



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção



Análise da eficiência energética nos países do BRICS a partir da aplicação da Análise por Envoltória de Dados e indicadores de sustentabilidade

Trabalho de
Conclusão de Curso

ROBERTA TEIXEIRA ROCHA
Orientadora: Prof^a. Associada Daisy A. N. Rebelatto

São Carlos
2015



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção



ROBERTA TEIXEIRA ROCHA

Análise da eficiência energética nos países do BRICS a partir da aplicação da
Análise por Envoltória de Dados e indicadores de sustentabilidade

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia de Produção da Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo

Orientadora:
Daisy A. N. Rebelatto

Co-Orientadores:
Flávia Camioto
Bruno Dantas

São Carlos
2015



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção





RESUMO

O objetivo do presente trabalho é medir e analisar a eficiência energética nos países que compõem o BRICS considerando uma estrutura total de fatores, propiciando informações sobre países *benchmark* dentro desse grupo e como o Brasil se encontra nesse cenário. Além disso, o trabalho visa confrontar os índices de intensidade energética e de emissões de CO₂ desse grupo como mundo e a OCDE. Dessa forma, foi utilizada a ferramenta DEA (Análise Envoltória de Dados) que mediu a eficiência dos países em diminuir os *inputs* e aumentar os *outputs* no gerenciamento da matriz de energia, considerando uma estrutura total de fatores, empregando, também, o método de análise de janela. O cálculo do índice de eficiência energética de fator-total (EEFT) foi feito através das folgas fornecidas pelo procedimento mencionado observando os resultados dessa análise, o Brasil torna-se exemplo a ser seguido pelos outros países do grupo. Por fim, foi calculado, para os países do BRICS com relação ao mundo e a OCDE, índices de intensidade de energia e emissões de CO₂ pela produção de riqueza produzida num período. Dessa forma, percebe-se que o Brasil e os países do grupo estão distantes se comparados aos outros, contrastando, assim, os resultados da análise anterior. O trabalho trouxe informações para ajudar nas políticas de planejamento das novas potências de forma efetiva, principalmente no que diz respeito à eficiência energética, a intensidade de energia e as emissões de CO₂ considerando a produção de riqueza, identificando exemplos a serem seguidos por outros países.

Palavras-chave: BRICS, DEA, Eficiência energética, emissões de CO₂



ABSTRACT

The aim of this research is to measure and analyze energy efficiency in the countries on BRICS, considering a total factor structure index, providing information for benchmarking and how Brazil behaves in this scenario. Also, compare the levels of energy intensity and CO₂ emissions in the world and the OECD. Thus, DEA (Data Envelopment Analysis) was used as a tool to measure the countries' efficiency to reduce inputs and increase outputs, applying the method of analysis window as well. The calculation of energy efficiency index of the total factor structure (EEFT) was made through gaps provided by the procedure explained above. Observing the results of this analysis, Brazil becomes an example to be followed by the other BRICS' countries. Finally, for the BRICS' countries, energy intensity and CO₂ emissions' rates were calculated comparatively to the world and the OECD. Thus, it was clear that Brazil and the group of countries are far compared to others, contrasting, so, the results of the previous analysis. The research has provided information to help in the planning of the new powers effectively policies, especially with regards to energy efficiency and energy intensity and CO₂ emissions' rates, role models for other countries.

Keywords: BRICS, DEA, Energy Efficient, CO₂ emissions



Lista de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 : Eficiência Energética - BRICS | 46 |
| Gráfico 2 : Evolução dos Índices de Intensidade Energética - Mtep por US\$ (BRICS/Mundo/OCDE) | 47 |
| Gráfico 3 : Evolução da Intensidade Carbono na Economia - m ³ de CO ₂ por PIB (BRICS/Mundo/OCDE) | 48 |
| Gráfico 4 : Evolução das emissões de CO ₂ per capita % (BRICS/Mundo/OCDE) | 49 |
| Gráfico 5 : Evolução das emissões totais de CO ₂ % (BRICS/Mundo/OCDE) | 50 |
| Gráfico 6 : Projeção da Evolução das emissões totais de CO ₂ (%)(BRICS/Mundo/OCDE)... | 51 |



Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Representação do trilema energético | 25 |
| Figura 2: Representação de uma DMU | 29 |



Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: <i>Ranking</i> de Eficiência total de fatores do BRICS | 39 |
| Tabela 2: <i>Ranking</i> e média das janelas - Força de Trabalho | 40 |
| Tabela 3: <i>Ranking</i> e média das janelas - Formação Bruta de Capital Fixo | 41 |
| Tabela 5: <i>Ranking</i> e média das janelas - Emissão de CO ₂ | 42 |
| Tabela 5: <i>Ranking</i> e média das janelas - Emissão de CO | 43 |
| Tabela 6: <i>Ranking</i> e média das janelas - PIB | 44 |
| Tabela 7 - <i>Ranking</i> EEFT | 45 |



Lista de Siglas

| | |
|-------|---|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| DEA | Análise Envoltória de Dados |
| DMU | <i>Decision Making Units</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IEA | <i>Energy Information Administration</i> |
| IIE | Índice de Intensidade Energética |
| ICE | Intensidade de Carbono na Economia |
| OCDE | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PIE | Produtor Independente de Energia |
| Tep | Toneladas equivalentes de petróleo |
| WEC | <i>World Energy Council</i> |



Sumário

| | |
|--|----|
| 1.Introdução | 09 |
| 1.1 Questões de Pesquisa | 12 |
| 1.2 Estrutura..... | 12 |
| 2. Fundamentação teórica | 13 |
| 2.1 Desenvolvimento Sustentável..... | 13 |
| 2.2 BRICS | 14 |
| 2.3 Brasil..... | 16 |
| 2.4 China..... | 18 |
| 2.5 Índia | 19 |
| 2.6 Rússia..... | 21 |
| 2.7 África do Sul..... | 22 |
| 2.8 Eficiência Energética e Trilema Energético | 24 |
| 2.9 Fontes Renováveis | 26 |
| 3. Método..... | 28 |
| 3.1 Análise Envoltória de Dados | 32 |
| 3.2 Análise de Janela | 36 |
| 3.3 Índices de Sustentabilidade..... | 37 |
| 3.1.1 Índice de Intensidade Energética | 37 |
| 3.1.2 Intensidade de Carbono na Energia | 38 |
| 3.1.3 Emissão per capita de CO ₂ | 38 |
| 4. Resultados..... | 39 |
| 4.1 Análise dos Variáveis | 40 |
| 4.2 Índice EEFT | 45 |
| 4.3 Índice de Energia | 46 |
| 4.4 Projeção das emissões de CO ₂ | 48 |
| 5. Considerações Finais | 52 |
| 6. Referências | 55 |



1. Introdução

O homem sempre buscou inovações tecnológicas com a finalidade do benefício próprio. A princípio, as fontes de energia existentes eram utilizadas para a sua sobrevivência. Entretanto, o aumento da sua demanda fez com que novas fontes energéticas se tornassem necessárias (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Por volta do século XVIII, as máquinas surgiram para o aumento da produtividade das indústrias da época, visando diminuir o tempo de produção e aumentar o lucro. A partir daí, a Revolução Industrial ecoou gradativamente, impulsionando o desenvolvimento das principais potências econômicas atuais. Assim, a urbanização, atrelada à industrialização e ao desenvolvimento econômico fez com que as, até então, tradicionais fontes renováveis de energia dessem lugar aos potentes combustíveis fósseis (BILDIRICI, 2012). Desse modo, o consumo de insumos cresceu exponencialmente e, em consequência, o desmatamento e a poluição.

O uso desenfreado de combustíveis fósseis pressiona as bases de recursos naturais do planeta (ROMEIRO, 2001), em destaque a significativa concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2). A falta de fornecimento deste insumo em um país pode provocar muitas crises domésticas, desestabilizando uma nação no que diz respeito à concorrência externa e aumentando o seu nível de dependência energética (CAMIOTO; REBELATTO, 2015).

Dessa forma, a Organização das Nações Unidas (ONU) promoveu comissões e conferências como a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), a qual ficou conhecida como Comissão *Brundtland*, a fim de encontrar soluções para minimizar e sanar tais danos.

Araújo (2004) afirma que é preciso ter uma abordagem sistêmica em busca de um novo paradigma: o de intervir no meio ambiente, extraindo os recursos naturais necessários, mas preservando-o e, em escala evolutiva, recuperando-o.

De acordo com o Nicholas Stern (2016), o potencial técnico para melhorias de eficiência para reduzir as emissões e os custos são substanciais. Ao longo do século passado, a eficiência no



fornecimento de energia melhorou dez vezes ou mais nos países desenvolvidos, e as possibilidades de novos ganhos estão longe de se esgotar. Estudos realizados pela Agência Internacional de Energia mostram que, em 2050, o rendimento energético tem o potencial para ser a maior fonte única de redução das emissões no setor da energia.

Por outro lado, o ano de 2013 foi palco de uma aceleração do crescimento do consumo de energia global, apesar de uma economia mundial estagnada. O crescimento econômico permaneceu fraco em quase todos os lugares do mundo e, comparado à história recente, foi mais fraco nas economias emergentes dos países não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). As economias emergentes, entretanto, continuam a dominar a demanda global de energia, respondendo por mais de 80% do crescimento do consumo no ano de 2012 e quase 100% na última década. (BRITISH PETROLEUM, 2014).

Considerando que as crescentes preocupações sobre as consequências da emissão de gases do efeito estufa para o aquecimento global pressionam as grandes economias mundiais a implementar medidas de eficiência energética, cabe ao homem estudar formas de reduzir a necessidade de consumo de energia, de modo a evitar o desperdício energético e a poluição, contribuindo para que haja desenvolvimento com sustentabilidade (NARAYAN et al., 2007).

Nesse contexto, destaca-se a influência dos BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) nesse cenário, já que, segundo Greening et.al. (2000), no longo prazo, esses países substituirão as tradicionais potências econômicas.

Juntos, os BRICS somam 42% da população mundial e um quinto da economia do planeta. Além disso, estudos da Goldman Sachs apostam que o G4 (Brasil, Rússia, China e Índia) ultrapassará, conjuntamente, o PIB do atual G7 em 2035, sendo que a China ultrapassará a todos, individualmente, até 2040 (ALMEIDA, 2009). Além da sua importância econômica, o grupo terá grande influência na política mundial. De acordo com Amorim (2010), os BRICS são detentores de expressiva extensão territorial, de recursos naturais e energéticos em diversidade e quantidade consideráveis, grande desenvolvimento tecnológico e acelerado crescimento econômico. Surge, portanto, uma preocupação em relação ao modo como se



desenvolverão, já que, segundo Meadows et al (1972), caso esses países consumam o mesmo nível de recursos que as atuais potências econômicas, o planeta alcançaria uma situação catastrófica.

Segundo May (2008), as emissões anuais de CO₂ do BRICS representam aproximadamente dois terços da média global. Apesar dos BRICS não terem assinado o Protocolo de Kyoto, a promessa de redução da emissão de poluentes tem sido uma constante. Além disso, China, Rússia, Índia e Brasil já se encontraram entre os *top* 10 dos principais emissores de CO₂ (PAO; TSAI, 2010). Dessa forma, é preciso conter esse tipo de crescimento acelerado.

No contexto de desenvolvimento econômico, atualmente, os países do BRICS negociaram a criação de um fundo emergencial. O banco dos BRICS financiará, principalmente, obras de infraestrutura e desenvolvimento sustentável, como estradas, portos, aeroportos e ferrovias, que o Brasil tanto precisa (JORNAL NACIONAL, 2013). É válido acrescentar que o grupo responde por pelo menos 6% do total de ajuda oficial prestada no mundo, direcionadas, principalmente, aos países que apresentam baixa renda (BBC, 2012).

Diante disso, a escolha de analisar os países do BRICS nesse trabalho justifica-se por ser uma aliança que abrange os quatro continentes e é formada por países emergentes, com ações que já ultrapassam a pura diplomacia; além dos aspectos econômicos que envolvem estes países que devem ser considerados. Como mencionado, o BRICS vêm apresentando um rápido desenvolvimento econômico e desempenhando um importante papel na economia mundial. Consequentemente, já é possível citar ações que buscam fortalecer este bloco, como: o acordo de cooperação entre as bolsas de valores desses países; o acordo do fundo comum, no valor de US\$100 bilhões; além do projeto de criação do Banco dos BRICS em 2014 (TRAVAGLINI et al., 2013).

Portanto, evidencia-se a importância de avaliar a eficiência energética e estimar o potencial dessas futuras potências econômicas, conhecidas como BRICS, com relação à eficiência energética e redução de emissões.



Logo, o objetivo do presente trabalho é medir e analisar a eficiência energética, considerando uma estrutura total de fatores, nos países que compõem o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) propiciando informações sobre países *benchmark* dentro desse grupo e como o Brasil se encontra nesse cenário. Além disso, o trabalho visa confrontar os índices de intensidade energética e de emissões de CO₂ desse grupo como mundo e a OCDE.

1.1. Questão de Pesquisa

As questões de pesquisa foram estabelecidas a partir do objetivo geral, afim de delimitá-lo e nortear as buscas durante o levantamento bibliográfico. Procurou-se tentar responder os seguintes pontos:

Qual a eficiência energética relativa dos países que compõe o BRICS? Como o Brasil se encontra nesse cenário? Em relação à intensidade energética e emissões de CO₂, como os BRICS se posicionam perante os países da OCDE e do mundo?

1.2 Estrutura

O trabalho está organizado em seis capítulos, divididos em Introdução, Fundamentação teórica, Método, Resultados, Considerações Finais e Referências .

O primeiro capítulo corresponde a uma introdução contextual, contendo o objetivo geral e a delimitação desse objetivo com as questões de pesquisa, além da composição da estrutura macro do trabalho.

O segundo capítulo refere-se a condução da revisão bibliográfica, sendo introduzidas algumas definições gerais essenciais ao contexto do trabalho, a relação entre o consumo de energia e o desenvolvimento econômico das nações, além de ser apresentado o contexto do grupo e de cada país participante.

O terceiro capítulo constrói um panorama sobre o método aplicado no trabalho, apresentando as 3 fases de análise.



No quarto capítulo, são apresentados os resultados das análises da eficiência dos fatores, da eficiência energética e dos indicadores de sustentabilidade a partir de dados consolidados, comparando a evolução dos índices do BRICS com o restante do mundo.

O quinto capítulo traz as considerações finais do trabalho, com uma síntese dos resultados obtidos e breve discussão sobre possíveis lacunas a serem exploradas e desenvolvidas em trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas para a execução do trabalho.

2. Fundamentação teórica

2.1. Desenvolvimento Sustentável

De acordo com Gürlük (2009), a teoria moderna do crescimento (teoria do crescimento endógeno) considerava como força de crescimento, tanto o desenvolvimento econômico e o progresso tecnológico, quanto os recursos naturais. Portanto, o nível de desenvolvimento de um país pode ser revelado por meio do desenvolvimento sustentável.

O Sachs (2004) reconheceu que em meados de 1970, a preocupação com a questão ambiental tornou-se determinante para uma nova definição do termo desenvolvimento.

O termo desenvolvimento sustentável foi debatido, primeiramente, pela *World Conservation Union*, na qual foi intitulado o documento *World's conservation strategy*. Neste documento consta que “para que o desenvolvimento seja sustentável devem-se considerar aspectos referentes às dimensões social e ecológica, bem como fatores econômicos, dos recursos vivos e não vivos e as vantagens de curto e longo prazos de ações alternativas”(BELLEN, 2006, p.23).

Assim, a definição de desenvolvimento sustentável é encontrada no relatório *Brundtland* com o foco desse conceito baseado na integridade ambiental e na busca do equilíbrio entre as dimensões econômicas, ambiental e social. Assim, é a modalidade do conceito que procura a satisfação das necessidades atuais, sem comprometer o ambiente e as gerações futuras.



De acordo com Berantan et al. (2004) outras definições de sustentabilidade têm sido publicadas, cada uma com suas nuances próprias. Entretanto, todas defendem a consistência e a simultaneidade da integração do desenvolvimento humano com o meio ambiente.

Já Sachs (2004), por sua vez, considerou que somente as atividades que levassem em consideração a variabilidade econômica e a sustentabilidade socioambiental mereciam a designação de desenvolvimento.

São de suma importância que sejam apresentados alguns eventos que foram significativos para a solidificação da ideia de desenvolvimento sustentável no cenário global, tais como, Eco-92, Rio+10 e a mais recente Rio+20. Nesta última, foi discutida a economia verde, ou seja, a adoção de um novo sistema produtivo, baseado na diminuição dos poluentes, na eficiência do uso dos recursos e na erradicação da pobreza (FOLHA DE SÃO PAULO, 2012).

2.2. BRICS

A sigla BRICS refere-se aos países Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (*South Africa*), sendo este último anexado em 2010. O termo é um acrônimo com as iniciais dos nomes, criado por Jim O'Neill em 2001, economista-chefe de pesquisas do banco de investimentos Goldman Sachs, o qual “bric” significa tijolo em inglês.

No entanto, apenas no ano de 2003, que a sigla BRIC foi difundida, quando a mesma fez parte de uma avaliação da perspectiva do crescimento econômico dos países pertencentes a este bloco e da sua população, sendo este relatório publicado pelo banco Goldman Sachs e intitulado “*Dreaming with BRICs: The path to 2050*”. Baseados em indicadores como o acúmulo de capital, crescimento da produtividade e projeção do PIB, a previsão revela que até 2050, o novo G5 superará as potências atuais G6 (Estados Unidos, Japão, Alemanha, Reino Unido, França e Itália) em termos de tamanho de economia.

Amorim (2010) afirmou que a consolidação do conceito BRIC só ocorreu porque nos anos seguintes à divulgação do relatório de 2003, observou-se um significativo crescimento econômico dos países do grupo BRIC, superior ao que tinha sido projetado inicialmente, incentivando o banco Goldman Sachs a elaborar mais um relatório, intitulado “*BRICs and Beyond*”. Nas considerações presentes nesse relatório, O'Neill (2007) apresentou algumas



previsões atualizadas para os países do BRIC, reconhecendo que o crescimento econômico desses países se mostrou mais acelerado do que estava previsto inicialmente.

Para Dolgikh e Kokin (2009), a importância econômica do BRIC está crescendo, como também tem crescido o papel desse grupo na política mundial, na geopolítica das suas regiões e em todo mundo. Com isso, ainda segundo estes autores, constata-se que os países do BRIC possuem as economias mais importantes, em termos geopolíticos, dentre os países com rápido desenvolvimento.

Segundo Wilson et al. (2005), o poder econômico do BRICS tem se tornado mais óbvio e tende a aumentar ainda mais, no âmbito internacional. Primeiramente, porque sua participação na economia global está incrementando a taxa média de crescimento dos negócios internacionais. O segundo fator está relacionado ao aumento do tamanho e da renda média da população desses países. Assim, a previsão é que até 2020, a participação do BRICS nos mercados globais de capital deve chegar a 17%.

No levantamento de dados feito por Yao et al. (2009), Brasil, Rússia, Índia e China respondem, coletivamente, por 28,9% da área terrestre do globo e por 43,2% da população mundial. Nesse sentido, Amorim (2010) alertou para o fato de que o grupo BRIC é detentor de expressiva extensão territorial, de recursos naturais e energéticos em diversidade e quantidade consideráveis, importante desenvolvimento tecnológico e acelerado crescimento econômico.

Para Papa e Gleason (2012), apesar de ser necessária a construção de uma agenda política mais forte para exercer a liderança global, estas cinco potências emergentes já estão se engajando na coordenação política na esfera de desenvolvimento sustentável.

De acordo com os resultados do trabalho de Freitas, Dantas e Iizuka (2012) a maioria das atividades de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) dos BRICS está focada no avanço de indústrias/tecnologias intensivas no uso de energia, o que se apresenta como mais um indício da relevância deste projeto.

Assim, apesar da força de projeção, Wilson e Purushothaman (2003) reconheceram que cada um dos países envolvidos enfrentaria significativos desafios para manter o desenvolvimento,



isso seria devido uma política ruim ou de má sorte, criando obstáculos para o não cumprimento das projeções feitas (SANTANA, 2012).

Por fim, de acordo com a Revista Exame (2015), os países do Brics crescerão em média 2,4% este ano, acelerando para 3,6% em 2016, puxados pela China e Índia. Mostra também que a Índia será o país com o maior crescimento econômico neste ano e em 2016, com 7,3% e 7,4%, respectivamente.

Entretanto, segundo a OCDE, os indianos ultrapassarão a China, que deve apresentar taxas de crescimento de 6,8% e 6,7%, em 2015 e 2016. Enquanto isso, Brasil e a Rússia enfrentam uma recessão este ano e ficam em torno de 1% de crescimento em 2016 (EXAME, 2015a).

2.3. Brasil

O Brasil é o maior em área e população da América Latina, devido ao fato de possuir um vasto território ao lado da diversidade de recursos naturais que possui. De acordo com May (2008), um país abençoado e, com base nisso, é lhe atribuído o título “país do futuro”.

Segundo Leme (2006) o Brasil tem adotado medidas com ênfase na estabilidade macroeconômica, visando alcançar o desenvolvimento econômico do país, desde o ano de 2003.

Já o Banco Mundial (2014a) afirma que as reformas adotadas desde a década de 1990, tem um resultado em um largo período de estabilidade, crescimento e ganhos sociais, embora o país tenha apresentado uma história de crescimento e queda de sua economia, e seu desenvolvimento tenha encontrado obstáculos como a inflação e o excessivo endividamento. Além disso, é válido apresentar que a partir de fontes do Banco Mundial (2014a), o Brasil é dono da sétima economia mais rica do mundo desde 2011, representando 3,1% da produção global em 2011.

O Brasil vem ganhando destaque no cenário mundial, subindo 14 posições na nova edição do *Doing Business*, *ranking* do Banco Mundial (Bird) sobre os melhores lugares para se fazer negócio. Ficou na 116ª colocação, este ano, em uma lista de 189 países. No ano passado, estava em 130º lugar. No entanto, não há muito o que comemorar, pois ainda está atrás de países vizinhos. O relatório do *Bird* destaca ainda que o Brasil não realizou reformas, ao



contrário da Rússia, que fez cinco e saltou 10 posições *ranking*, passando do 112º para o 92º lugar. Entre os BRICS (bloco das economias emergentes de crescimento acelerado), apenas Brasil e Rússia foram os únicos que galgaram posições no *ranking* do *Doing Business*. A África do Sul caiu de 39º para 41º colocado. A Índia, de 131º para 134º. E a China, de 91º para 96º (CORREIO BRAZILIENSE, 2013).

Além disso, pelo poder de compra, o Brasil é a 7ª maior economia do mundo, enquanto que pelo câmbio de mercado o país fica na sexta colocação - empatado com o Reino Unido -, com uma fatia de 3,5% do PIB global. Contudo, no ano de 2015, o país está sofrendo uma recessão que pode desencadear um retrocesso no cenário. Segundo o G1, o Brasil deve perder mais uma posição no *ranking* das maiores economias do mundo este ano, segundo dados do Fundo Monetário Internacional (FMI), e cair para o 8ª lugar. Depois de ser ultrapassado pelo Reino Unido em 2011, o país deve ser superado também pela Índia em 2015 (G1, 2015a).

Apesar desse contexto, o Banco Mundial (2014a) argumenta que o seu crescimento econômico ainda é limitado por barreiras e regulamentos. Ademais, apesar de ser detentor de grandes riquezas naturais e possuir notável potencial de desenvolvimento industrial, são observadas, também, grandes disparidades sociais. Com relação a isso, para May (2008), o Brasil é considerado uma das sociedades mais desiguais do mundo, por conta da herança colonial.

Contudo, em um conjunto de 12 nações da América Latina, o Brasil foi o quarto país que mais tirou pessoas da pobreza na região entre 2002 e 2011. A queda na porcentagem da população brasileira abaixo da linha da pobreza foi de 16,6 pontos percentuais. O contingente passou de 37,5% da população em 2001 para 20,9% em 2011. Dessa forma, as políticas nacionais, como o Bolsa Família no Brasil, influenciaram na velocidade da diminuição.

Como se pode notar, o Brasil como país membro do BRICS, precisa atender adequadamente as demandas trazidas pelo crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável. Assim, é importante salientar que o país vem se destacando internacionalmente como papel de liderança em assuntos como biodiversidade, alterações climáticas, comércio, biocombustíveis e tecnologias sociais (Banco Mundial, 2014a).



No entanto, devido ao período de crise, o Brasil é o emergente que mais perdeu espaço nas carteiras dos fundos de investimento estrangeiros desde abril, dentro do processo de realocação internacional das aplicações em 2015, de acordo com relatório do Instituto Internacional de Finanças. (EXAME, 2015d).

2.4. China

De acordo com o Banco Mundial (2014b), a China tem apresentado um crescimento econômico rápido ao longo das últimas três décadas, passando de uma economia planificada para uma economia de mercado, a partir das reformas adotadas em 1978. A permanência desse crescimento permitiu que a China se tornasse a segunda maior economia global.

Para Andrade (2006), entre os fatores que proporcionaram o elevado crescimento da China estão:

1. Alta taxa de investimento (principalmente em ciência e tecnologia);
2. Abertura comercial;
3. Política de estímulos a exportação e a atração de investimentos externos;
4. Manutenção do regime cambial rígido;
5. Investimento em capital humano.

Além disso, Dolgikh e kokin (2009) afirmam ainda que a China tem a menor taxa de desemprego e maior capacidade de gerar emprego entre os países do grupo BRICS.

Ademais, no relatório original sobre os BRICS, de 2003, o Goldman Sachs projetava que a China iria ultrapassar os EUA até 2041 passando a ser a maior economia do mundo. Em 2009, o Goldman reviu suas projeções e passou a acreditar que o PIB chinês será maior que o americano já em 2027 (FOLHA DE SÃO PAULO, 2011).

De acordo com o estudo, no início da década de 2030, o Produto Interno Bruto (PIB) combinado do Brasil, da Rússia, Índia, China e África do Sul (que formam o BRICS) deverá igualar o PIB conjunto das atuais economias que compõem a organização. Atualmente, o PIB do BRICS corresponde à metade do produto dos países da OCDE (EXAME, 2013).

No entanto, assim como o Brasil, segundo o Banco Mundial (2014b) a redução da pobreza continua sendo um grande desafio para a China, devido a alta desigualdade social, rápida



urbanização, desafios para a sustentabilidade e os desequilíbrios externos, fatores que implicam na necessidade de ajustes políticos para o crescimento sustentável chinês.

Porém, de acordo com a BBC (2012), a mais recente filosofia introduzida pelo país é dar mais ênfase aos benefícios sociais para a população do que o crescimento do PIB.

Sobre o crescimento econômico chinês, a BBC (2012) informou que no primeiro trimestre de 2012, a economia chinesa diminuiu seu ritmo. Ademais, segundo a Folha de São Paulo (2012) esse elevado crescimento vai acabar dentro de 6 anos, devido ao fato de ter esquecido dos riscos inerentes da gestão de um país emergente com um acelerado crescimento econômico.

A China pretende crescer cerca de 7% em 2015 e manter a inflação ao consumidor em cerca de 3%. Pressionada pelo mercado imobiliário, o excesso de capacidade industrial e a redução nos investimentos do governo, a economia chinesa cresceu 7,4% em 2014, sua expansão mais lenta em 24 anos, tendo um déficit orçamentário de 2,3% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2015 (G1, 2015b).

Além disso, o Parlamento da China ratificou o acordo com os maiores países emergentes do mundo para criar um novo banco de desenvolvimento. Dessa forma, a China prometeu contribuir com um total de 41 bilhões de dólares ao banco, dando ao país o maior direito de voto com 39,5 por cento (Exame, 2015b).

2.5. ÍNDIA

Segundo dados do Banco Mundial (2014c), a Índia é considerada a maior democracia do mundo, com uma população de um pouco mais de um bilhão de habitantes.

Viera e Verissimo (2009) observaram que a economia da Índia tem apresentado considerável crescimento nas últimas décadas, podendo ser comprovado pelas elevadas taxas de crescimento do PIB, baixa taxa de inflação e aumento na exportação de bens e serviços.

Analisando o crescimento econômico da Índia, Bosworth et al. (2007) perceberam que ele tem como base a dinâmica expansão do setor de serviços, especialmente aqueles relacionados a tecnologia da informação.



Recentemente, no ano de 2006, May (2008) percebeu melhoria na qualidade de vida da população, uma vez que houve aumento na expectativa de vida e no índice de alfabetização, fatos que ajudam a qualificar o crescimento econômico indiano.

Ademais, usando a metodologia do PPC, o Banco Mundial classifica a economia indiana como a 3ª maior do mundo, superando o Japão e ficando atrás apenas de EUA e China (ESTADÃO, 2014).

Porém, segundo o Banco Mundial (2014c), assim como os outros países já citados, a desigualdade é um fator marcante, já que grande parte da população não tem acesso aos recursos e as oportunidades para se beneficiar do crescimento econômico. Outro fator interessante, diz respeito ao desgaste do meio ambiente, uma vez que o país é vulnerável as mudanças climáticas devido aos altos níveis de densidade populacional e pobreza.

Armijo (2007), com relação às limitações ao crescimento econômico do país, apontou a lamentável infraestrutura física e os permanentes conflitos populares. Dessa forma, de acordo com a Folha de São Paulo (2012), educação e crescimento econômico são fatores de segurança nacional.

Por outro lado, a Índia está passando por um cenário promissor. A indiana Videocon Industries planeja investir 2,5 bilhões de dólares em projetos de petróleo e gás no Brasil nos próximos dois ou três anos, como parte da estratégia de expansão de negócios (EXAME, 2015c). Além disso, a Índia, ao contrário do Brasil, tornou-se um destaque aos olhos dos investidores estrangeiros desde o ano passado e foi o segundo país que mais teve aumento de alocação nas carteiras, atrás apenas da China (EXAME, 2015d.).

Dessa forma, o *ranking* das 10 maiores economias do mundo será bem diferente daqui 35 anos, de acordo com as últimas projeções da *Economist Intelligence Unit*. Com crescimento médio de 5% ao ano nas próximas décadas, a Índia terá seu PIB multiplicado mais de 10 vezes e será catapultada do 10º para o 3º lugar no *ranking*. Isso significa que Índia e China, os dois países mais populosos do mundo, também serão, cada uma, em 2050, mais ricas do que as atuais 5 maiores economias juntas (EXAME, 2015e).



2.6. Rússia

Com um vasto território primitivo e sendo o quarto maior emissor de gases de efeito estufa, esse país é essencial para a solução de problemas que se referem às mudanças climáticas.

Durante a década de 1990 houve a profunda depressão econômica da Rússia, conforme enfatizou MacFarquhar (2007), por conta dos baixos preços de petróleo e da economia em recessão profunda, o governo russo se mostrou incapaz de arrecadar impostos para o pagamento dos seus compromissos e despesas.

Segundo o Banco Mundial (2014d), na década entre as duas crises financeiras (a de 1998 e de 2008), foi observada melhoria significativa nos indicadores socioeconômicos e isso foi possível pelo apoio de uma boa gestão macroeconômica e pelas mudanças políticas concretas, tanto a nível nacional quanto a regional.

Após a crise de 2008, a economia russa apresentou crescimento rápido, dessa maneira Dolgikh e Kikin (2009) consideraram que tal fato estava sustentado pela exploração de recursos energéticos, tal qual o gás natural.

No âmbito social, de acordo com as informações do PNUD (2006), nos períodos entre 1999 e 2003 foi observada a queda significativa da pobreza russa, embora o índice de mortalidade desse país tenha se mantido superior aos índices de todos os países da Europa, observando ainda grande crescimento de empregos, salários e renda para a maioria da população.

O Banco Mundial (2014d) ainda afirma que o desenvolvimento da Rússia apresenta significativos contrastes sobre as condições socioeconômicas, climáticas e geográficas, apesar de estar sendo vista como impulsionadora do desenvolvimento de países da região. Portanto, um dos principais objetivos do desenvolvimento desse país é proporcionar o acesso aos serviços sociais e infraestrutura de qualidade.

Apesar da visão otimista sobre a Rússia em relação ao desenvolvimento no BRICS, May (2008) observa que a matriz energética do país dependente de combustíveis fósseis, seu nível de emissão de gás carbono per capita é semelhante aos maiores emissores mundiais e o maior entre os países do BRICS.



Dessa forma, atualmente, a economia russa está caminhando rumo à recessão, prejudicada por preços de petróleo mais baratos e sanções devido à crise da Ucrânia, contraindo 3,2 por cento nos cinco primeiros meses do ano de 2015 (EXAME, 2015f). Como a busca por alternativa, as companhias estatais Petróleos da Venezuela (Pdvs) e Rosneft de Rússia chegaram a um acordo para criar uma empresa para o desenvolvimento de infraestruturas para os setores do petróleo e gás. O projeto deverá estar concluído até ao primeiro trimestre de 2016 e ambas as empresas vão perfurar conjuntamente jazidas de petróleo e oferecer serviços petrolíferos e de engenharia para outras empresas do setor (EXAME, 2015g).

2.7. ÁFRICA DO SUL

O potencial renascimento africano anda sendo reforçado pela adesão da África do Sul como membro integrante do grupo BRICS, no início da década de 2010 (SHAW, 2012). Além disso, transição da África do Sul do *apartheid* para a democracia constitucional mais inclusiva em 1994 é uma das mais importantes transições políticas observadas nos tempos modernos (BANCO MUNDIAL, 2014e).

Jordaan (2012) listou justificativas para a África do Sul ser considerada um dos líderes do desenvolvimento mundial, como as campanhas para aliviar a dívida dos países pobres, para que a Organização Mundial do comércio relaxasse sobre a proteção dos medicamentos contra o HIV e para deter o conflito do fluxo de diamantes. Ademais, com uma grande postura sediou a Copa do Mundo de 2010 com sucesso.

Entretanto, esse país ainda continua com diferenças extremas de renda e riqueza, além da baixa expectativa de vida da população devido aos casos de HIV, tuberculose e grande violência pelos vestígios do *apartheid* (Banco Mundial, 2014e).

No entanto, apesar desse contexto, segundo o Banco Mundial (2014e) a África do Sul alcançou algumas vitórias, como o aumento da matrícula escolar, criações de habitações para famílias de baixa renda, aumento do acesso a energia elétrica e melhoria do fornecimento de água e saneamento.

Atualmente, o Produto Interno Bruto (PIB) da África do Sul registrou crescimento de 1,3% no primeiro trimestre de 2015 ante igual período do ano anterior, sendo abaixo do esperado de



1,5. Além disso, a expansão também é inferior à meta do governo para 2015, de 2,0%. No ano passado, a economia da África do Sul cresceu 1,9%. Destaca-se que apagões de energia elétrica no país motivaram a redução nas contratações nos setores industrial e de mineração (EXAME, 2015h).

Em contrapartida a esse cenário, uma empresa sueca reforça que o petróleo não é necessariamente a única fonte de energia, a qual a África do Sul deve seguir. Um novo sistema de geração de energia solar, que seus desenvolvedores afirmam ser o mais eficiente do mundo, está sendo testado no deserto de Kalahari, na África do Sul. O investimento para tal sistema ainda é desconhecido, no entanto, testes mostraram que cada espelho consegue gerar entre 75 e 85 megawatt/hora de eletricidade por ano, sendo mesma quantidade de energia gerada por uma termoeletrica que criaria 81 toneladas métricas de CO₂ (EXAME, 2015i).

2.8. Eficiência Energética e o Trilema da Energia

Dentro da questão da preservação dos recursos naturais, é importante que haja racionalização e otimização do consumo de insumos energéticos de cada país. Assim, a busca da eficiência energética das atividades econômicas é uma via natural para atingir os objetivos já apontados.

A redução das necessidades de expansão da oferta, mediante aumento da eficiência, posterga o esgotamento da oferta de energias de fontes não renováveis baratas e reduz as necessidades de investimentos em expansão da capacidade instalada, sem comprometer a capacidade dos serviços prestados (CAMIOTO, 2013).

Salienta-se que, segundo o trabalho de Selvakkumaran e Limmeechokchai (2013), a eficiência energética pode proporcionar segurança energética e benefícios adicionais, como mitigação da emissão de CO₂ e diminuição da importação de energia. Diante disso, a política energética passa a envolver e exigir modificações profundas nas características da maioria dos setores da economia.

Além disso, vale destacar o estudo de Belke, Dobnik e Dreger (2011), que analisaram a relação de longo prazo entre o consumo de energia e o PIB real de 25 países da OCDE. Os resultados sugerem que o consumo de energia e o crescimento econômico são inter-



relacionados. Assim, é importante que o planejamento de políticas eficientes de conservação de energia considere os impactos diretos do consumo de energia sobre o crescimento econômico e das consequências do crescimento econômico no consumo de energia.

Já o estudo de Niu et al. (2011), realizado para avaliar a causalidade entre o consumo de energia, o crescimento do PIB e as emissões de carbono para oito países da Ásia-Pacífico, entre 1971 a 2005, concluiu que as emissões de carbono, o consumo per capita de energia e a eficiência do uso de energia nos países em desenvolvimento são muito mais baixos que o dos países desenvolvidos.

Estas mesmas conclusões se aplicam aos países que compõe o BRIC e pode ser confirmada pelo estudo de Pao e Tsai (2010), que concluíram que para reduzir as emissões e não prejudicar o crescimento econômico, os países do BRIC deveriam aumentar o investimento tanto no fornecimento de energia como em eficiência energética, além de intensificar as políticas de conservação de energia para reduzir o desperdício energético.

Logo, considerando que quanto maior o nível de atividade econômica, maior o uso da energia e maiores os impactos ambientais deste uso, a eficiência energética pode trazer muitos benefícios, tais quais: aumenta a segurança no abastecimento de energia, contribuir para a eficiência econômica e reduzir os impactos ambientais. Esses três itens se complementam, implicando na redução da energia necessária por unidade de produto econômico, aumentando a eficiência da economia e garantindo que a mesma produção possa ser obtida com menos energia e, portanto, com menor uso de recursos naturais e menores danos ambientais (ELETROBRÁS, 2011).

Trilema Energético

Um trilema consiste na escolha entre três opções desfavoráveis. Para as ciências econômicas, tal escolha é conhecida como a “trindade impossível”, refletindo um *trade-off* entre três objetivos, dentre os quais dois são priorizados em detrimento do terceiro (PERTILLE, 2014).

No caso do Trilema de Energia, as opções que são levadas em consideração são: segurança energética, impacto social e a sensibilidade do meio-ambiente. Estes três elementos,

apresentados como aspectos conflitantes da produção de energia, compõem o desafio representado pelo trilema, conforme a Figura 1:



Figura 1: Representação do trilema energético
Fonte:García(2013).

Para García (2013), a sustentabilidade ambiental busca a manutenção dos sistemas que mantém a vida no planeta de maneira contínua, assegurando as capacidades de abastecimento do ecossistema global em prover os insumos mais básicos à vida, alimentos, água, ar, e energia, mitigando desperdícios e reduzindo o impacto sobre o meio ambiente.

Ainda, de acordo com García (2013), a equidade social é o desafio de assegurar, de maneira ampla, que todas as pessoas tenham acesso a níveis de energia necessários à sua segurança e bem estar, ao mesmo tempo garantindo que as práticas de consumo individuais não comprometam o bem estar e a segurança coletiva.

Enquanto, segurança energética corresponde ao gerenciamento eficiente do suprimento de energia primária a partir de fontes domésticas (internas) e externas, à confiabilidade da infraestrutura energética, e à capacidade dos fornecedores de energia em atender a demanda atual e futura (WEC, 2014).



Dessa forma, cabe aos países a busca do equilíbrio entre os vértices para que a sustentabilidade energética seja atingida.

2.9. Fontes Renováveis

As inovações no setor de petróleo têm tido grande influência no sentido de alongar a permanência de sua posição dominante no mercado, mas isso não quer dizer que ele continuará a ocupar essa posição eternamente.

Atualmente, há necessidade de se encontrar, a médio e longo prazos, um substituto (ou alguns substitutos) para a energia dominante. Segundo Costa e Prates (2005), a substituição do petróleo por outro energético não é algo tão simples, dado que o petróleo é uma fonte bastante flexível, com conteúdo energético elevado, podendo ser transportado sem dificuldades e produzir combustíveis diversos para múltiplas aplicações. As energias renováveis nem sempre oferecem essas facilidades, de modo que não conseguirão substituir o petróleo em sua plenitude no atual estágio do desenvolvimento tecnológico. Mas, se o petróleo pode ser substituído paulatinamente por diversas fontes renováveis, isso deve ser interpretado como uma vantagem, pois minimiza os riscos de abastecimento e os impactos perversos de choques de oferta da energia dominante sobre a economia como um todo.

Com base nos dados da Agência Internacional de Energia (2000), a oferta de energia primária mundial passou de 6 bilhões para 10,2 bilhões de teps (toneladas equivalentes de petróleo) entre 1973 e 2002. A participação dos derivados de petróleo caiu de 45,5% para 34,9% nesse período. Essa diferença foi basicamente preenchida pelo gás natural (de 16,2% para 21,2%) e pela energia¹. A hidroeletricidade teve ligeiro aumento (de 1,8% para 2,2%), os combustíveis renováveis e os resíduos permaneceram praticamente estáveis (de 11,2% para 10,9%) e o carvão mineral sofreu pequena redução (de 24,8% para 23,5%).

Ainda de acordo com Costa e Prates (2005) o âmbito dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico), a oferta de energia primária passou de 3,8 bilhões para 5,3 bilhões de teps entre 1973 e 2002. Os derivados de petróleo e o carvão mineral sofreram redução parecida com o que ocorreu mundialmente. Detinham juntos

¹ Fonte: BNDES Setorial. Reflexos das Estratégias Adotadas no Setor Energético para a Substituição do Petróleo 11 0,9% para 6,8%, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, mar. 2005.



75,4% da matriz energética em 1973 e passaram a ter uma participação de 61,3% em 2002. O gás natural teve crescimento relativamente tímido no período, de 18,8% para 21,9%. A queda da participação dos combustíveis fósseis foi compensada pelo crescimento notável da energia nuclear, que passou de 1,3% para 11,1% nesse período. Outras fontes permaneceram praticamente estáveis.

No caso do Brasil, havia uma necessidade premente de substituir o petróleo, pois o país dependia pesadamente do petróleo importado. No início da década de 70, cerca de 80% do petróleo processado internamente eram importados, representando quase a metade da pauta de importações brasileiras. O Brasil teve, portanto, que contar com seus recursos energéticos domésticos, notadamente os recursos hídricos e a biomassa, bem como investir em inovação tecnológica na área de exploração de petróleo no mar.

No caso dos países da OCDE continuam a serem os líderes em energias renováveis, contribuindo com 53% do investimento global em fontes de energia renováveis, em 2012 (IEA, 2013).

É importante destacar que a biomassa sólida, inclusive carvão vegetal, teve a liderança absoluta na produção de fontes renováveis de países industrializados em 2001, com participação de 44,8%, seguida da hidroeletricidade (34,8%), da geotérmica (9,6%) e de resíduos sólidos municipais renováveis (5,6%). A participação da energia eólica (1%) e da energia solar e de marés (1%) é ainda insignificante no conjunto dos países.

O Brasil é o quarto país no mundo em produção de energia por fontes renováveis, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos, aponta o boletim “*Ranking* Mundial de Energia e Socioeconomia (anos 2011 /12 /13)” (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014).

Ainda de acordo com o MME (2014), na geração eólica, o país subiu cinco posições, passando de 20º em 2012, para 15º em 2013. Na produção de biogásolina (etanol), o Brasil se manteve na segunda posição em 2012, perdendo apenas para os Estados Unidos. O mesmo ocorreu na produção de biodiesel, com a manutenção da quarta posição, superado apenas pelos Estados Unidos, Alemanha e Argentina.



A Índia planeja dobrar sua capacidade de energia renovável nos próximos cinco anos, como um passo à frente para aumentar sua eficiência no consumo de energia, a estratégia inclui a exploração de fontes não convencionais de energia limpa, como a energia solar, eólica e de biomassa (EPOCHTIMES, 2013).

Já o governo da África do Sul está investindo perto de R\$ 4,4 bilhões em incentivos às energias renováveis e o retorno é imediato: mais empregos, com salários maiores e mais investimentos. A principal fonte de energia da África do Sul ainda é o carvão, mas várias minas já estão fechadas. A meta do governo é chegar a 3,7 GW de energia renovável em 2016. O programa iniciou o maior movimento em energia limpa do continente africano, gerando muito empregos, em uma economia com taxas de desemprego beirando os 25% nos últimos 4 anos (ECOPOLITICA, 2013).

No que se refere a China, o país continua invicto, no topo do ranking de países mais atraentes para energias renováveis no mundo. Só no ano passado, nada menos do que 90 bilhões de dólares foram investidos na diversificação da matriz energética do país a partir de fontes mais limpas (EXAME, 2015j).

Enquanto isso, a Rússia se mantém à parte e não tem conquistas relevantes nesse domínio, a não ser o projeto de Reator Termonuclear Experimental Internacional (Iter, na sigla em inglês), que está sendo concretizado com a participação de cientistas do país (GAZETA RUSSA, 2013).

3. Método

Foi realizada a análise dos países que compõe os BRICS, isto é, Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, quanto à eficiência energética com base na estrutura total de fatores. Após essa análise, foi feita a comparação entre esses países, a partir de um *ranking* de eficiência e a análise, separadamente dos índices de sustentabilidade dos países do BRICS com relação a OCDE e mundo.

O método de programação matemática conhecido como Análise Envoltória de Dados (DEA) foi utilizado. O método DEA, originado a partir dos estudos de Farrell (1957), foi proposto

como um modelo empírico para eficiência relativa, visando encontrar, preferencialmente, uma medida de eficiência de uma organização comparando-a com o melhor nível de eficiência até então observado, desconsiderando a comparação com algum “ideal inatingível”. Assim, o objetivo de DEA é identificar as unidades de tomada de decisão (DMUs) que de alguma forma não estão sendo eficientes e determinar onde surgem as ineficiências (GOMES et al., 2003).

Desse modo, o DEA pode ser aplicado para comparar um grupo de unidades de serviços a fim de identificar as unidades relativamente ineficientes. Ao medir a magnitude das ineficiências, é possível comparar as unidades e propor formas para reduzir as ineficiências.

Esse método costuma ser usado em trabalhos cujo foco é a área energética, como por exemplo, no artigo Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development (CAMIOTO et al, 2014), o qual analisa, relativamente, a performance energética dos principais setores industriais no Brasil.

Uma das vantagens do método sobre as outras técnicas de análise de eficiência, é que ele calcula as utilidades de todos *inputs* e *outputs* das DMUs analisadas (MARIANO, 2008). DMUs (*Decision Making Units*) ou Unidades Tomadoras de Decisão são variáveis de desempenho relativo de um sistema produtivo. O conceito de DMU pode ser ilustrado na Figura 2:



Figura 2: Representação de uma DMU
Fonte: MARIANO, ALMEIDA, REBELATTO (2006).

O valor da eficiência calculada pela técnica DEA será sempre limitado entre 0 e 1, porque pelo procedimento adotado, uma DMU deve ser comparada com a sua projeção na fronteira, que por definição, representa o padrão ótimo para ela. Sendo assim, a máxima eficiência que



essa DMU poderá possuir será 1, que será obtida quando ela estiver sobre a fronteira (caso contrário, a eficiência será menor que 1). Neste estudo, o formato foi em percentual (de 0 a 100%).

Nessa pesquisa, a orientação foi simultânea para a minimização dos *inputs* e maximização dos *outputs*, uma vez que se busca o aumento da produtividade com menos recursos energéticos. Portanto, para este estudo foi adotado o modelo SBM variante, que permitirá tal análise.

Para esta análise, foram utilizadas três variáveis *input*: força de trabalho, formação bruta de capital fixo e consumo energético; e duas variáveis de *output*: PIB (*output* desejável) e emissão de CO₂ (*output* indesejável).

Assim, uma função de produção econômica foi construída para analisar a eficiência energética considerando uma estrutura total de fatores. Visa-se minimizar os *inputs* convencionais de formação bruta de capital fixo e trabalho, bem como o consumo energético. Este último representa um fator crucial de produção do ponto de vista econômico, já que é diretamente utilizado na indústria (MARIANO, 2010).

Ademais, neste trabalho, também foi analisado o *output* econômico, o PIB, sendo o objetivo do modelo maximizá-lo (*output* desejável). De acordo, com Hu e Wang (2006) para uma economia ou uma região, é preferível que ocorra o aumento do PIB e, simultaneamente, a diminuição do consumo de energia, a fim de que se atinja a eficiência da produção. A última variável analisada é a emissão de CO₂ (*output* indesejável), como um *output* ambiental, uma vez que Watanabe e Tanaka (2007) indicam que para analisar a eficiência energética é indispensável considerar a eficiência ambiental.

Após a implementação das técnicas e obtenção dos dados, deve-se analisar os resultados obtidos criteriosamente, à luz de todas as escolhas realizadas nas etapas anteriores. Todos os dados estão disponíveis do *website* do Banco Mundial, para o período de 1993 a 2010, sendo esse o período analisado nesse trabalho definido após análise deste banco de dados. Como se trata de dados em painel julgou-se interessante a realização de uma análise de janela, que permite comparar unidades em anos diferentes.

Assim, com base nos ajustes de folga de energia obtidos a partir da DEA, podemos calcular a porcentagem de energia que deve ser economizada. Logo, pela Expressão (1) definimos a eficiência energética de um país i , no tempo t , chamada fator-total (EEFT). O indicador de eficiência energética deve ser a relação da energia agregada que deve ser consumida idealmente com o consumo de energia real (ZHOU e ANG, 2008).

$$EEFT(i, t) = 1 - \frac{\text{folga}_{\text{input_energia}}(i, t)}{\text{Consumo_energia_atual}(i, t)} \quad (1)$$

O índice de EEFT representa o nível de eficiência do consumo de energia em um país. Como a folga da variável “consumo energético” é o quanto que o país deve diminuir do consumo de energia para atingir o melhor nível prático desta variável, o consumo de energia atual é sempre maior ou igual à folga, sendo o índice EEFT limitado, também, entre os valores 0 e 1.

Se a folga é igual a zero, ou seja, se não existe uma quantidade de ajuste para o *input* “consumo energético”, então o país apresenta a eficiência ótima para o consumo de energia, quando o seu *output* é maximizado.

Na expressão (2) será possível a comparação dos países como um grupo, ou seja, o próprio BRICS, que considera a somatória das folgas e do consumo energético de todos os países pertencentes ao grupo que se deseja analisar, representado por a :

$$EEFT(a, t) = 1 - \frac{\sum_{r \in a} \text{folga}_{\text{input_energia}}(r, t)}{\sum_{r \in a} \text{Consumo_energia_atual}(r, t)} \quad (2)$$

Para a relação entre os períodos, foi utilizado o método de análise de janela, o qual permite incluir o fator tempo no DEA (COOPER et al., 2000). Esse método consiste na separação em grupos (janelas) dos anos em questão, permitindo uma mistura das DMUs referentes há diversos anos em uma mesma aplicação. Isso é possível devido a múltiplas aplicações no DEA, considerando combinações dos anos analisados.

Finalizado tal processo, o objetivo foi criar tabelas dos resultados obtidos para cada unidade da janela, aplicando-se o DEA em cada uma. Como resultado final, espera-se a média das eficiências de todas as janelas em todos os anos. Portanto, foi possível estimar a quantidade de energia consumida em um país e propor metas para que aumente sua eficiência energética.



Adicionalmente, para avaliar o desempenho econômico e o comportamento da eficiência energética nos países do BRICS com relação a OCDE e o mundo foram utilizados os índices de sustentabilidade, que relacionam a variação do consumo de energia/emissões de CO₂ com o PIB.

Desse modo, os índices de sustentabilidade podem ser aplicados para comparar o consumo de energia pela produção de riqueza, a quantidade de CO₂ emitida pela produção de riqueza, e quanto CO₂ é emitido pela população, no período analisado, entre cada país componente do grupo BRICS em relação a OCDE e ao mundo. Ao medir a magnitude das discrepâncias, é possível comparar os índices e propor formas para a sua melhoria.

Para esta análise, serão utilizadas quatro variáveis: consumo energético, PIB, emissões de CO₂ em sua totalidade e per capita. Todos os dados estão disponíveis do *website Energy Information Administration* para o período analisado de 1993 a 2011, assim como os próprios índices de sustentabilidade: Intensidade Energética, Intensidade de Carbono na Economia e Emissão per capita de CO₂.

3.1. Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*) é uma técnica baseada em programação linear (PL) que possui o objetivo de medir o desempenho das DMUs, quando a presença de múltiplas entradas e saídas torna difícil a comparação (MARIANO, 2010).

O DEA é uma das técnicas não paramétricas de análise de eficiência e não requer uma normalização prévia dos *inputs* e *outputs*, podendo conter dados de qualquer grandeza (MARIANO, 2010). Permite às DMUs terem informação imediata sobre os seus respectivos *status* de eficiência ou ineficiência, que dependerão, por sua vez, do modelo DEA adotado (OGGIONI et al., 2011).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978), desenvolveram o primeiro modelo matemático para a DEA, chamado CCR, o qual adotava a hipótese de Retornos Constantes de Escala (CRS) ao longo de toda a fronteira de produção. Ter retornos constantes de escala significa adotar a hipótese de que os *inputs* e *outputs* são proporcionais entre si, o que faz com que o formato da fronteira de eficiência do modelo CCR seja uma reta com um ângulo de 45°. O modelo CCR



calcula a eficiência de uma DMU dividindo sua produtividade pela produtividade da DMU mais produtiva de um determinado conjunto, sem se preocupar com a escala (MARIANO, 2010).

Incorporando os conceitos de economia em escala ao CCR, Banker, Charnes e Cooper, em 1984, formularam o chamado modelo BCC, que apresenta Retornos Variáveis de Escala (VRS). O modelo BCC propõe comparar apenas DMUs que operem em uma escala semelhante. Assim, neste modelo, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade entre as DMUs que têm o mesmo tipo de retorno de escala que ela. A fronteira do modelo BCC é composta de um conjunto de retas de ângulos variados, o que caracteriza uma fronteira linear por partes.

De acordo com Coelli et al. (1998) os modelos CCR e BCC podem apresentar duas orientações: para a maximização dos *outputs* ou para a minimização dos *inputs*. O modelo Aditivo proporcionará a situação em que a DMU deverá fazer menos esforço, em termos de redução de *inputs* e aumento de *outputs*, para atingir a eficiência. Vale ressaltar que os modelos aditivos podem ser do tipo Variante, com Retornos Variáveis de Escala, ou Invariante, com Retornos Constantes de Escala.

No entanto, o modelo Aditivo não permite calcular o índice de eficiência das DMUs que estão sendo comparadas, permite apenas indicar as DMUs eficientes e as metas das DMUs ineficientes. Logo, a interpretação dos resultados do modelo Aditivo deve ser realizada de forma um pouco diferente dos modelos BCC e CCR, em que 100% indica uma DMU eficiente.

Devido à limitação desse modelo, foram propostos alguns aprimoramentos ao mesmo, dos quais se destaca o modelo SBM (*Slacks-Based Measure*). Este modelo, que foi introduzido por Tone (2001), é bastante semelhante ao modelo aditivo, já que também considera uma orientação simultânea aos *inputs* e aos *outputs*, mas fornece como resultado, um valor de eficiência que varia de zero até 100%. Deste modo, os resultados deste modelo, apesar de partirem dos mesmos pressupostos do modelo aditivo, podem ser interpretados de maneira semelhante aos resultados dos modelos CCR e BCC.

Este modelo, que foi introduzido por Tone (2001), é bastante semelhante ao modelo aditivo, já que também considera uma orientação simultânea *inputs* e aos *outputs*, mas fornece, como resultado, um valor de eficiência que varia de zero até 100%. Deste modo, os resultados deste modelo, apesar de partirem dos mesmos pressupostos do modelo aditivo, podem ser interpretados de maneira semelhante aos resultados dos modelos CCR e BCC.

Para a realização deste trabalho, observa-se que a orientação, simultânea, para minimização dos *inputs* e maximização dos *outputs* é a mais adequada, uma vez que o objetivo do ponto de vista da produtividade total de fatores é diminuir o consumo energético, o capital empregado e o trabalho despendido e, simultaneamente, aumentar o PIB de cada país analisado, ou seja, diminuir a necessidade de fatores de produção e aumentar o crescimento econômico. Ressalta-se que o output *output* indesejável “emissão de CO₂” será modelado como *input*, e, portanto, também deve ser minimizado.

Vale ressaltar que o modelo SBM variante foi escolhido para este estudo, pois permite comparar países que operam em escalas diferentes, o que implica que reduções ou aumentos *inputs* não necessariamente geram alterações na mesma proporção, nos *outputs*. As expressões 3 a 7 apresentam o modelo SBM variante, de acordo com Tone (2001):

$$\text{Min } \tau = t - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j / x_{j0} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$1 = t + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i / y_{i0} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^z x_{jk} \cdot \lambda_k + S_j = t \cdot x_{j0}, \text{ para } j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^z y_{ik} \cdot \lambda_k - S_i = t \cdot y_{i0}, \text{ para } i=1,2,\dots,m \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^z \lambda_k = t \quad (7)$$

$$\lambda_k, S_j, S_i \geq 0 \text{ e } t > 0 \quad (8)$$



Em que:

λ_k : Participação da DMU k na meta da DMU em análise;

x_{jk} : Quantidade do input j da DMU k;

y_{ik} : Quantidade do output i da DMU k;

x_{j0} : Quantidade do input j da DMU em análise;

y_{i0} : Quantidade do output i da DMU em análise;

z: Número de unidade em avaliação;

m: Número de outputs;

n: Número de inputs;

S_i : Variável de folga do output i;

S_j : Variável de folga do input j;

t: Variável de ajuste linear

É importante mencionar que além de permitir mensurar o desempenho relativo dos países selecionados, este método, também permitirá obter as folgas, que expressam o quanto cada país deve aumentar ou diminuir de cada variável, para atingirem a eficiência em relação aos outros países. A folga expressa o quanto o desempenho atual da DMU se encontra afastado, em cada variável, de seu desempenho ideal, que pode ser simbolizado por uma DMU virtual que se encontra sobre a fronteira de eficiência (também chamada de *benchmark*). Esse desempenho ideal pode ser considerado uma meta para as DMUs ineficientes, que pode ser calculada conforme as expressões 9 e 10:

$$\text{Meta input} = x_{j0} - S_j, \text{ para } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

$$\text{Meta output} = y_{i0} + S_i, \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (10)$$

A partir do desempenho atual e da meta, é possível determinar a folga relativa, que expressa percentualmente o nível de melhoria necessário para cada variável de cada setor. A folga relativa pode ser determinada a partir da expressão 11:

$$\text{Folga Relativa} = (\text{Meta} - \text{Atual})/\text{Atual} \quad (11)$$

Como pode ser notado, as folgas relativas aos *inputs* serão negativas, o que indica que as variáveis devem ser diminuídas, e as folgas relativas aos *outputs* serão sempre positivas, o que indica que as variáveis devem ser aumentadas. A partir da elaboração de tabelas que incorporaram os resultados das folgas relativas, encontradas a partir da análise de janelas do modelo DEA-SBM, será possível identificar os países que apresentam maior distanciamento da fronteira de eficiência, para a variável consumo de energia.

3.2. Análise de Janela

A análise de janela consiste em um método estruturado para se misturar, em uma mesma aplicação, dados de DMUs referentes a diversos anos diferentes, sendo que isso é feito por meio da realização de múltiplas aplicações da DEA, considerando diferentes combinações de anos (CAMIOTO, 2013). De acordo com Cooper et al. (2000), essa é uma das formas de se incluir o fator tempo dentro da técnica DEA.

A partir dos dados disponíveis, é determinado o tamanho de cada janela e o número de janelas a ser construído. Essas duas informações podem ser obtidas por meio das Expressões 12 e 13, em que k representa o número de períodos e p o tamanho da janela, que é arredondado para cima, se necessário.

$$\text{Tamanho_da_janela_}(p) = (K + 1) / 2 \quad (12)$$

$$\text{Quantidade_de_janela} = k - p + 1 \quad (13)$$

Uma tabela, que incorpore os resultados obtidos para cada unidade em cada janela, deve ser construída, após a aplicação do DEA em cada uma. O resultado final da eficiência de cada DMU deve ser a média das eficiências obtidas em todos os anos e em todas as janelas. Para testar a estabilidade de sua eficiência no tempo, o desvio padrão também será calculado.

Logo, serão elaboradas tabelas que incorporaram os resultados das folgas, de cada variável, para cada DMU e tabelas com os resultados da eficiência dos países obtidos em cada janela. Assim, o resultado final da folga de cada variável para cada DMU será a média das folgas obtidas em todos os anos e em todas as janelas.

Portanto, será possível identificar o quanto o consumo de energia, de cada país, deve ser, em média, alterado, possibilitando o aumento da eficiência deste país em relação aos demais.

3.3. Índices de Sustentabilidade

Os indicadores utilizados neste trabalho foram escolhidos com base em um modelo proposto pelo World Energy Council (2014), que sugere o emprego de quatro índices para se calcular o impacto ambiental do sistema energético de um país, com vistas a descobrir as maiores prioridades de redução da emissão de CO₂ e encontrar melhores políticas de eficiência energética.

Dessa forma, procurou-se investigar a dimensão sustentabilidade ambiental, com enfoque nas emissões de carbono, especificamente, a partir das emissões de gás carbônico (CO₂), utilizando os indicadores propostos no modelo:

- Intensidade Energética, que avalia a quantidade total de energia necessária para gerar uma unidade do Produto Interno Bruto (PIB) do país.
- Intensidade da Emissão de CO₂: mede as emissões de CO₂ a partir da queima de combustível por PIB.
- Emissão de CO₂ a partir do consumo de energia.

3.3.1. Índice de Intensidade Energética (IIE)

O índice de intensidade energética relaciona o consumo total de energia de um país com o valor de seu PIB, fornecendo a medida do quanto de energia é necessário para a produção de uma monetária do PIB e consiste numa medida de eficiência do uso de energia na produção de riquezas (ALMEIDA et. al, 2007).

$$IIE = \frac{\text{Consumo Energia [u. e.]}}{\text{PIB [u. m.]}}$$

u. e. = unidades de energia

u. m. = unidades monetárias

Bartolo (2008) explica que o IIE evidencia o grau de eficiência da utilização energética em relação à riqueza do país, desta forma, quanto menor o consumo de energia por unidades monetárias, maior a eficiência da economia. Adicionalmente, o mesmo autor destaca que o índice não está relacionado apenas à utilização eficiente dos recursos energéticos, como por exemplo a minimização de perdas durante os processos de transformação, mas se estende às dimensões econômica e ambiental. A partir dessa constatação, optou-se por escolher este índice como um dos indicadores possíveis para se avaliar a sustentabilidade ambiental na matriz energética nacional.

3.3.2. Intensidade de Carbono na Economia (ICE)

Hilgemberg e Guilhoto (2006) explicam que ao se incorporar a intensidade de carbono nos estudos de impactos ambientais, é possível evidenciar as inter-relações entre a produção de bens e serviços pelos setores da economia e as emissões de poluentes.

Uma forma mensurar as emissões de poluentes através da intensidade de carbono em determinada região é utilizar a relação entre a quantidade de CO₂ emitida pela produção de riqueza no mesmo período, esquematicamente:

$$ICE = \frac{\text{Emissões de CO}_2 \text{ [u. v.]}}{\text{PIB [u. m.]}}$$

u.v. = unidades de volume

u.m = unidades monetárias

3.3.3. Emissão per capita de CO₂

O modelo adaptado do WEC sugere a utilização das emissões per capita de CO₂, que podem ser calculadas em termos da quantidade de emissão em determinado período, usualmente anual, e a população da região naquele período.

$$CO_2 \blacksquare = \frac{\text{Emissões de CO}_2 \text{ [t]}}{\text{População *}}$$

* número de habitantes

■ CO₂ per capita

Seguindo a tendência da literatura corrente e por razões práticas, este índice foi calculado considerando-se a razão entre a quantidade de CO₂ emitida em toneladas, anualmente, pela população do país ou grupo de países em cada ano. Levou-se em conta apenas emissões geradas a partir do consumo de energia.

4. Resultados

A partir da aplicação do Modelo SBM variante da DEA e da Análise de Janela, foi possível verificar o comportamento dos países que compõe o BRICS durante os anos de 1993 a 2010, considerando os *inputs* força de trabalho, formação bruta de capital fixo e consumo energético e os *outputs* PIB (*output* desejável) e emissão de CO₂ (*output* indesejável).

Para esta análise, foi calculado o número total de nove janelas, cada uma com dez amplitudes. A partir da DEA foi possível verificar que o Brasil é o mais eficiente em relação à sua capacidade de transformar energia, força de trabalho e formação bruta de capital fixo em PIB, sem aumentar as emissões de CO₂, seguido por: África do Sul, China, Rússia e Índia; como é possível observar na Tabela 1.

Tabela 1: *Ranking* de Eficiência total de fatores do BRICS

| <i>Ranking</i> | PAÍS | Média eficiência | Desvio Padrão |
|----------------|-----------|------------------|---------------|
| 1 | BRASIL | 99,36% | 1,18% |
| | ÁFRICA DO | | |
| 2 | SUL | 98,95% | 1,44% |
| 3 | CHINA | 81,10% | 14,17% |
| 4 | RUSSIA | 60,28% | 6,22% |
| 5 | INDIA | 42,34% | 3,96% |

4.1 Análise das variáveis

A partir das folgas de cada variável, fornecidas pela DEA, foi possível analisar a classificação dos países no *ranking* estrutura total de fatores. Para tanto, foi construído um *ranking* das

médias das folgas para cada variável, indicando qual país precisaria alterar mais (posição 5) ou menos (posição 1) a variável analisada para melhorar a eficiência relativa calculada.

- Força de trabalho (população ativa)

Esse indicador mostra o número de pessoas com capacidade para participar do processo de divisão social do trabalho. O *ranking* da média das folgas dessa variável encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2: *Ranking* e média das janelas - Força de Trabalho

| <i>Ranking</i> | Setor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Média | Desvio Padrão |
|----------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 1 | ÁFRICA DO SUL | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0 |
| 2 | BRASIL | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,02% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,0003 |
| 3 | RUSSIA | 3,73% | 3,75% | 3,80% | 3,65% | 3,24% | 2,81% | 2,33% | 1,82% | 1,39% | 2,95% | 0,017 |
| 4 | CHINA | 39,51% | 36,94% | 35,85% | 36,44% | 35,74% | 35,87% | 34,30% | 27,29% | 32,46% | 34,93% | 0,0492 |
| 5 | ÍNDIA | 39,18% | 39,57% | 40,20% | 40,99% | 41,84% | 42,70% | 43,53% | 43,94% | 44,56% | 41,83% | 0,0331 |
| Média Geral | | | | | | | | | | | 15,94% | |

África do Sul e Brasil são mais eficientes quando comparados aos demais países, com folga média de 0%, ou seja, os mesmos não precisam alterar essa variável para aumentar as suas respectivas eficiências. Desta forma, apresentam-se como benchmarking para essa variável, de forma que suas práticas com relação ao uso da força de trabalho para aumentar o PIB, sem prejudicar o meio ambiente, podem ser melhor estudadas por países que tenham uma folga relativa elevada em relação aos demais para essa variável.

Já a Rússia, terceira do *ranking* (2,95%), com desvio padrão de 0,017, passou de 3,73% (janela 1) para 1,39% (janela 9) apresentando uma melhora ao longo do tempo. Essa melhora ocorreu, principalmente, a partir de 2006, quando o país começou a apresentar folga de 0% em todas as janelas.

Já a China apresentou expressivas e rápidas melhoras, a ponto do ano mais recente de cada janela ser sempre melhor do que os anteriores, daí a alta variabilidade (0,0492). Porém, ainda, assume o quarto lugar (34,93%).

A Índia apresentou-se em último lugar (41,83%), com desvio padrão de 0,0331, piorando de janela para janela.

– Formação bruta de capital fixo

Esse indicador mede o quanto as empresas aumentaram os seus bens de capital, mostrando o aumento da capacidade de produção do país e a confiança dos empresários no futuro.

O *ranking* da média das folgas para essa variável encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: *Ranking* e média das janelas - Formação Bruta de Capital Fixo

| <i>Ranking</i> | Setor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Média | Desvio Padrão |
|----------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| 1 | RUSSIA | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,0002 |
| 2 | ÁFRICA DO SUL | 0,10% | 0,07% | 0,03% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,03% | 0,03% | 0,03% | 0,0006 |
| 3 | BRASIL | 0,18% | 0,26% | 0,14% | 0,18% | 0,08% | 0,05% | 0,02% | 0,02% | 0,01% | 0,10% | 0,0021 |
| 4 | CHINA | 3,41% | 2,89% | 2,88% | 2,41% | 1,84% | 1,35% | 0,66% | 0,00% | 0,00% | 1,70% | 0,0276 |
| 5 | ÍNDIA | 0,39% | 0,82% | 0,93% | 1,40% | 1,90% | 2,41% | 2,94% | 3,64% | 4,27% | 2,08% | 0,0278 |
| Média Geral | | | | | | | | | | | 0,78% | |

Mesmo aumentando a média das folgas nas últimas janelas, a África do Sul, segunda do *ranking* (0,03%), assim como a Rússia, primeira do *ranking* (0%), podem ser classificadas como eficientes nessa variável, apresentando desvios de 0,0002 e 0,0006, respectivamente.

Em terceiro e quarto lugar estão Brasil e China, respectivamente. Observa-se, na Tabela 3, que eles melhoraram a média das folgas dessa variável ao longo das janelas. Destaca-se, ainda, que eles apresentaram os anos mais recentes de cada janela, sempre, como mais eficientes do que os anos anteriores.

Já a Índia piorou a média dessa folga ao longo dos anos, sendo o último país no *ranking* (2,08%), com desvio padrão 0,0278.

– Consumo energético

Consumo energético está relacionado diretamente ao comportamento da sociedade e ao nível de desenvolvimento do país. Nota-se, na Tabela 4, que todos os países, com exceção da Índia, melhoraram a média das folgas dessa variável ao longo das janelas.

Tabela 4: *Ranking* e média das janelas - Consumo Energético



| <i>Ranking</i> | <i>Setor</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | <i>Média</i> | <i>Desvio Padrão</i> |
|--------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|----------------------|
| 1 | BRASIL | 0,01% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,01% | 0,02% | 0,00% | 0,0002 |
| 2 | ÁFRICA DO SUL | 0,27% | 0,20% | 0,09% | 0,09% | 0,09% | 0,08% | 0,09% | 0,12% | 0,17% | 0,13% | 0,0017 |
| 3 | ÍNDIA | 10,08% | 9,94% | 10,15% | 10,53% | 10,98% | 11,42% | 11,97% | 12,59% | 13,17% | 11,20% | 0,0207 |
| 4 | CHINA | 17,28% | 14,79% | 13,19% | 12,18% | 11,12% | 12,04% | 12,23% | 9,40% | 13,31% | 12,84% | 0,0948 |
| 5 | RUSSIA | 20,69% | 20,18% | 20,02% | 19,95% | 19,93% | 19,95% | 20,05% | 19,94% | 20,04% | 20,08% | 0,006 |
| Média Geral | | | | | | | | | | | 8,85% | |

Brasil (0%) e África do Sul (0,13%) lideram o *ranking*, sendo o consumo energético nesses países bastante eficiente, talvez pela conscientização por parte das pessoas ou pelos resultados de programas governamentais, como o PROCEL.

A China vem melhorando, conseguindo folga 0% nos anos mais recentes de cada janela. A alta variabilidade é refletida no maior desvio padrão (0,0948). Entretanto, no primeiro ano de cada janela, seu consumo era exacerbado, consequentemente, ainda ocupa o quarto lugar no *ranking* (12,84%).

A Índia, que possuía folgas menores que a China nos primeiros anos de cada janela, aumentou sua folga nos anos mais recentes, encontrando-se no terceiro lugar (11,20%), com desvio padrão de 0,0207.

Finalmente, as folgas na Rússia diminuíram, contudo, em uma taxa baixa, sendo que não há grande diferença entre as folgas nos primeiros e últimos anos de cada, apresentando-se como último no *ranking* (20,08%), com desvio padrão de 0,006.

– Emissão de CO₂

Emissões de CO₂ são decorrentes da queima de combustíveis fósseis. Observou-se, a partir dos dados, que o nível de emissões do BRICS, no geral, aumentou ao longo dos anos.

A Tabela 5 apresenta o *ranking* de países do BRICS para essa variável.

Tabela 5: *Ranking* e média das janelas - Emissão de CO₂



| <i>Ranking</i> | <i>Setor</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | <i>Média</i> | <i>Desvio Padrão</i> |
|--------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|----------------------|
| 1 | BRASIL | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |
| 2 | ÁFRICA DO SUL | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 |
| 3 | ÍNDIA | 0,101 | 0,103 | 0,098 | 0,103 | 0,109 | 0,114 | 0,122 | 0,131 | 0,138 | 0,113 | 0,026 |
| 4 | CHINA | 0,175 | 0,141 | 0,120 | 0,102 | 0,090 | 0,102 | 0,110 | 0,082 | 0,129 | 0,117 | 0,099 |
| 5 | RUSSIA | 0,156 | 0,151 | 0,149 | 0,148 | 0,149 | 0,150 | 0,152 | 0,153 | 0,155 | 0,151 | 0,008 |
| Média Geral | | | | | | | | | | | 0,077 | |

Os mais eficientes são Brasil (0,04%) e África do Sul (0,12%). Ambos mantêm folga de 0% na maior parte dos anos analisados.

Já Índia e Rússia, terceira e última no *ranking*, apesar de diminuírem a média das folgas na janela 3, voltaram a aumentar a porcentagem, como mostrado na Tabela 5. Pode-se, assim, concluir que em uma época que se busca a sustentabilidade, Rússia e Índia não estão obtendo resultados relativos satisfatórios em reduzir as emissões de CO₂, com o aumento do uso fontes mais limpas de energia, por exemplo.

Finalmente, a China, mesmo em penúltimo lugar no *ranking* (11,67%), apresentou melhorias, com diminuição considerável da folga ao longo dos anos. Essas melhorias se refletem no desvio padrão, o maior (0,0989).

– Produto Interno Bruto (PIB)

PIB representa a soma, em valores monetários, de todos os bens e serviços finais produzidos numa região, durante um período determinado. Tem o objetivo principal de mensurar a atividade econômica de uma região.

Considerando o período analisado, há uma melhora do PIB por parte de todos os países analisados, exceto a Rússia, devido à extinção da União Soviética. Segundo os dados coletados, a Rússia consegue recuperar o crescimento econômico em 1998.

A Tabela 6 apresenta o *ranking* da média das folgas para essa variável.

Tabela 6: *Ranking* e média das janelas - PIB



| <i>Ranking</i> | <i>Setor</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | <i>Média</i> | <i>Desvio Padrão</i> |
|--------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|----------------------|
| 1 | ÁFRICA DO SUL | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | BRASIL | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,002 |
| 3 | CHINA | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,010 | 0,019 | 0,031 | 0,038 | 0,040 | 0,017 | 0,018 | 0,021 |
| 4 | RUSSIA | 0,023 | 0,022 | 0,019 | 0,018 | 0,022 | 0,028 | 0,034 | 0,040 | 0,045 | 0,028 | 0,020 |
| 5 | INDIA | 0,054 | 0,061 | 0,066 | 0,065 | 0,063 | 0,061 | 0,056 | 0,054 | 0,047 | 0,059 | 0,023 |
| Média Geral | | | | | | | | | | | 0,021 | |

África do Sul (0,02%) e Brasil (0,06%), com desvio padrão de 0,0004 e 0,0016, respectivamente; se mostram quase eficientes, sendo considerável o número de folgas zero ao longo dos períodos analisados.

A China, terceiro lugar (1,83%), com desvio padrão de 0,0214, apresentou folga 0 para o ano mais recente de cada janela, o que mostra melhoria da eficiência com relação a essa variável.

A Rússia, quarto lugar (2,79%), com desvio padrão de 0,0201, poderia melhorar sua posição, caso continuasse com o desempenho das três primeiras janelas. Contudo, a partir da quarta janela, a folga aumentou.

A Índia, diferente do observado nas outras variáveis, melhorou a eficiência do PIB, diminuindo as folgas nos anos mais recentes de cada janela. Esse país encontra-se em quinto lugar no *ranking* (5,85%), com a maior variabilidade (0,0232) entre os países analisados.

Após realizada a análise eficiência total de fatores e a análise de folgas para cada variável, focou-se o estudo no consumo energético. Desse modo, foi calculado o índice EEFT para cada país, como apresentado no método. Após a análise de janelas desse índice, foi possível apresentar um *ranking* EEFT para os países do BRICS, apresentado no próximo tópico.

4.2 Índices EEFT

Conforme os resultados encontrados com o cálculo do índice de EEFT, o Brasil foi o primeiro do *ranking*, como mostra a Tabela 7. Salienta-se que, diferente da interpretação das folgas, nesse índice, quanto mais próximo de 100%, maior a eficiência.

Tabela 7 - *Ranking* EEFT

| Ranking | País | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Média | Desvio Padrão |
|---------|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|---------------|
| 1 | BRASIL | 99,9% | 99,9% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 99,9% | 99,8% | 99,95% | 0,002 |
| 2 | ÁFRICA DO SUL | 93,9% | 95,6% | 98,1% | 98,2% | 98,5% | 98,2% | 98,2% | 97,8% | 96,9% | 97,27% | 0,0336 |
| 3 | CHINA | 60,1% | 66,8% | 71,2% | 74,3% | 77,3% | 77,0% | 78,2% | 84,1% | 79,1% | 74,24% | 0,2184 |
| 4 | ÍNDIA | 41,6% | 44,5% | 45,3% | 45,2% | 44,9% | 44,9% | 44,5% | 44,2% | 44,0% | 44,33% | 0,029 |
| 5 | RÚSSIA | 21,1% | 21,8% | 22,2% | 22,7% | 23,3% | 24,0% | 24,8% | 25,7% | 26,3% | 23,54% | 0,0266 |

A Rússia foi o último país no *ranking* de eficiência energética. Entretanto, verifica-se que o índice apresentou um crescimento ao longo das janelas, com a média passando de 21,1% na primeira janela (1993-2002) para 26,3% na última (2001-2010).

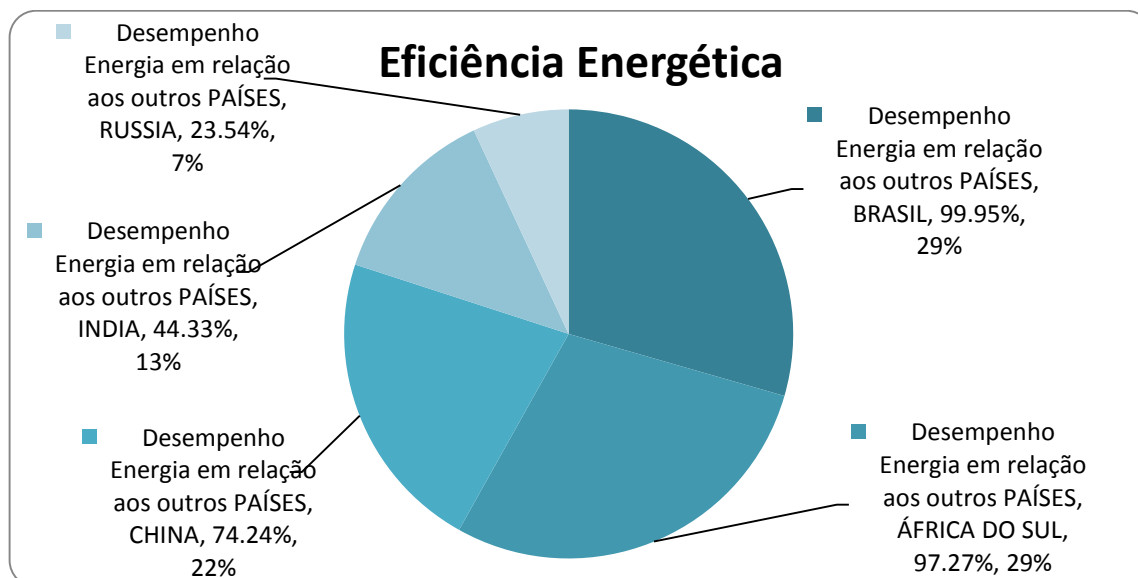
Em seguida, como penúltimo no *ranking*, apresenta-se a Índia. Apesar de ter o desempenho superior à Rússia, ele não apresentou significativas melhoras ou pioras, mantendo-se em níveis parecidos de desempenho médio ao longo dos anos analisados.

O terceiro no *ranking* é a China, que apresentou um crescimento das eficiências médias conforme os períodos mais recentes foram sendo contemplados nas janelas. A média dos desempenhos passou de 60,11% (janela 1) para 79,14% (janela 9). O crescimento ao longo dos anos é significativo, sendo refletido na alta variabilidade apresentada, tendo desvio padrão de 21,84%. Todavia, deve-se ressaltar que é o país que mais consome combustíveis fósseis e que mais emite CO₂. Assim, seu crescimento de forma sustentável mostra-se possível, porém desafiador.

A África do Sul apresentou a segunda maior variabilidade (desvio padrão de 3,36%), entretanto, bastante inferior se comparado à China. Esse país, assim como a Rússia, apresentou oscilações entre janelas e anos; ora aumentando, ora diminuindo a eficiência.

Por fim, o país mais eficiente energeticamente foi o Brasil, com elevado desempenho médio em todas as janelas. Nota-se no Gráfico 1, que apresenta o índice médio da EEFT de cada país, o destaque do Brasil e da África do Sul perante os outros países que compõem o BRICS.

Gráfico 1 : Eficiência Energética - BRICS



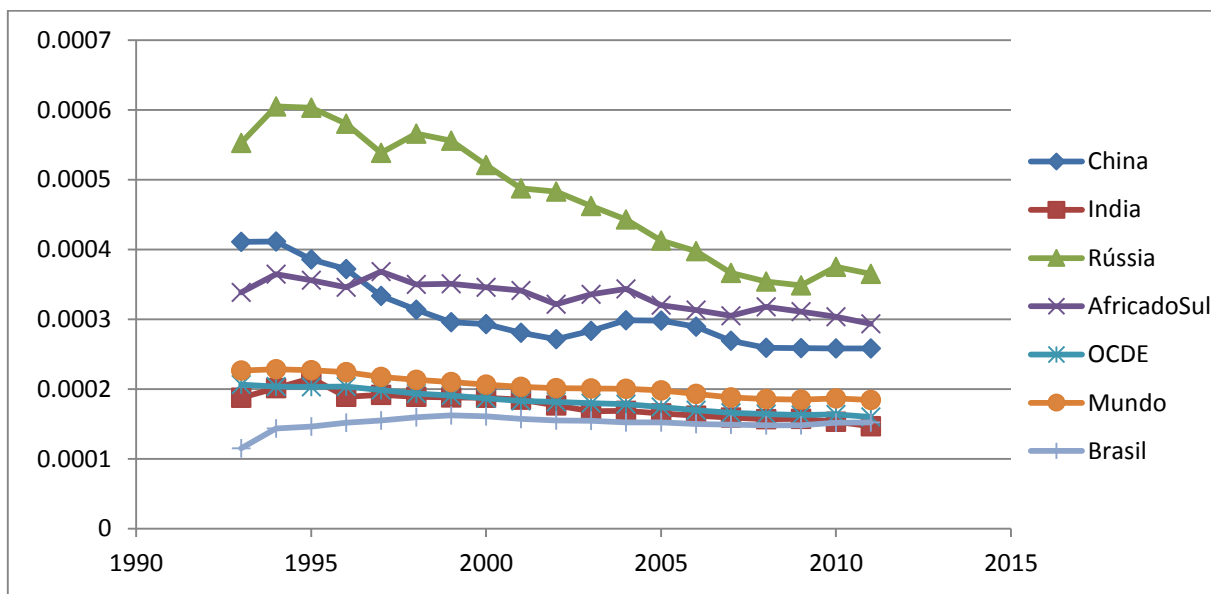
4.3. Índices de Energia

Os quatro indicadores estudados, para os países do BRICS, IIE, ICE, Emissão per capita de CO₂ e Evolução das emissões de CO₂, foram confrontados com os indicadores dos países do grupo OCDE e demais países do mundo com a finalidade de comparação entre os índices de sustentabilidade de forma a conhecer e analisar o comportamento dos demais países diante a esses aspectos.

- IIE (Índices de Intensidade Energética)

O comportamento do indicador Intensidade Energética para o BRICS indicou uma redução de 14,7% , em média, na sua demanda de energia para gerar riqueza. No entanto, destaca-se que o Brasil contrariou o fluxo dos outros países do BRICS, da OCDE e a média mundial: enquanto estes reduziram suas intensidades energéticas no período, o Brasil teve um aumento considerável em sua demanda de energia para gerar riqueza: um crescimento de 32,4%, contra uma redução de 18,7% da média mundial e 22,4% dos países da OCDE. Quanto aos países do BRICS, China diminuiu 37,1%, seguida por Rússia (33,9%), Índia (21,6%) e África do Sul(13,3%), conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2 : Evolução dos Índices de Intensidade Energética - Mtep por US\$ (BRICS/Mundo/OCDE)

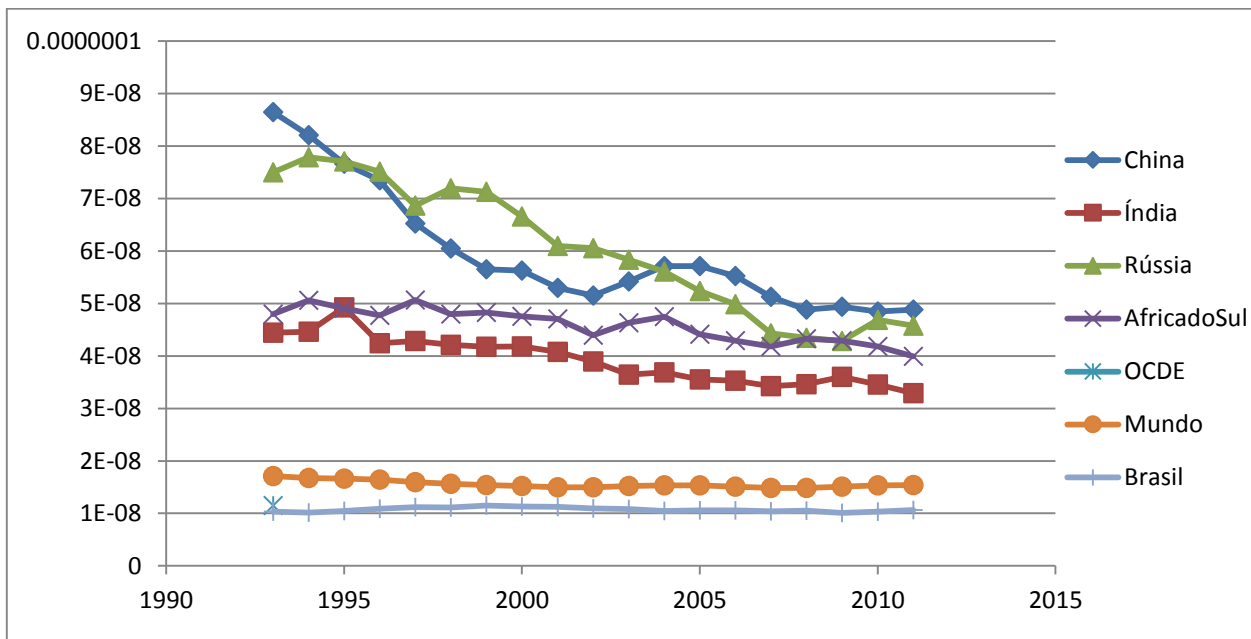


- ICE (Intensidade Carbono na Economia)

O Gráfico 3 retrata uma redução de 24,4%, em média, com relação ao BRICS. Contudo, retrata também a tendência brasileira para o indicador Intensidade de Carbono na Economia também destoou do restante do mundo. A quantidade de CO₂ emitido para cada unidade do PIB reduziu tanto na média mundial (redução de 10%), quanto para os países da OCDE (redução de 24,9%) e os países do BRICS, destacando a redução da China (43,5%), seguida por Rússia (39%), Índia (26%) e África do Sul (16,5%).

Enquanto isso, o Brasil obteve um aumento da ordem de 3%, vide Gráfico 3. A trajetória nacional de crescimento econômico esteve, portanto, vinculada a uma intensificação nas emissões do principal gás contribuinte do efeito estufa.

Gráfico 3 : Evolução da Intensidade Carbono na Economia - m³ de CO₂ por PIB
(BRICS/Mundo/OCDE)



4.4. Emissões de CO₂

- CO₂ per Capita

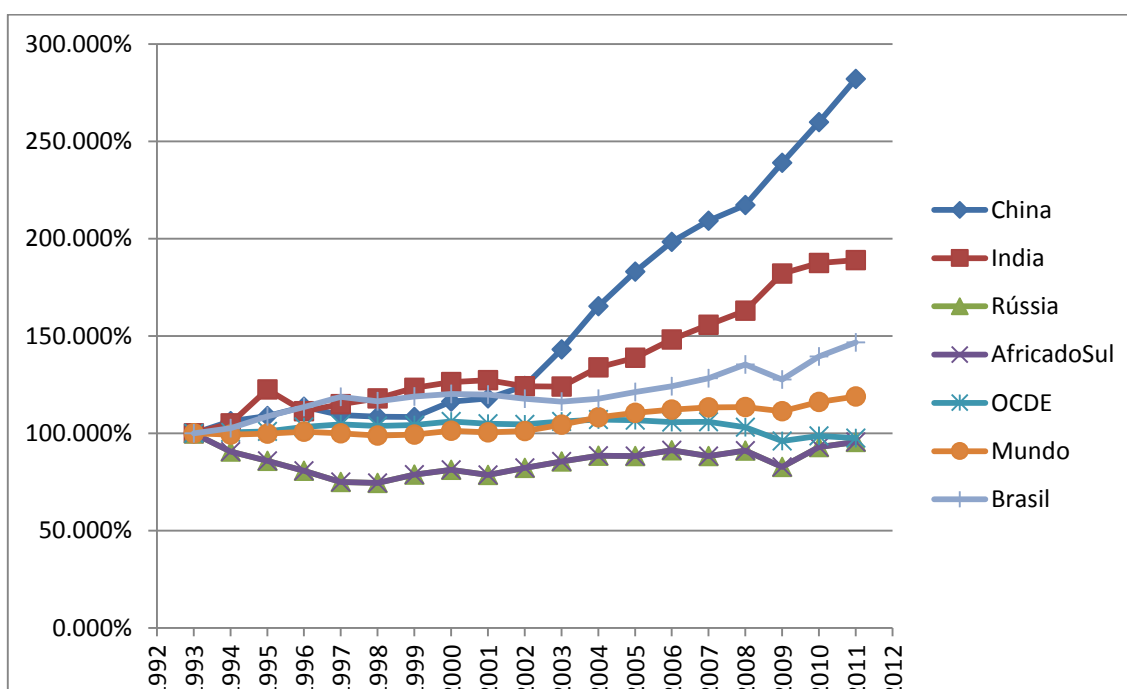
Comparando a evolução das emissões per capita de CO₂ originadas por meio do consumo de energia a partir de 1993, em termos percentuais, constata-se uma piora de 61,8%, em média, ao longo do período analisado. Destaca-se que a China obteve o maior aumento percentual (182,2%), seguida da Índia (89%) e África do Sul (23,5%), no entanto, a Rússia em contrapartida, aos parceiros obteve uma redução de 4,4% .

Novamente, no que se refere ao Brasil, foi observada uma piora em relação ao comportamento dos indicadores mundiais, conforme revela Gráfico 4. O país obteve em 2011 um aumento de 46,6% em suas emissões per capita de CO₂, aproximadamente 1,3 vezes maior que o aumento verificado para a média mundial (118,9%) no mesmo período.

Os países da OCDE, por sua vez, conseguiram frear o ritmo das emissões per capita obtendo uma redução de 2,5% em relação ao início do período apurado. Ainda que a emissão per capita absoluta do Brasil seja consideravelmente menor que a média mundial, a taxa com que este indicador cresceu nos 17 anos do período estudado indica uma situação bastante

preocupante sob o ponto de vista da sustentabilidade. Não sendo o bastante, a mesma situação deve ser considerada quando analisamos de forma macro o BRICS.

Gráfico 4 : Evolução das emissões de CO₂ per capita %
(BRICS/Mundo/OCDE)



- Evolução de emissões de CO₂

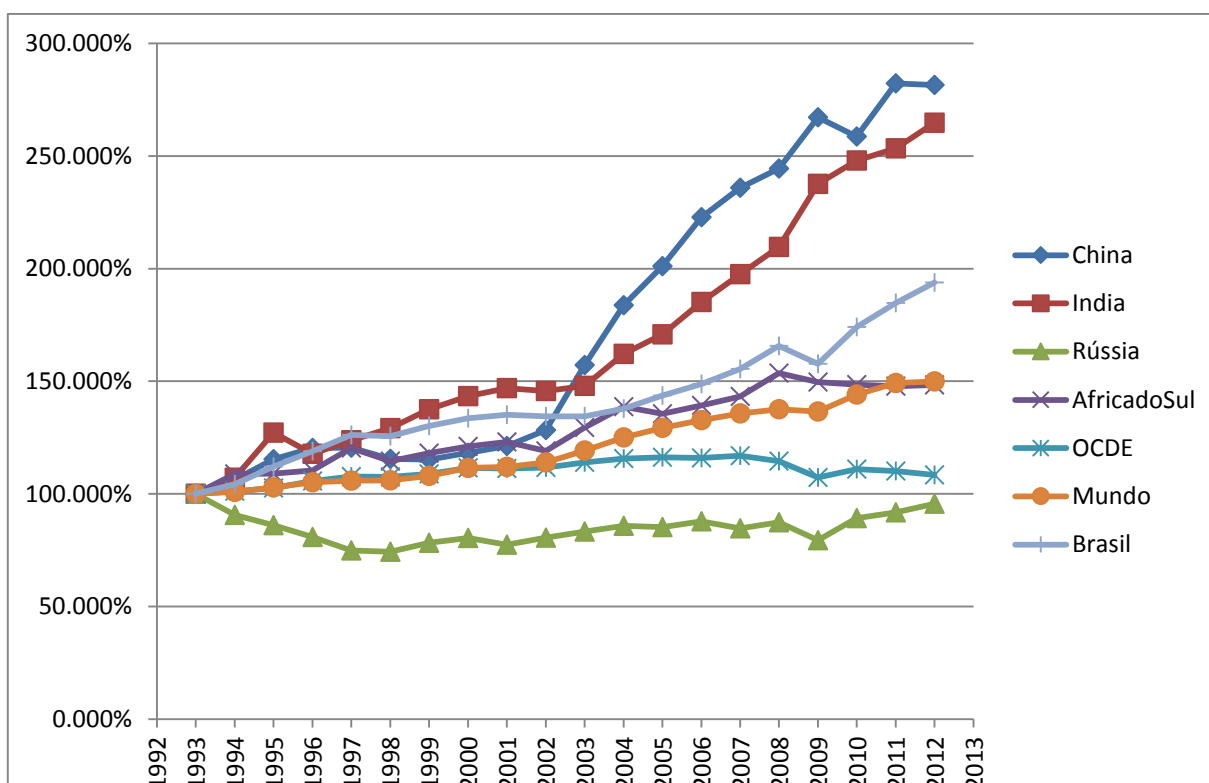
Finalmente, o confronto do último indicador analisado, Evolução das emissões totais de CO₂, entre o caso nacional, mundial, países que compõem o BRICS e países da OCDE, não apenas reforçou a tendência de piora observada nas análises anteriores, como revelou índices preocupantes: as emissões nacionais cresceram 93,9% desde 1993, numa taxa média anual de 5,53%, enquanto as emissões mundiais cresceram 49,8%, à taxa média de 2,92% ao ano, conforme o Gráfico 5.

Para os países do BRICS, o crescimento, em média, das emissões foi de, aproximadamente, 96,8%, com uma taxa média anual de 5,7%. Observa-se que a taxa anual do grupo como todo, se aproxima significativamente da taxa anual nacional. Com relação a cada país que compõe o grupo, temos: China (crescimento de 181,6%, com uma taxa média anual de 10,7%), Índia

(crescimento de 164,7%, com uma taxa média anual de 9,7%), África do Sul (crescimento de 48,3%, com uma taxa média anual de 2,8%), e Rússia (redução de 4,3%, com uma taxa média anual de 0,25%).

Para os países da OCDE, o crescimento das emissões foi de aproximadamente 8,4% no período, ou 0,49% ao ano. Comparativamente, as emissões totais de CO₂ no BRICS cresceram mais que 30% das emissões mundiais no período analisado, e foram cerca de 80% maior do que as emissões dos países da OCDE. Com relação ao Brasil, as emissões totais cresceram aproximadamente 30% referente ao mundo e, cerca de 78% da OCDE.

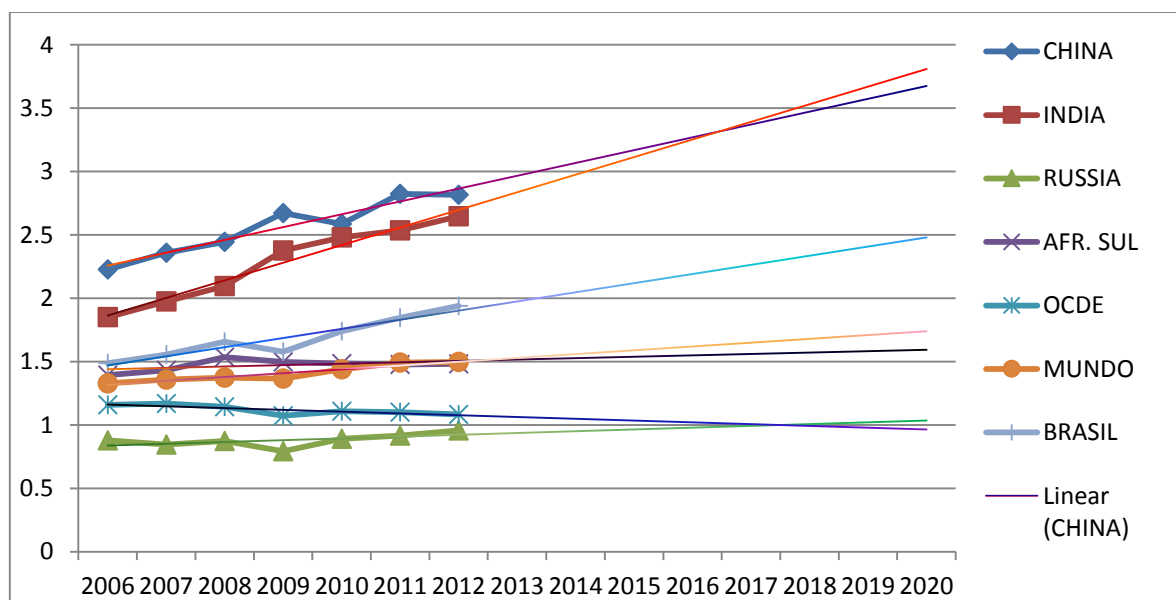
Gráfico 5 : Evolução das emissões totais de CO₂ no período analisado(%)
(BRICS/Mundo/OCDE)



- Projeção de emissões de CO₂

Adicionalmente, as emissões globais de dióxido de carbono do setor de energia pararam de subir em 2014, ao mesmo tempo em que a economia do planeta cresceu 3% (G1,2015c) e diante da análise das emissões de CO₂ do período analisado, foi feita uma projeção do comportamento dessas emissões até 2020, conforme Gráfico 6:

Gráfico 6 : Projeção da Evolução das emissões totais de CO₂ (%)
(BRICS/Mundo/OCDE)



Destaca-se que a projeção foi considerada de forma linear, considerando o mesmo contexto analisado no trabalho. Sabe-se que mudanças no contexto político e econômico influenciam diretamente na estimativa do valor esperado para os próximos anos.

Dessa forma, considerando o contexto da pesquisa, é possível observar que, segundo a projeção, as emissões de CO₂ da Índia ultrapassarão as da China em meados de 2017. As emissões da Rússia ultrapassarão da OCDE, aproximadamente em 2016, no entanto, ainda estarão abaixo do nível mundial, junto com a África do Sul.

Por fim, observa-se que o Brasil, apesar de ser o mais energeticamente eficiente, de acordo com o índice EEFT, tem a tendência de aumentar as emissões de CO₂, de maneira significativa com relação ao mundo, quando na realidade deveria diminuir, assim como China e Índia.



5. Considerações finais

Energia é um dos componentes essenciais para o desenvolvimento social e econômico de uma nação. Os desenvolvimentos atuais e futuros do país devem estar intimamente ligados ao uso sustentável, eficiente e seguro de energia com base em abordagens ecologicamente e economicamente mais viáveis para o futuro da sociedade em curto e longo prazo.

No entanto, existem numerosos problemas que a sociedade moderna deve enfrentar na busca por um abastecimento energético sustentável, paralelamente à busca pela redução do seu uso. No entanto, as crises energéticas vivenciadas têm mostrado como as sociedades são vulneráveis à geopolítica e às influências climatológicas para o seu abastecimento em energia.

A problemática dos impactos ambientais gerados a partir da produção e do uso da energia, em especial as emissões de gases e seus efeitos sobre o clima, reforçam a necessidade de se assegurar um modelo de desenvolvimento equilibrado e sustentável.

No presente trabalho a comparação entre os países dos BRICS foi realizada por meio da análise da eficiência desses países em transformar formação bruta de capital fixo, força de trabalho e consumo de energia em crescimento econômico, sem aumentar as emissões de CO₂. Além disso, foi realizada uma análise da demanda de energia para gerar riqueza, a quantidade de CO₂ emitido para cada unidade do PIB e a projeção de emissões de CO₂ para os próximos 5 anos.

Nos resultados mediante eficiência dos fatores analisados, o Brasil mostrou-se com a maior eficiência (99,36%), considerando as variáveis utilizadas, seguido pelos países: África do Sul, China, Rússia e Índia.

Para melhor entender os resultados da análise de eficiência, foi feita uma análise das folgas de cada variável. A partir dessa análise, foi possível observar que o Brasil apresentou-se como *benchmarking* para os demais países nas variáveis: força de trabalho, consumo energético e emissões de CO₂; além de ser o segundo no *ranking* de folga para a variável formação bruta de capital fixo e o terceiro no *ranking* do PIB. Outro país que se destacou foi a África do Sul, apresentando-se sempre como o primeiro ou o segundo colocado no *ranking* das folgas das variáveis analisadas.



Destaca-se que a variável força de trabalho, ao apresentar-se com a maior média geral das folgas, deve receber, mais prioritariamente, atenção a fim de que medidas sejam tomadas para melhorá-la. Tal resultado pode indicar, entre outras coisas, que o BRICS precisaria investir em tecnologia a fim de melhorar a produtividade. Isso poderia garantir que o crescimento econômico seja alcançado sem necessidade do alto uso da força de trabalho.

Após a força de trabalho, as variáveis com maiores folgas médias foram, respectivamente: consumo energético, emissões de CO₂, PIB e Formação Bruta de Capital Fixo, respectivamente. O que justifica a preocupação desse trabalho em focar a análise na redução do consumo energético.

Ao analisar o *ranking* das folgas para cada variável, tem-se que o Brasil apresenta-se como *benchmarking* para o consumo energético. Todavia, de todas as variáveis, deve atentar-se principalmente a formação bruta de capital. Já a China e a Índia devem focar, primeiramente, na Força de Trabalho, enquanto a Rússia e a África do Sul, no consumo energético.

Ressalta-se que a folga não pode ser interpretada como uma meta rígida, sendo apenas um indicativo de qual variável está sendo mais prejudicial para a eficiência relativa dos países. Deste modo, pode acontecer de não haver possibilidades de alterar as variáveis, nas proporções indicadas pelas folgas, considerando a atual estrutura do país e o cenário econômico que apresenta.

Salienta-se, ainda, a importância de incentivos públicos para concretizar as mudanças na estrutura de empregos, procurando formas de inserir as pessoas no mercado de trabalho de forma qualificada; e mudanças no consumo de energia e na emissão de CO₂, buscando além da eficiência energética, novas fontes de energia. Além disso, são necessárias ações conjuntas que envolvam, além do governo, o setor privado e os consumidores na produção e consumo sustentável de energia. Deve haver, ainda, incentivos econômicos buscando a melhoria da formação bruta de capital e do PIB.

Além de analisar as folgas fornecidas pelo DEA, também foi calculado o índice EEFT. Por meio dele, verificou-se que o Brasil é o país mais eficiente energeticamente dentro do BRICS, seguido da África do Sul, China, Índia e Rússia.



Assim, responde-se às duas primeiras abordagens da questão de pesquisa, mostrando quais países do BRICS são mais energeticamente eficientes, propiciando informações sobre países *benchmark* dentro do BRICS e como o Brasil se encontra nesse cenário.

Segundo os resultados apresentados, enquanto o Brasil pode ser uma referência de boas práticas sustentáveis, devendo ser mais bem examinado, a Índia, apesar de não ser a última do *ranking*, merece atenção no que diz respeito a medidas relacionadas à eficiência energética.

Ressalta-se, porém, que o índice EEFT proposto neste trabalho apresenta limitações relacionadas, principalmente, com a heterogeneidade dos países comparados. Portanto, sua interpretação exige que sejam consideradas as particularidades de cada país, em suas interações com a sociedade, a economia e o meio ambiente.

Por outro lado, a última abordagem da questão de pesquisa, com relação à intensidade energética e emissões de CO₂, concluímos que os BRICS se posicionam bem abaixo do esperado perante os países da OCDE e do mundo. Como se tratam de países em desenvolvimento, atualmente, espera-se que o crescimento seja de forma mais sustentável mediante ao desenvolvimento que as potências atuais obtiveram, no passado, já que, hoje, há informações e estudos disponíveis sobre as causas, consequências e impactos de um crescimento eficiente.

Dessa forma, enquanto o Brasil é referência de boas práticas sustentáveis no BRICS, de acordo com o índice EEFT, nota-se que, quanto aos índices IEE, ICE e emissões de CO₂, ainda há muito o que melhorar quando comparado com o resto do mundo. É possível destacar comportamento contraditório: apesar das fontes renováveis corresponderem a 41% da matriz energética nacional, em proporções muito maiores do que a média mundial (13,4%), o país obteve uma piora generalizada em todos os seus indicadores ambientais no período verificado.

Adicionalmente, observa-se que o Brasil também tende a piorar com relação ao mundo quando se trata das emissões de CO₂, de acordo com a projeção linear feita, assim como a Índia e a China. Nota-se que esses países são responsáveis diretamente pelo aumento das emissões mundiais nos próximos anos, quando deveria seguir no caminho contrário.



Por fim, o presente trabalho buscou contribuir com informações qualitativas e quantitativas sobre o desenvolvimento dos países de forma que o crescimento econômico seja alcançado sem prejudicar o meio ambiente e com a menor quantidade de fatores de produção possível. Os resultados forneceram, também, aos governos dos países BRICS informações para o estabelecimento de estratégias adequadas para alcançar a eficiência energética, principalmente no que tange o uso do potencial da matriz energética de cada país.

6. Referências

AIE – Agência Internacional de Energia. Experience curves for energy technology policy. Paris, 2000.

ALMEIDA, P.R. (2009). O papel dos BRICS na economia mundial. **Economia exterior**, p: 57-65

AMORIM, C. (2010). Existe realmente el BRIC. **Economía exterior**, v.52, p: 23-28.

ARAÚJO, M. A. (2004). **A moderna construção sustentável**. Disponível em: <www.idhea.com.br>. Acesso em: 18 jun. 2014.

BANCO MUNDIAL. (2013). **Apresenta diversas informações relativas aos países**. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

BBC British Broadcasting Corporation.(2012) **Brics respondem por 6% da ajuda global diz Banco Mundial**. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/04/120420_banco_mundial_pu.shtml>. Acesso em: 20 ago. 2013

BILDIRICI, M. (2012). Economic growth and biomass energy. Biomass and Bioenergy, v. 50, p. 19-24.

BRITISH PETROLEUM (BP). Statistical Review of World Energy. Junho 2014. Disponível em: <<http://www.bp.com/statisticalreview>>. Acesso em jul. 2015

CAMIOTO, F.C. (2013). Análise da eficiência energética nos BRICS e G7 considerando estrutura de fator-total: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados. São Carlos, 2013.

CAMIOTO, F.C. et al (2014). Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. São Carlos, 2014.



CAMIOTO, F.C. et al (2015). Factors Intervening with the Adoption of Cleaner Energy Sources in the Industrial Sector of the State of São Paulo, Brazil. São Carlos, 2015.

CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, v. 2, p.429-444.

COELLI, T. et al. (1998). Introduction to efficiency and productivity analysis. Massachusetts Kluwer Academic Publishers.

COOPER, W. W et al. (2000). Data Envelopment Analysis: a comprehensive Text with models, applications, reference and DEA–Solver software. 1 ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers.

COSTA, R. e PRATES, C.(2005). O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. Disponível em : <http://www.sifloresta.ufv.br/handle/123456789/4210>. Acesso em jul 2015

ECOPOLÍTICA (2013). Na África do Sul energia renovável dinamiza economia. Disponível em: <http://www.ecopolitica.com.br/2013/12/12/na-africa-do-sul-energia-renovavel-dinamiza-economia/>. Acesso em jul.2015

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). International Energy Statistics. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2014. Disponível em: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm>> Acesso em jul. 2015.

EPOCH TIMES, 2013. Índia planeja encorajar desenvolvimento de energia limpa. Disponível em: https://www.epochtimes.com.br/india-planeja-encorajar-desenvolvimento-de-energia-limpa/#.VZmGf_IViko. Acesso em jul 2015

EXAME, 2015a. Brasil devem crescer 3,6% em 2016, avalia OCDE. Disponível em : <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/brics-devem-crescer-3-6-em-2016-avalia-ocde> . Acesso em jul. 2015

EXAME, 2015b. Parlamento da China ratifica acordo de Banco dos Brics. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/parlamento-da-china-ratifica-acordo-de-banco-dos-brics>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015c. Indiana Videocon prevê investir US\$ 2,5 bi no Brasil. Disponível em : <http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/indiana-videocon-preve-investir-us-2-5-bi-no-brasil>. Acesso em jul.2015



EXAME, 2015d. Fundos trocam Brasil por Índia e China, aponta IIF. Disponível em : <http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/fundos-trocam-brasil-por-india-e-china-aponta-iif>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015e. Indonésia terá PIB maior que Brasil e Japão em 2050, diz EIU. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/indonesia-tera-pib-maior-que-brasil-e-japao-em-2050-diz-eiu>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015f. Economia da Rússia encolheu 3,2% em 5 meses, diz ministro. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/economia-da-russia-encolheu-3-2-em-5-meses-diz-ministro>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015g. Venezuela e Rússia assinam investimentos em petróleo e gás. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/venezuela-e-russia-assinam-investimentos-em-petroleo-e-gas>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015h. PIB da África do Sul cresce 1,3% no 1º trimestre de 2015. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/pib-da-africa-do-sul-cresce-1-3-no-1o-trimestre-de-2015>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015i. Empresa diz ter criado sistema de energia solar bem eficaz. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/empresa-diz-ter-criado-sistema-de-energia-solar-bem-eficaz>. Acesso em jul.2015

EXAME, 2015j. China é melhor país para energias renováveis; Brasil é 9º. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/china-e-melhor-pais-para-energias-renovaveis-brasil-em-9o>. Acesso em jul.2015

FARRELL, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, series A, v. 120, n. 3, p. 253-281.

FOLHA DE SÃO PAULO (2012). Eco92 x Rio+20: sem clima para utopia. Andrea Vialli: 5 de junho de 2012

G1, 2015a. Brasil deve cair para a 8ª posição em ranking de maiores PIBs, mostra FMI. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/05/brasil-deve-cair-para-8-posicao-em-ranking-de-maiores-pibs-mostra-fmi.html>. Acesso em jul.2015

G1, 2015b. China pretende alcançar crescimento econômico de 7% em 2015, diz premiê. Disponível em : <http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/03/china-pretende-alcancar-crescimento-economico-de-7-em-2015-diz-premie-20150304214503685821.html>. Acesso em jul.2015.



G1, 2015c. Emissões de CO2 param de subir no mundo pela primeira vez em 40 anos. Disponível em :<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/03/emissoes-de-co2-param-de-subir-no-mundo-pela-primeira-vez-em-40-anos.html>. Acesso em Set.2015

GARCÍA, J.L. (2013). EL TRILEMA ENERGÉTICO DEL WEC PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/trilema-energetico-abril-2013.pdf>. Acesso em jul.2015

GAZETA RUSSA (2013). Investimento em energia renovável na Rússia é baixo, dizem analistas. Disponível em : http://br.rbth.com/economia/2013/02/25/investimento_em_energia_renovavel_na_russia_e_baixo_dizem_analistas_17809.html. Acesso em jun. 2015

GOMES, E.C.; MELLO J.C.C.B.S.(2003). Avaliação da eficiência por Análise Envoltória de Dados: conceitos, aplicações a agricultura e integrações com os sistemas de informação geográfica. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite. Documento, vol. 2839p.

GREENING L. A., GREENE D. L. e DIFIGLIO C. (2000). Energy and consumption. Energy Policy, v 28, p. 389-401.

HU, J. L.; WANG, S. C. (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. Energy Policy, v. 34, n. 17, p. 3206-3217

International Energy Agency (IEA). 2013. “Medium-Term Renewable Energy Market Report 2012”. OECD/IEA, Paris.

JORNAL NACIONAL (2013). BRICS negociam criação do fundo emergencial de R\$ 200 bilhões. O Globo. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2013/03/brics-negociam-criacao-de-fundo-emergencial-de-r-200-bilhoes.html>. Acesso em: 03/04/2013.

MARIANO, E. B. (2008). Sistematização e Comparação de Técnicas, Modelos e Perspectivas não paramétricas de análise de Eficiência Produtiva. São Carlos, 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MAY, P.H. (2008). Como superar as condições entre crescimento e sustentabilidade? Inovações institucionais nos BRICS. In : DUPAS, G. Meio ambiente e crescimento econômico: Tensões estruturais. São Paulo: Ed. UNESP, 2008.

MEADOWS, D. H. et al (1972). The limits to growth. Nova Iorque: Universe Books.

MENDES, R. (2014). Diagnóstico ambiental da Matriz Energética Nacional a partir de indicadores de sustentabilidade. São Carlos, 2014.



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2014). Brasil é o 4º país em produção de fontes renováveis de energia. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/brasil-e-o-4-pais-em-producao-de-fontes-renovaveis-de-energia. Acesso em jul 2015

NARAYAN, P.K.; SMYTH, R.; PRASAD, A. (2007). Electricity consumption in G7 countries: A panel cointegration analysis of residential demand elasticities. **Energy Policy**, v. 35, p. 4485-4494..

OGGIONI, G., et al. (2011). Eco-efficiency of the world cement industry: A data envelopment analysis. **Energy Policy**, v. 39, p. 2842 – 2854.

PAO, H. T.; TSAI, C.M. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. **Energy Policy**, v.38, p. 7850 -7860

ROMEIRO, A. R. (2001). Economia ou economia política da sustentabilidade? **Unicamp**, n. 102. Campinas.

SACHS, I. (2004). Desenvolvimento incluyente, Sustentável, Sustentado. Rio de Janeiro; Garamond/Sebare

TONE, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 130, p. 498–509.

TRAVAGLINI, F. Brics aprovam criação do fundo comum no valor de US\$ 100 bi. **Estadão**. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/economia-brasil,brics-aprovam-criacao-de-fundo-comum-no-valor-de-us-100-bi,148463,0.htm> Acesso em : 20/08/2013.

TRAVAGLINI, F.; DANTAS, I. Mantega propõe criar banco do Brics em 2014. **Estadão**. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/economia-brasil,mantega-propoe-criar-banco-do-brics-em-2014,148453,0.htm> Acesso em : 20/08/2013

WATANABE, M.; TANAKA, K. (2007). Efficiency analysis of Chinese industry: a directional distance function approach. **Energy Policy**, v. 35, p. 6323–6331.

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

WORLD ENERGY COUNCIL. 2014 World Energy Issues Monitor. London: World Energy Council, 2014. p. 6. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/2014/world-energy-issues-monitor-2014/> Acesso em jul. 2015