile	1,13E+11	1,19E+11	1,32E+11	1,41E+11	1,51E+11	1,56E+11	1,55E+11	1,61E+11	1,67E+11	1,71E+11	1,77E+11	1,88E+11	1,98E+11	2,07E+11	2,17E+11	2,25E+11	2,35E+11
China	1,78E+12	2,01E+12	2,23E+12	2,45E+12	2,68E+12	2,89E+12	3,11E+12	3,37E+12	3,65E+12	3,98E+12	4,38E+12	4,82E+12	5,36E+12	6,05E+12	6,90E+12	7,57E+12	8,26E+12
Egito	2,00E+11	2,08E+11	2,17E+11	2,28E+11	2,41E+11	2,51E+11	2,66E+11	2,80E+11	2,90E+11	2,97E+11	3,06E+11	3,19E+11	3,33E+11	3,56E+11	3,81E+11	4,09E+11	4,28E+11
Equador	5,95E+10	6,23E+10	6,34E+10	6,49E+10	6,75E+10	6,90E+10	6,46E+10	6,64E+10	7,00E+10	7,36E+10	7,60E+10	8,27E+10	8,74E+10	9,16E+10	9,34E+10	1,00E+11	1,01E+11
Filipinas	1,60E+11	1,67E+11	1,75E+11	1,85E+11	1,95E+11	1,94E+11	2,00E+11	2,09E+11	2,15E+11	2,22E+11	2,33E+11	2,49E+11	2,61E+11	2,75E+11	2,93E+11	3,05E+11	3,09E+11
Guatemala	3,36E+10	3,49E+10	3,67E+10	3,77E+10	3,94E+10	4,14E+10	4,29E+10	4,45E+10	4,55E+10	4,73E+10	4,85E+10	5,00E+10	5,17E+10	5,44E+10	5,79E+10	5,98E+10	6,01E+10
Índia	1,18E+12	1,26E+12	1,35E+12	1,46E+12	1,52E+12	1,61E+12	1,73E+12	1,80E+12	1,89E+12	1,96E+12	2,13E+12	2,30E+12	2,52E+12	2,75E+12	3,02E+12	3,17E+12	3,40E+12
Indonésia	4,64E+11	4,99E+11	5,41E+11	5,82E+11	6,09E+11	5,29E+11	5,33E+11	5,60E+11	5,80E+11	6,06E+11	6,35E+11	6,67E+11	7,05E+11	7,44E+11	7,91E+11	8,39E+11	8,78E+11
México	9,27E+11	9,69E+11	9,09E+11	9,55E+11	1,02E+12	1,07E+12	1,11E+12	1,18E+12	1,18E+12	1,19E+12	1,21E+12	1,26E+12	1,30E+12	1,37E+12	1,41E+12	1,43E+12	1,34E+12
Paquistão	2,09E+11	2,16E+11	2,27E+11	2,38E+11	2,41E+11	2,47E+11	2,56E+11	2,67E+11	2,72E+11	2,81E+11	2,94E+11	3,16E+11	3,40E+11	3,61E+11	3,82E+11	3,88E+11	4,02E+11
Paraguai	1,87E+10	1,94E+10	2,05E+10	2,06E+10	2,12E+10	2,13E+10	2,10E+10	2,03E+10	2,07E+10	2,07E+10	2,15E+10	2,24E+10	2,30E+10	2,40E+10	2,56E+10	2,71E+10	2,61E+10
Peru	1,03E+11	1,17E+11	1,27E+11	1,30E+11	1,39E+11	1,38E+11	1,39E+11	1,43E+11	1,44E+11	1,51E+11	1,57E+11	1,65E+11	1,76E+11	1,90E+11	2,07E+11	2,27E+11	2,29E+11
Rússia	1,39E+12	1,21E+12	1,16E+12	1,12E+12	1,14E+12	1,08E+12	1,15E+12	1,26E+12	1,32E+12	1,39E+12	1,49E+12	1,60E+12	1,70E+12	1,84E+12	1,99E+12	2,10E+12	1,93E+12
Tailândia	2,85E+11	3,11E+11	3,39E+11	3,59E+11	3,55E+11	3,17E+11	3,31E+11	3,47E+11	3,55E+11	3,74E+11	4,00E+11	4,26E+11	4,45E+11	4,68E+11	4,91E+11	5,04E+11	4,92E+11
Tanzânia	2,21E+10	2,24E+10	2,32E+10	2,43E+10	2,52E+10	2,61E+10	2,74E+10	2,87E+10	3,04E+10	3,26E+10	3,49E+10	3,76E+10	4,04E+10	4,31E+10	4,62E+10	4,96E+10	5,26E+10
Uruguai	2,60E+10	2,79E+10	2,75E+10	2,91E+10	3,16E+10	3,30E+10	3,23E+10	3,17E+10	3,05E+10	2,81E+10	2,84E+10	2,98E+10	3,20E+10	3,34E+10	3,58E+10	3,89E+10	3,90E+10
Venezuela	2,21E+11	2,15E+11	2,24E+11	2,24E+11	2,38E+11	2,38E+11	2,24E+11	2,33E+11	2,40E+11	2,19E+11	2,02E+11	2,39E+11	2,64E+11	2,90E+11	3,13E+11	3,28E+11	3,21E+11

Fonte: (World Bank, 2011)

Tabela 11 - Intensidade energética em ktep/milhões de US\$

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
África do Sul	0,364	0,366	0,372	0,360	0,360	0,350	0,354	0,340	0,333	0,314	0,328	0,341	0,321	0,305	0,307	0,320	0,312	0,3389	0,3050	0,3717	0,0214
Argentina	0,154	0,155	0,161	0,158	0,153	0,152	0,158	0,161	0,159	0,171	0,168	0,175	0,160	0,161	0,149	0,145	0,140	0,1586	0,1396	0,1754	0,0092
Bolívia	0,131	0,138	0,149	0,158	0,165	0,164	0,155	0,128	0,098	0,116	0,119	0,111	0,151	0,179	0,143	0,149	0,150	0,1399	0,0977	0,1787	0,0209
Brasil	0,130	0,130	0,129	0,133	0,135	0,138	0,141	0,137	0,136	0,136	0,137	0,137	0,136	0,136	0,135	0,135	0,131	0,1347	0,1290	0,1412	0,0032
Chile	0,137	0,140	0,136	0,140	0,148	0,148	0,159	0,153	0,145	0,147	0,143	0,144	0,140	0,136	0,131	0,130	0,123	0,1409	0,1227	0,1590	0,0084
China	0,528	0,488	0,470	0,443	0,406	0,376	0,349	0,325	0,299	0,297	0,307	0,325	0,316	0,307	0,284	0,280	0,273	0,3826	0,2732	0,6279	0,1077
Egito	0,177	0,160	0,162	0,164	0,161	0,166	0,172	0,161	0,160	0,174	0,179	0,175	0,183	0,179	0,176	0,173	0,168	0,1704	0,1600	0,1826	0,0072
Equador	0,101	0,100	0,113	0,120	0,118	0,117	0,119	0,121	0,126	0,125	0,131	0,129	0,123	0,120	0,122	0,110	0,113	0,1168	0,1000	0,1308	0,0090
Filipinas	0,189	0,194	0,194	0,190	0,190	0,197	0,195	0,194	0,181	0,177	0,169	0,157	0,150	0,141	0,130	0,130	0,126	0,1727	0,1259	0,1965	0,0253
Guatemala	0,143	0,145	0,146	0,147	0,148	0,151	0,160	0,159	0,159	0,155	0,152	0,155	0,157	0,151	0,148	0,137	0,164	0,1515	0,1373	0,1638	0,0066
Índia	0,297	0,289	0,284	0,272	0,272	0,262	0,259	0,254	0,246	0,243	0,230	0,225	0,214	0,205	0,197	0,195	0,199	0,2505	0,1953	0,3084	0,0374
Indonésia	0,261	0,244	0,250	0,241	0,237	0,267	0,287	0,278	0,276	0,275	0,263	0,268	0,257	0,252	0,238	0,229	0,230	0,2564	0,2287	0,2866	0,0167
México	0,140	0,139	0,143	0,139	0,134	0,132	0,132	0,122	0,124	0,126	0,127	0,126	0,131	0,126	0,125	0,127	0,131	0,1322	0,1225	0,1459	0,0073
Paquistão	0,236	0,237	0,236	0,236	0,239	0,238	0,242	0,238	0,238	0,233	0,233	0,233	0,224	0,220	0,221	0,213	0,213	0,2310	0,2128	0,2415	0,0087
Paraguai	0,175	0,185	0,192	0,195	0,206	0,202	0,196	0,190	0,189	0,188	0,185	0,179	0,179	0,175	0,169	0,165	0,182	0,1848	0,1654	0,2064	0,0108
Peru	0,096	0,088	0,087	0,087	0,079	0,083	0,088	0,085	0,082	0,079	0,074	0,078	0,078	0,070	0,069	0,066	0,069	0,0815	0,0663	0,0963	0,0091
Rússia	0,541	0,541	0,547	0,562	0,530	0,546	0,532	0,491	0,473	0,449	0,434	0,406	0,384	0,365	0,338	0,328	0,335	0,4640	0,3284	0,5620	0,0819
Tailândia	0,179	0,177	0,182	0,193	0,199	0,208	0,213	0,208	0,214	0,217	0,219	0,222	0,216	0,210	0,208	0,211	0,210	0,2031	0,1772	0,2224	0,0147
Tanzânia	0,468	0,469	0,474	0,459	0,448	0,457	0,466	0,466	0,467	0,458	0,445	0,431	0,425	0,414	0,397	0,382	0,373	0,4430	0,3731	0,4741	0,0308
Uruguai	0,097	0,086	0,093	0,098	0,091	0,090	0,100	0,097	0,089	0,090	0,089	0,096	0,092	0,095	0,088	0,106	0,105	0,0955	0,0861	0,1065	0,0065
Venezuela	0,214	0,252	0,230	0,247	0,232	0,243	0,244	0,243	0,241	0,262	0,262	0,236	0,252	0,240	0,205	0,200	0,208	0,2348	0,2005	0,2624	0,0183

Fonte: (World Bank, 2011)

Tabela 12 - Força de trabalho/PIB em trabalhadores por milhões de US\$

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
África do Sul	42,58	42,88	43,22	42,96	43,40	44,87	45,56	45,40	45,74	45,26	45,04	43,84	42,50	41,14	39,89	39,91	40,92	42,91	38,87	45,74	2,12
Argentina	42,64	40,80	42,93	41,70	39,50	38,99	41,35	42,70	45,74	52,56	49,43	46,39	43,46	40,98	38,09	36,02	36,67	42,85	36,02	52,56	4,43
Bolívia	129,95	127,34	124,80	122,88	120,14	117,38	119,77	119,53	120,93	121,02	121,01	119,13	116,83	114,33	112,44	108,61	107,55	120,36	107,55	132,29	6,86
Brasil	62,71	61,17	60,10	58,78	58,86	60,25	62,12	60,59	60,87	61,16	61,68	59,98	59,71	58,95	56,01	54,36	55,34	59,87	54,36	64,17	2,47
Chile	49,02	47,23	42,72	40,44	38,79	38,50	39,54	37,67	37,08	36,72	36,22	35,70	34,15	33,61	33,52	34,16	32,07	39,28	32,07	51,49	5,77
China	379,66	339,60	309,87	284,80	263,55	247,05	232,07	216,22	201,80	186,82	171,32	156,84	142,06	127,05	111,97	103,00	95,17	235,74	95,17	482,30	111,95
Egito	90,56	88,93	86,79	84,45	81,79	80,51	77,76	75,52	74,71	74,78	74,24	73,14	71,55	68,76	65,29	62,28	62,05	77,77	62,05	93,19	9,66
Equador	65,27	64,44	65,46	65,82	65,02	65,51	72,28	72,37	71,13	69,62	69,49	65,56	63,61	62,45	62,89	60,04	61,22	65,63	60,04	72,37	3,71
Filipinas	160,42	157,94	157,65	152,81	149,02	155,33	154,01	148,40	151,35	149,28	145,32	138,47	132,85	127,79	122,23	120,40	121,73	145,30	120,40	160,42	13,73
Guatemala	99,14	97,55	95,16	94,80	93,18	90,92	89,87	89,07	89,42	88,63	88,88	88,79	91,17	91,44	88,76	88,73	90,88	92,64	88,63	103,13	4,52
Índia	287,26	275,56	260,80	247,27	241,93	232,33	220,25	215,52	209,14	205,33	193,24	181,58	169,45	158,20	146,87	142,68	135,24	216,88	135,24	303,60	52,93
Indonésia	177,07	168,37	160,74	154,25	150,52	175,05	184,27	179,04	175,68	170,82	166,75	162,29	156,63	151,14	144,40	138,33	135,40	164,82	135,40	195,11	16,56
México	36,43	35,66	39,00	38,05	37,46	36,47	35,52	34,00	34,39	34,81	34,73	34,72	34,20	33,63	33,24	33,54	36,26	35,45	33,24	39,00	1,57
Paquistão	163,80	163,62	157,01	156,32	161,72	162,94	163,34	163,00	164,21	163,66	162,35	156,85	152,75	150,94	145,89	147,14	147,70	158,93	145,89	172,25	7,17
Paraguai	98,55	97,85	95,60	97,85	97,37	99,52	104,89	112,31	113,49	117,22	116,50	115,24	115,50	114,12	110,12	108,21	115,47	106,77	95,60	117,22	8,07
Peru	88,44	80,38	76,09	76,39	73,41	76,30	77,77	77,62	79,64	77,67	76,40	74,33	70,91	67,05	62,59	57,86	58,77	75,15	57,86	89,89	8,83
Russia	53,02	60,12	62,12	63,76	62,76	66,29	62,16	57,37	55,12	53,02	49,58	46,33	43,85	40,95	38,22	36,26	39,26	51,67	36,26	66,29	9,70
Tailândia	112,13	102,00	95,49	92,40	95,62	107,95	103,91	101,64	101,49	97,65	92,25	88,10	85,37	81,62	79,10	78,10	80,53	97,39	78,10	132,72	14,59
Tanzânia	616,96	628,86	627,22	618,35	613,78	608,11	595,71	582,44	563,86	539,99	519,12	494,19	473,04	455,04	436,63	417,49	405,09	546,44	405,09	628,86	76,85
Uruguai	55,10	51,61	53,04	50,51	47,11	45,66	47,13	48,53	50,90	55,45	55,30	52,92	49,60	47,96	45,74	42,13	42,50	50,39	42,13	60,21	4,83
Venezuela	36,07	38,26	38,23	39,70	38,53	39,84	43,78	43,60	43,61	49,56	55,44	48,33	45,13	42,29	39,61	38,74	40,95	41,70	34,91	55,44	5,20

Fonte: (World Bank, 2011)

Tabela 13 - Capital/PIB

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
África do Sul	14,690	15,151	15,881	16,285	16,511	17,094	15,455	15,144	15,051	14,700	15,481	15,981	16,788	18,336	20,183	22,707	22,659	16,947	14,690	22,707	2,57
Argentina	19,056	19,939	17,938	18,082	19,370	19,935	18,014	16,193	14,179	11,961	15,138	19,167	21,456	23,354	24,201	23,286	20,921	18,952	11,961	24,201	3,30
Bolívia	16,664	14,851	15,534	16,176	18,969	23,153	19,097	17,887	13,927	15,650	12,664	11,687	12,991	14,297	16,140	17,249	16,479	16,083	11,687	23,153	2,77
Brasil	19,283	20,748	18,323	16,871	17,371	16,969	15,657	16,800	17,031	16,386	15,278	16,097	15,938	16,431	17,440	19,113	18,069	17,283	15,278	20,748	1,44
Chile	25,947	24,376	25,143	26,381	27,113	26,128	20,841	20,729	21,721	21,318	20,148	19,288	21,478	19,065	19,836	24,698	21,722	22,702	19,065	27,113	2,74
China	37,667	35,920	34,354	33,787	32,878	33,849	34,041	34,112	34,430	36,260	39,383	40,730	40,139	40,660	39,106	40,785	45,960	37,298	32,878	45,960	3,63
Egito	18,686	19,429	19,167	17,306	17,939	21,329	20,806	18,936	17,731	17,815	16,311	16,402	17,920	18,731	20,851	22,278	18,912	18,856	16,311	22,278	1,68
Equador	18,976	18,958	18,801	18,112	17,914	19,880	16,951	20,489	21,391	23,465	21,513	21,581	22,130	22,301	22,260	24,023	24,219	20,763	16,951	24,219	2,22
Filipinas	23,774	23,636	22,204	23,424	24,419	23,430	20,732	22,100	20,845	20,567	20,690	20,342	19,901	20,123	19,900	19,663	19,014	21,457	19,014	24,419	1,71
Guatemala	16,087	14,225	14,515	13,330	15,113	16,646	17,892	16,126	18,306	19,306	18,667	18,338	18,298	20,108	19,588	17,932	15,130	17,036	13,330	20,108	2,05
Índia	21,479	21,848	24,052	23,114	23,684	23,682	24,086	22,834	25,134	23,753	24,577	28,716	30,333	31,289	32,918	32,346	31,619	26,204	21,479	32,918	3,99
Indonésia	26,281	27,571	28,430	29,602	28,308	25,430	20,139	19,851	19,673	19,429	19,506	22,449	23,641	24,131	24,947	27,699	31,115	24,600	19,429	31,115	3,90
México	18,562	19,311	16,122	17,830	19,486	20,893	21,167	21,360	19,993	19,241	18,938	19,697	19,995	20,897	21,137	22,136	21,330	19,888	16,122	22,136	1,51
Paquistão	19,235	17,971	17,034	17,377	16,343	15,045	13,931	15,875	15,661	15,280	15,104	14,978	17,461	20,540	20,957	20,451	16,615	17,051	13,931	20,957	2,15
Paraguai	22,032	24,758	23,676	22,484	22,202	19,372	18,345	17,542	17,372	17,409	18,968	18,663	19,307	19,052	17,387	17,614	15,111	19,488	15,111	24,758	2,63
Peru	18,332	21,203	24,060	22,430	23,787	23,552	21,710	20,205	18,567	17,548	17,793	17,886	18,332	19,319	21,537	25,863	22,852	20,881	17,548	25,863	2,61
Rússia	20,389	21,811	21,078	20,002	18,292	16,151	14,387	16,864	18,888	17,925	18,415	18,385	17,755	18,503	20,995	22,290	21,982	19,066	14,387	22,290	2,19
Tailândia	39,584	39,958	41,066	41,052	33,779	22,381	20,830	21,968	23,012	22,808	24,068	25,916	28,900	28,094	26,388	27,447	24,131	28,905	20,830	41,066	7,28
Tanzânia	24,893	24,439	19,596	16,472	14,721	19,552	17,051	16,355	17,001	16,763	18,808	22,156	24,658	27,219	29,210	29,354	28,430	21,569	14,721	29,354	5,04
Uruguai	14,754	14,545	13,527	13,963	16,034	16,383	15,238	14,319	13,657	12,353	12,521	14,367	16,547	18,237	18,578	20,553	19,255	15,578	12,353	20,553	2,39
Venezuela	20,006	17,617	16,481	15,782	25,478	28,572	23,704	21,017	24,050	21,925	15,470	18,338	20,300	22,335	24,141	20,119	21,886	21,013	15,470	28,572	3,59

Fonte: (World Bank, 2011)

APÊNDICE C – Resultados complementares: Análise 2.

Análise estatística e cálculo da correlação entre fatores:

No. of DMUs = 21

No. of Input items = 3

Input(1) = Consumo

Input(2) = Força de Trabalho

Input(3) = Capital Social

No. of Output items = 2

Output(1) = PIB

Output(2) = Emissões de CO2

No. of Time periods = 16

Time period(1) = 1993

Time period(2) = 1994

Time period(3) = 1995

Time period(4) = 1996

Time period(5) = 1997

Time period(6) = 1998

Time period(7) = 1999

Time period(8) = 2000

Time period(9) = 2001

Time period(10) = 2002

Time period(11) = 2003

Time period(12) = 2004

Time period(13) = 2005

Time period(14) = 2006

Time period(15) = 2007

Time period(16) = 2008

Returns to Scale = Variable (Sum of Lambda = 1)

Statistics on Input/Output Data

Time period = 1993

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	937316,2	6,74E+08	6,69E+13	1,78E+12	-2636,573
Min	2517,613	1434929	3,81E+11	1,87E+10	-2878694,009
Average	136039,9	69490372	1,04E+13	4,26E+11	-360576,6339
SD	244270,9	1,53E+08	1,52E+13	5,11E+11	715323,4076

Correlation (Time period = 1993)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,816168	0,926569	0,894471	-0,993798929
Força de Trabalho	0,816168	1	0,916329	0,771313	-0,829267881
Capital Social	0,926569	0,916329	1	0,93238	-0,924889778
PIB	0,894471	0,771313	0,93238	1	-0,860031568
Emissões de CO2	-0,9938	-0,82927	-0,92489	-0,86003	1

Time period = 1994

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	980275,4	6,82E+08	7,22E+13	2,01E+12	-2445,889
Min	2404,88	1442031	3,55E+11	1,94E+10	-3058241,33
Average	135954,8	70621814	1,1E+13	4,44E+11	-361993,4928
SD	240940,7	1,55E+08	1,63E+13	5,38E+11	719366,9065

Correlation (Time period = 1994)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,861791	0,934541	0,896686	-0,992940568
Força de Trabalho	0,861791	1	0,923603	0,822567	-0,873885721
Capital Social	0,934541	0,923603	1	0,952106	-0,930574494
PIB	0,896686	0,822567	0,952106	1	-0,863507182
Emissões de CO2	-0,99294	-0,87389	-0,93057	-0,86351	1

Time period = 1995

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1047246	6,9E+08	7,65E+13	2,23E+12	-3553,323
Min	2571,997	1460369	3,72E+11	2,05E+10	-3320285,15
Average	140754,8	71772478	1,13E+13	4,62E+11	-377685,8081
SD	250893,9	1,57E+08	1,71E+13	5,72E+11	762173,5005

Correlation (Time period = 1995)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,882406	0,942957	0,906676	-0,992583867
Força de Trabalho	0,882406	1	0,951476	0,858142	-0,89315257
Capital Social	0,942957	0,951476	1	0,953747	-0,939619355
PIB	0,906676	0,858142	0,953747	1	-0,876142598
Emissões de CO2	-0,99258	-0,89315	-0,93962	-0,87614	1

Time period = 1996

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1084845	6,98E+08	8,28E+13	2,45E+12	-3461,648
Min	2835,222	1468245	4E+11	2,06E+10	-3463089,131
Average	144759,2	72883688	1,18E+13	4,86E+11	-392616,6098
SD	256989	1,59E+08	1,83E+13	6,13E+11	788473,8706

Correlation (Time period = 1996)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,889991	0,939824	0,911543	-0,993325161
Força de Trabalho	0,889991	1	0,958048	0,879743	-0,903777477
Capital Social	0,939824	0,958048	1	0,954501	-0,94287077
PIB	0,911543	0,879743	0,954501	1	-0,887681633
Emissões de CO2	-0,99333	-0,90378	-0,94287	-0,88768	1

Time period = 1997

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1087375	7,06E+08	8,81E+13	2,68E+12	-2882,262
Min	2880,565	1486703	3,7E+11	2,12E+10	-3469510,048
Average	145803,6	74151652	1,24E+13	5,12E+11	-395957,0722
SD	255505	1,61E+08	1,93E+13	6,56E+11	783241,4807

Correlation (Time period = 1997)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,900342	0,940263	0,922903	-0,993061248
Força de Trabalho	0,900342	1	0,962404	0,891113	-0,913611944
Capital Social	0,940263	0,962404	1	0,963035	-0,944949915
PIB	0,922903	0,891113	0,963035	1	-0,901123677
Emissões de CO2	-0,99306	-0,91361	-0,94495	-0,90112	1

Time period = 1998

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1085530	7,13E+08	9,77E+13	2,89E+12	-2555,899
Min	2964,861	1506000	4,12E+11	2,13E+10	-3324344,519
Average	146030,4	75295522	1,26E+13	5,22E+11	-385906,6983
SD	254381,7	1,63E+08	2,12E+13	6,95E+11	752569,242

Correlation (Time period = 1998)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,90479	0,932768	0,927375	-0,993263616
Força de Trabalho	0,90479	1	0,968255	0,907306	-0,915153893
Capital Social	0,932768	0,968255	1	0,962289	-0,94135502
PIB	0,927375	0,907306	0,962289	1	-0,909877691
Emissões de CO2	-0,99326	-0,91515	-0,94136	-0,90988	1

Time period = 1999

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1085777	7,21E+08	1,06E+14	3,11E+12	-2537,564
Min	3236,2	1524303	3,85E+11	2,1E+10	-3318055,614
Average	150108,2	76652531	1,27E+13	5,45E+11	-393684,7545
SD	257332,2	1,65E+08	2,3E+13	7,44E+11	755534,7989

Correlation (Time period = 1999)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,901403	0,924419	0,93476	-0,99269064
Força de Trabalho	0,901403	1	0,97248	0,916096	-0,916282139
Capital Social	0,924419	0,97248	1	0,960284	-0,941297039
PIB	0,93476	0,916096	0,960284	1	-0,922041649
Emissões de CO2	-0,99269	-0,91628	-0,9413	-0,92204	1

Time period = 2000

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1094871	7,28E+08	1,15E+14	3,37E+12	-2651,241
Min	3091,889	1539197	3,56E+11	2,03E+10	-3405179,867
Average	151940,7	77835086	1,36E+13	5,77E+11	-402357,908
SD	260181,1	1,67E+08	2,49E+13	8,01E+11	774646,2391

Correlation (Time period = 2000)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,900479	0,932763	0,940089	-0,992241331
Força de Trabalho	0,900479	1	0,964915	0,917299	-0,919112865
Capital Social	0,932763	0,964915	1	0,964795	-0,952023358
PIB	0,940089	0,917299	0,964795	1	-0,930390731
Emissões de CO2	-0,99224	-0,91911	-0,95202	-0,93039	1

Time period = 2001

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1091386	7,36E+08	1,26E+14	3,65E+12	-3127,951
Min	2711,575	1552487	3,59E+11	2,07E+10	-3487566,356
Average	152888,2	79110977	1,45E+13	6,02E+11	-409439,5835
SD	260555	1,69E+08	2,74E+13	8,57E+11	789730,8145

Correlation (Time period = 2001)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,898389	0,939392	0,946254	-0,990543222
Força de Trabalho	0,898389	1	0,971241	0,92665	-0,921934855
Capital Social	0,939392	0,971241	1	0,971005	-0,962502033
PIB	0,946254	0,92665	0,971005	1	-0,940933648
Emissões de CO2	-0,99054	-0,92193	-0,9625	-0,94093	1

Time period = 2002

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1181701	7,43E+08	1,44E+14	3,98E+12	-3589,993
Min	2538,084	1560263	3,48E+11	2,07E+10	-3694242,143
Average	158881,3	80347470	1,53E+13	6,28E+11	-421314,5518
SD	276595,4	1,71E+08	3,1E+13	9,23E+11	828463,1132

Correlation (Time period = 2002)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,909998	0,944422	0,955657	-0,992037142
Força de Trabalho	0,909998	1	0,967508	0,9342	-0,926425787
Capital Social	0,944422	0,967508	1	0,964942	-0,966139402
PIB	0,955657	0,9342	0,964942	1	-0,947828092
Emissões de CO2	-0,99204	-0,92643	-0,96614	-0,94783	1

Time period = 2003

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1345046	7,5E+08	1,72E+14	4,38E+12	-3806,346
Min	2522,978	1568575	3,55E+11	2,15E+10	-4525177,009
Average	169649,8	81556835	1,71E+13	6,68E+11	-470939,7136
SD	307903,2	1,72E+08	3,68E+13	1,01E+12	991686,606

Correlation (Time period = 2003)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,916705	0,95399	0,96141	-0,989630889
Força de Trabalho	0,916705	1	0,966383	0,941966	-0,930660245
Capital Social	0,95399	0,966383	1	0,961431	-0,977344133
PIB	0,96141	0,941966	0,961431	1	-0,949063413
Emissões de CO2	-0,98963	-0,93066	-0,97734	-0,94906	1

Time period = 2004

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1567915	7,56E+08	1,96E+14	4,82E+12	-4088,705
Min	2860,987	1576399	3,86E+11	2,24E+10	-5288166,032
Average	184988,9	82786011	1,96E+13	7,19E+11	-516838,6795
SD	350128	1,74E+08	4,23E+13	1,1E+12	1143954,753

Correlation (Time period = 2004)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,928281	0,966836	0,965917	-0,991483282
Força de Trabalho	0,928281	1	0,973654	0,946209	-0,93262625
Capital Social	0,966836	0,973654	1	0,967184	-0,979883138
PIB	0,965917	0,946209	0,967184	1	-0,948825266
Emissões de CO2	-0,99148	-0,93263	-0,97988	-0,94883	1

Time period = 2005

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1696389	7,62E+08	2,15E+14	5,36E+12	-3832,015
Min	2947,946	1587528	4,44E+11	2,3E+10	-5790016,984
Average	194227,3	84052674	2,16E+13	7,75E+11	-547507,372
SD	375151,9	1,76E+08	4,65E+13	1,22E+12	1246121,752

Correlation (Time period = 2005)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,931442	0,96989	0,970397	-0,992033393
Força de Trabalho	0,931442	1	0,976722	0,952373	-0,932721327
Capital Social	0,96989	0,976722	1	0,971622	-0,980095537
PIB	0,970397	0,952373	0,971622	1	-0,953468297
Emissões de CO2	-0,99203	-0,93272	-0,9801	-0,95347	1

Time period = 2006

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1853975	7,68E+08	2,46E+14	6,05E+12	-3986,029
Min	3175,663	1601545	4,57E+11	2,4E+10	-6414463,08
Average	205616,7	85379339	2,43E+13	8,43E+11	-586201,2068
SD	407262,5	1,78E+08	5,3E+13	1,36E+12	1376346,038

Correlation (Time period = 2006)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,932959	0,973815	0,973869	-0,992434247
Força de Trabalho	0,932959	1	0,975129	0,95641	-0,931713608
Capital Social	0,973815	0,975129	1	0,975615	-0,982284048
PIB	0,973869	0,95641	0,975615	1	-0,957778532
Emissões de CO2	-0,99243	-0,93171	-0,98228	-0,95778	1

Time period = 2007

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	1963992	7,73E+08	2,7E+14	6,9E+12	-4136,376
Min	3163,245	1639418	4,46E+11	2,56E+10	-6791804,714
Average	214055,1	86490434	2,71E+13	9,23E+11	-616509,1364
SD	429787,4	1,79E+08	5,85E+13	1,54E+12	1454209,204

Correlation (Time period = 2007)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,935814	0,979674	0,979273	-0,992968922
Força de Trabalho	0,935814	1	0,976517	0,959597	-0,933473184
Capital Social	0,979674	0,976517	1	0,983468	-0,98435079
PIB	0,979273	0,959597	0,983468	1	-0,964750743
Emissões de CO2	-0,99297	-0,93347	-0,98435	-0,96475	1

Time period = 2008

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Max	2117483	7,79E+08	3,09E+14	7,57E+12	-4118,041
Min	4144,728	1639810	4,78E+11	2,71E+10	-7031916,207
Average	225487,4	87724447	3,01E+13	9,83E+11	-642031,1072
SD	461038,2	1,81E+08	6,63E+13	1,68E+12	1507398,508

Correlation (Time period = 2008)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB	Emissões de CO2
Consumo	1	0,934969	0,98355	0,981756	-0,995141715
Força de Trabalho	0,934969	1	0,969286	0,959948	-0,935567655
Capital Social	0,98355	0,969286	1	0,98471	-0,989250563
PIB	0,981756	0,959948	0,98471	1	-0,971530345
Emissões de CO2	-0,99514	-0,93557	-0,98925	-0,97153	1

Tabela 14 - Emissões de CO₂/PIB em kt de CO₂/milhões de US\$

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
África do Sul	1,24442	1,26308	1,20624	1,17339	1,18358	1,18031	1,14945	1,09639	1,05021	0,97100	1,03305	1,07459	1,00602	0,94683	0,95801	0,93031
Argentina	0,36473	0,35840	0,36649	0,36620	0,35304	0,34751	0,38011	0,37151	0,38698	0,40627	0,40437	0,40384	0,37925	0,38618	0,37203	0,36488
Bolívia	0,35198	0,37264	0,37665	0,33451	0,35913	0,35875	0,33794	0,32126	0,29306	0,27028	0,36327	0,32163	0,29834	0,28945	0,34529	0,31981
Brasil	0,20321	0,20246	0,22065	0,23614	0,24356	0,23802	0,24352	0,23930	0,24319	0,23361	0,22377	0,22238	0,22113	0,21428	0,21104	0,21422
Chile	0,32221	0,33722	0,33113	0,35009	0,37832	0,37889	0,40275	0,37225	0,32368	0,32880	0,31831	0,33224	0,32166	0,31666	0,32301	0,32498
China	1,62062	1,52228	1,49028	1,41307	1,29523	1,15124	1,06790	1,01102	0,95612	0,92831	1,03373	1,09721	1,07937	1,06103	0,98375	0,92932
Egito	0,46605	0,41050	0,44016	0,44687	0,44923	0,48784	0,47161	0,50446	0,43251	0,42836	0,51851	0,50346	0,52410	0,52666	0,52254	0,51481
Equador	0,40655	0,21893	0,35991	0,36808	0,27061	0,32233	0,32919	0,31525	0,33507	0,33568	0,34917	0,34668	0,33519	0,32591	0,33071	0,26772
Filipinas	0,32019	0,33651	0,36052	0,35430	0,39718	0,39044	0,36560	0,37936	0,35962	0,34199	0,32660	0,31715	0,31061	0,24622	0,26833	0,27264
Guatemala	0,16852	0,19579	0,19546	0,17625	0,19290	0,21165	0,20791	0,22284	0,23338	0,23625	0,22005	0,22403	0,23535	0,22576	0,22340	0,19936
Índia	0,69012	0,68729	0,67965	0,68833	0,68905	0,66624	0,66236	0,66022	0,63657	0,62516	0,60279	0,58479	0,56058	0,54691	0,53378	0,54980
Indonésia	0,47135	0,44394	0,41608	0,43525	0,45735	0,39714	0,44536	0,46114	0,49827	0,50064	0,49099	0,50022	0,47693	0,45451	0,46592	0,48410
México	0,36817	0,37411	0,37994	0,37152	0,35453	0,34783	0,34264	0,32328	0,33274	0,32764	0,33261	0,32255	0,33329	0,32355	0,31916	0,33260
Paquistão	0,37387	0,39196	0,37187	0,39650	0,39362	0,39579	0,39246	0,39916	0,39815	0,40637	0,40394	0,41648	0,40156	0,40372	0,42136	0,42066
Paraguai	0,15774	0,18022	0,19365	0,18253	0,19819	0,21152	0,21470	0,18197	0,18467	0,18848	0,18954	0,18283	0,16656	0,16608	0,16143	0,15187
Peru	0,22767	0,19900	0,18838	0,18745	0,19732	0,20152	0,21084	0,21134	0,18909	0,18020	0,16807	0,19358	0,21258	0,18638	0,21068	0,17874
Rússia	1,46283	1,44481	1,45513	1,48860	1,38719	1,40374	1,33936	1,23284	1,16628	1,10826	1,06502	1,00498	0,95223	0,90983	0,83726	0,81511
Tailândia	0,49996	0,50934	0,53456	0,56388	0,59246	0,58779	0,59427	0,58058	0,61207	0,61744	0,61387	0,62914	0,61808	0,60698	0,57398	0,56729
Tanzânia	0,11930	0,10896	0,15284	0,14242	0,11455	0,09794	0,09275	0,09235	0,10279	0,11009	0,10920	0,11581	0,12604	0,12489	0,13086	0,13038
Uruguai	0,17150	0,14556	0,16674	0,18719	0,17605	0,17245	0,20794	0,16729	0,16689	0,16419	0,16210	0,18836	0,18044	0,19909	0,16738	0,21395
Venezuela	0,56355	0,60306	0,59482	0,54910	0,56336	0,70158	0,76974	0,65549	0,71762	0,88198	0,95039	0,70382	0,60503	0,53000	0,52183	0,51622

Fonte: (World Bank, 2011)

APÊNDICE D – Resultados complementares: Análise 3

Análise estatística e cálculo da correlação entre fatores

Análise Desenvolvimento Econômico:

No. of DMUs = 21

No. of Input items = 3

Input(1) = Consumo

Input(2) = Força de Trabalho

Input(3) = Capital Social

No. of Output items = 1

Output(1) = PIB

No. of Time periods = 5

Time period(1) = 2005

Time period(2) = 2006

Time period(3) = 2007

Time period(4) = 2008

Time period(5) = 2009

Returns to Scale = Variable (Sum of Lambda = 1)

Statistics on Input/Output Data

Time period = 2005

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	4,552648	5,845190992	2,613471643	12,19106
Min	0,441921	3,213044049	0,256250924	1,039231
Average	1,253006	4,434996381	1,310503326	6,43886
SD	0,982487	0,692319383	0,708779584	3,537065

Correlation (Time period = 2005)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,251523756	0,653932216	0,704898
Força de Trabalho	0,251524	1	0,345138193	0,182787
Capital Social	0,653932	0,345138193	1	0,921657
PIB	0,704898	0,182787111	0,921657213	1

Time period = 2006

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	4,706476	5,858689258	2,720130043	12,87769
Min	0,445943	3,239304513	0,293666666	1,078891
Average	1,288411	4,479443206	1,431310031	6,773338
SD	1,008653	0,680714407	0,763625931	3,74528

Correlation (Time period = 2006)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,287233579	0,693511306	0,722796
Força de Trabalho	0,287234	1	0,374214072	0,221074
Capital Social	0,693511	0,374214072	1	0,929088
PIB	0,722796	0,221073674	0,929087838	1

Time period = 2007

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	4,733221	5,865860531	3,035917287	14,01615
Min	0,430245	3,23502142	0,328259021	1,123793
Average	1,293403	4,513199718	1,571981804	7,144348
SD	1,010913	0,685598215	0,856863873	3,960139

Correlation (Time period = 2007)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,301407587	0,747782302	0,733807
Força de Trabalho	0,301408	1	0,381036416	0,264942
Capital Social	0,747782	0,381036416	1	0,945859
PIB	0,733807	0,264942203	0,945859166	1

Time period = 2008

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	4,850178	5,883810126	3,308080102	14,7673
Min	0,439215	3,248410268	0,344348289	1,173104
Average	1,340797	4,551212978	1,724873378	7,446708
SD	1,045545	0,679717945	0,945965079	4,122906

Correlation (Time period = 2008)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,321400822	0,731784569	0,741405
Força de Trabalho	0,321401	1	0,416082747	0,299896
Capital Social	0,731785	0,416082747	1	0,95007
PIB	0,741405	0,299895859	0,950070267	1

Time period = 2009

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Max	4,558629	5,90673651	3,004678963	13,83249
Min	0,423568	3,328841809	0,343389929	1,207826
Average	1,320742	4,576077321	1,636772946	7,345318
SD	0,976913	0,673600509	0,898657419	3,951268

Correlation (Time period = 2009)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	PIB
Consumo	1	0,316885732	0,73413784	0,713315
Força de Trabalho	0,316886	1	0,451226244	0,287249
Capital Social	0,734138	0,451226244	1	0,909246
PIB	0,713315	0,287248861	0,909245518	1

Análise Desenvolvimento Humano:

No. of DMUs = 21

No. of Input items = 3

Input(1) = Consumo

Input(2) = Força de Trabalho

Input(3) = Capital Social

No. of Output items = 1

Output(1) = IDH

No. of Time periods = 5

Time period(1) = 2005

Time period(2) = 2006

Time period(3) = 2007

Time period(4) = 2008

Time period(5) = 2009

Returns to Scale = Variable (Sum of Lambda = 1)

Statistics on Input/Output Data

Time period = 2005

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Max	4,552648	5,845190992	2,613471643	0,779
Min	0,441921	3,213044049	0,256250924	0,42
Average	1,253006	4,434996381	1,310503326	0,640905
SD	0,982487	0,692319383	0,708779584	0,093485

Correlation (Time period = 2005)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Consumo	1	0,251523756	0,653932216	0,442568
Força de Trabalho	0,251524	1	0,345138193	0,288816
Capital Social	0,653932	0,345138193	1	0,821902
IDH	0,442568	0,288816143	0,821901894	1

Time period = 2006

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Max	4,706476	5,858689258	2,720130043	0,78
Min	0,445943	3,239304513	0,29366666	0,429
Average	1,288411	4,479443206	1,431310031	0,646667
SD	1,008653	0,680714407	0,763625931	0,093403

Correlation (Time period = 2006)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Consumo	1	0,287233579	0,693511306	0,459894
Força de Trabalho	0,287234	1	0,374214072	0,318278
Capital Social	0,693511	0,374214072	1	0,818776
IDH	0,459894	0,318277502	0,818776356	1

Time period = 2007

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Max	4,733221	5,865860531	3,035917287	0,789
Min	0,430245	3,23502142	0,328259021	0,44
Average	1,293403	4,513199718	1,571981804	0,654381
SD	1,010913	0,685598215	0,856863873	0,092713

Correlation (Time period = 2007)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Consumo	1	0,301407587	0,747782302	0,456867
Força de Trabalho	0,301408	1	0,381036416	0,350128
Capital Social	0,747782	0,381036416	1	0,823432
IDH	0,456867	0,350127592	0,823432374	1

Time period = 2008

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Max	4,850178	5,883810126	3,308080102	0,796
Min	0,439215	3,248410268	0,344348289	0,448
Average	1,340797	4,551212978	1,724873378	0,660524
SD	1,045545	0,679717945	0,945965079	0,09343

Correlation (Time period = 2008)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Consumo	1	0,321400822	0,731784569	0,464424
Força de Trabalho	0,321401	1	0,416082747	0,373127
Capital Social	0,731785	0,416082747	1	0,845801
IDH	0,464424	0,373126736	0,845801208	1

Time period = 2009

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Max	4,558629	5,90673651	3,004678963	0,798
Min	0,423568	3,328841809	0,343389929	0,454
Average	1,320742	4,576077321	1,636772946	0,66381
SD	0,976913	0,673600509	0,898657419	0,092195

Correlation (Time period = 2009)

	Consumo	Força de Trabalho	Capital Social	IDH
Consumo	1	0,316885732	0,73413784	0,459351
Força de Trabalho	0,316886	1	0,451226244	0,37158
Capital Social	0,734138	0,451226244	1	0,811718
IDH	0,459351	0,371579553	0,811717718	1

Resultados cálculo da eficiência relativa – índice composto (técnica da Fronteira Invertida)

Tabela 15 - Análise desenvolvimento econômico

	2005	2006	2007	2008	2009	Média
África do Sul	0,724	0,743	0,724	0,682	0,652	0,705
Argentina	0,753	0,666	0,654	0,734	0,950	0,751
Bolívia	1,000	0,955	0,980	0,978	0,970	0,976
Brasil	0,991	1,000	0,988	0,967	0,982	0,986
Chile	0,775	0,918	0,908	0,646	0,851	0,819
China	0,353	0,361	0,378	0,383	0,371	0,369
Egito	0,927	0,937	0,930	0,940	0,939	0,935
Equador	0,871	0,883	0,891	0,904	0,871	0,884
Filipinas	0,882	0,904	0,929	0,955	0,943	0,923
Guatemala	0,908	0,889	0,918	1,000	0,972	0,937
Índia	0,701	0,693	0,680	0,709	0,701	0,697
Indonésia	0,623	0,643	0,660	0,653	0,603	0,636
México	0,842	0,829	0,869	0,880	0,950	0,874
Paquistão	0,887	0,855	0,862	0,905	0,917	0,885
Paraguai	0,814	0,852	0,907	0,932	0,944	0,890
Peru	0,955	0,962	0,951	0,920	0,943	0,946
Rússia	0,626	0,638	0,643	0,660	0,584	0,630
Tailândia	0,582	0,611	0,643	0,634	0,633	0,621
Tanzânia	0,626	0,626	0,624	0,628	0,600	0,621
Uruguai	0,994	0,985	1,000	0,977	1,000	0,991
Venezuela	0,718	0,694	0,678	0,864	0,777	0,746

Tabela 16 - Análise desenvolvimento humano

	2005	2006	2007	2008	2009	Média
África do Sul	0,680	0,698	0,693	0,665	0,662	0,680
Argentina	0,811	0,764	0,750	0,768	0,826	0,784
Bolívia	1,000	1,000	0,991	0,972	0,996	0,992
Brasil	0,801	0,804	0,804	0,766	0,808	0,797
Chile	0,848	0,909	0,916	0,782	0,859	0,863
China	0,460	0,476	0,501	0,498	0,486	0,484
Egito	0,924	0,939	0,944	0,931	0,944	0,937
Equador	0,920	0,937	0,950	0,950	0,926	0,937
Filipinas	0,962	0,981	1,000	1,000	0,985	0,986
Guatemala	0,806	0,800	0,812	0,822	0,827	0,813
Índia	0,808	0,806	0,798	0,793	0,771	0,795
Indonésia	0,695	0,717	0,732	0,706	0,677	0,706
México	0,795	0,802	0,822	0,812	0,857	0,817
Paquistão	0,836	0,826	0,843	0,852	0,863	0,844
Paraguai	0,865	0,888	0,920	0,920	1,000	0,919
Peru	0,947	0,961	0,953	0,910	0,929	0,940
Rússia	0,618	0,615	0,606	0,617	0,636	0,618
Tailândia	0,508	0,537	0,575	0,554	0,587	0,552
Tanzânia	0,761	0,764	0,770	0,754	0,745	0,759
Uruguai	0,936	0,942	0,957	0,896	0,937	0,934
Venezuela	0,703	0,694	0,693	0,761	0,732	0,717

Tabela 17 - Índice de Desenvolvimento Humano – IDH para países do grupo G-20 (OMC)

	2005	2006	2007	2008	2009
África do Sul	0,599	0,601	0,604	0,608	0,610
Argentina	0,765	0,773	0,78	0,786	0,788
Bolívia	0,649	0,65	0,645	0,651	0,656
Brasil	0,692	0,695	0,7	0,705	0,708
Chile	0,779	0,78	0,789	0,796	0,798
China	0,633	0,644	0,656	0,665	0,674
Egito	0,611	0,618	0,626	0,633	0,638
Equador	0,695	0,698	0,702	0,714	0,716
Filipinas	0,622	0,624	0,63	0,635	0,636
Guatemala	0,55	0,555	0,565	0,568	0,569
Índia	0,504	0,512	0,523	0,527	0,535
Indonésia	0,572	0,579	0,591	0,598	0,607
México	0,741	0,748	0,755	0,761	0,762
Paquistão	0,48	0,483	0,493	0,495	0,499
Paraguai	0,635	0,639	0,643	0,65	0,651
Peru	0,691	0,697	0,704	0,712	0,714
Rússia	0,725	0,733	0,742	0,748	0,747
Tailândia	0,656	0,661	0,67	0,672	0,673
Tanzânia	0,42	0,429	0,44	0,448	0,454
Uruguai	0,748	0,755	0,764	0,769	0,773
Venezuela	0,692	0,706	0,72	0,73	0,732

Fonte: HDR (2011)

Figura 33 – IDH – Países do grupo G-20 (OMC)

Tabela 18 - PIB *per capita* para países do grupo G-20 – OMC em US\$ (2005) PPP.

	2005	2006	2007	2008	2009
África do Sul	8596,83	8977,29	9371,99	9604,49	9355,77
Argentina	10833,41	11647,38	12544,62	13275,68	13272,20
Bolívia	3772,04	3885,02	3995,02	4172,33	4244,02
Brasil	8509,43	8753,23	9196,42	9583,87	9468,21
Chile	12662,92	13248,31	13794,18	14110,63	13832,49
China	4114,57	4611,30	5238,68	5712,25	6206,26
Egito	4490,62	4711,27	4955,16	5216,09	5365,11
Equador	6510,39	6713,08	6746,01	7127,99	7051,04
Filipinas	3050,83	3152,92	3303,28	3382,45	3364,21
Guatemala	4061,59	4175,76	4331,36	4364,99	4280,77
Índia	2208,59	2377,74	2573,14	2635,34	2812,58
Indonésia	3102,28	3235,71	3403,37	3569,81	3696,30
México	12191,06	12658,26	12905,14	12892,78	11936,46
Paquistão	2144,80	2236,86	2321,83	2316,67	2356,99
Paraguai	3900,79	3995,06	4188,02	4353,13	4111,99
Peru	6386,96	6805,37	7332,58	7967,33	7949,57
Rússia	11852,81	12877,69	14016,15	14767,30	13614,55
Tailândia	6674,74	6954,42	7249,19	7377,96	7160,12
Tanzânia	1070,13	1111,11	1157,50	1208,45	1244,38
Uruguai	9682,79	10053,06	10680,26	11411,86	11649,73
Venezuela	9924,46	10721,08	11467,80	11877,70	11315,47

Fonte: World Bank (2011)

Figura 34 – PIB *per capita* – países do grupo G-20 (OMC)

APÊNDICE E – Método de Cálculo do IDH

O primeiro Relatório de Desenvolvimento Humano introduziu uma nova maneira de medir o desenvolvimento, IDH que consiste em um índice estatístico único, criado com o intuito de servir como um parâmetro de referência para o desenvolvimento tanto social como econômico. O diagrama da Figura 35 resume o modo como foi construído o IDH utilizado no Relatório do Desenvolvimento Humano.

Figura 35 – Esquema de cálculo do IDH

Fonte: RDH (2006)

Método de Cálculo a partir do ano de 2010

A partir do Relatório de Desenvolvimento Humano de 2010 (RDH, 2010) um novo método de cálculo do IDH começou a ser usado.

No novo método o IDH é a média geométrica dos índices de dimensões, normalizados, que medem as realizações em cada dimensão. Como é usada a média geométrica para a agregação, o valor máximo não afeta a comparação relativa (em termos percentuais) entre dois países ou períodos de tempo diferentes. Os valores máximos foram fixados nos valores máximos realmente observados dos indicadores dos países na série cronológica, ou seja, 1980-2010 para 2010, 1980-2011 para 2011. Os valores mínimos, por sua vez, podem afetar as comparações, e por este motivo, foram usados valores que podem apropriadamente ser considerados como valores de subsistência ou zeros “naturais”. Desta forma, o progresso é medido por comparação com os níveis mínimos necessários para que uma sociedade possa sobreviver ao longo do tempo. Estes valores mudam a cada novo cálculo anual.

Após definidos os valores mínimos e máximos, os sub índices são calculados da seguinte forma:

$$\text{índice_de_esperança_de_vida} = \frac{EV - 20}{EV_{\max} - 20} \dots\dots\dots(25)$$

$$\text{índice_anos_médios_de_estudo}(IAME) = \frac{AME - 0}{AME_{\max} - 0} \dots\dots\dots(26)$$

$$\text{índice_anos_esperados_de_escolaridade} = \frac{AEE - 0}{AEE_{\max} - 0} \dots\dots\dots(27)$$

Onde AME = anos médios de estudos e

AEE = anos esperados de escolaridade

$$\text{índice_educação} = \frac{\sqrt{IAME * IAEE} - 0}{IE_{\text{combinado_max}} - 0} \dots\dots\dots(28)$$

$$\text{índice_de_renda} = \frac{\ln PIBpc - \ln PIBpc_{\min}}{\ln PIBpc_{\max} - \ln PIBpc_{\min}} \dots\dots\dots(29)$$