

Análise de indicadores energéticos e Índices de Kaya da Arábia Saudita, Chile, Japão, Brasil e África do Sul

Eliane Amélia Valinho Abreu

Luis Henrique Borges

Geísa Pereira Marcilio Nogueira

João José de Assis Rangel

Grupo de trabalho: ST5 - Questões ambientais e sustentabilidade

Resumo: O objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise de indicadores energéticos e Índices de Kaya de países desenvolvidos e não desenvolvidos, observando suas características e especificidades. Os países que compuseram esta análise foram Arábia Saudita, Chile, Japão, Brasil e África do Sul. Os principais resultados demonstraram o comportamento de países desenvolvidos e não desenvolvidos com relação ao crescimento de sua economia comparada à produção de energia e à emissão de dióxido de carbono neste processo. Foram observados e destacados os processos de ganhos de eficiência energética nos países estudados.

Palavras chave: Energia primária. Produto Interno Bruto. Intensidade energética. Índices de Kaya.

1 Introdução

O perfil energético de um país remete a diversas questões como padrões de consumo, estilo de vida, localização, organização espacial e do aparelho produtivo, relações comerciais internas e externas, entre outras, que são capazes de impulsionar uma economia ou fragilizá-la (SACHS, 2007). Dessa forma, o consumo energético permite conhecer e caracterizar um país ou região, tornando possível identificar forças e fraquezas, além de estimativas de desenvolvimento (SCHUTTE, 2014).

Nesse contexto, a utilização de indicadores e índices contribuem para mensurar e avaliar diversos aspectos de uma sociedade, como questões energéticas, econômicas, ambientais, sociais e até culturais (SICHE et al., 2007). Os indicadores energéticos, tais como intensidade energética e eficiência energética, são tão relevantes no cenário internacional que classificam os países em função de sua capacidade de produção e consumo energético (ZOLFANI et al., 2013).

O aumento do consumo energético geralmente está relacionado ao crescimento ou desenvolvimento de um país ou região. Ou seja, à medida que um país consegue se desenvolver economicamente ou tecnologicamente, por exemplo, este tende a elevar seus níveis de consumo energético. Impreterivelmente, isso ocorre em países não desenvolvidos, os quais não conseguem desacoplar o crescimento econômico do consumo de energia (LIMA et al., 2016). Por outro lado, alguns países desenvolvidos já têm alcançado um desacoplamento desses indicadores, como demonstrado pelos Índices de Kaya (PAULISTA et al., 2017).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise sobre indicadores energéticos e Índices de Kaya de países desenvolvidos e não desenvolvidos, sendo: Arábia Saudita, Chile, Japão, Brasil e África do Sul.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta algumas informações relacionadas ao escopo desta pesquisa. A seção 3 descreve os materiais e métodos utilizados para a coleta de dados referente aos países estudados. A seção 4 aponta os principais resultados obtidos e discussões pertinentes. Por fim, a seção 5 contém as considerações finais da pesquisa.

2 A utilização da energia no mundo

A matriz energética mundial, segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA, da sigla em inglês *International Energy Agency*), está fortemente

Universidade Candido Mendes - UCAM Campos - <https://www.ucam-campos.br>

concentrada na queima de combustíveis fósseis (óleo, gás e carvão); cerca de 80% da energia produzida mundialmente é proveniente destas fontes.

É de conhecimento comum que a queima dos combustíveis fósseis para a obtenção de energia possui como maior inconveniente a emissão de grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. A emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), como o CO₂, tem despertado a preocupação das lideranças mundiais, considerando os problemas decorrentes das mudanças climáticas verificadas no planeta nos últimos anos, como por exemplo: a elevação do nível dos mares provocada pelo derretimento de grande massa de gelo nas regiões polares, o buraco na camada de ozônio e outras anomalias decorrentes do aumento da temperatura média do planeta (MASHAYEKH, 2012).

Com isso, surge uma necessidade que afeta a todos: uma mudança de comportamento, que deve consistir na busca sistemática do equilíbrio entre o crescimento econômico, a preservação ambiental e a busca pelo progresso social, na tentativa de reduzir as desigualdades sociais, principalmente nos países em desenvolvimento, ou na definição mais recente, países periféricos (LAH, 2017).

De qualquer modo, nenhuma das transições energéticas do passado se fez por causa do esgotamento físico de uma fonte de energia. A história da humanidade pode ser sintetizada como a história da produção e alocação do excedente econômico, ritmada por revoluções energéticas sucessivas. Todas elas ocorreram graças à identificação de uma nova fonte de energia com qualidades superiores e custos inferiores. Assim aconteceu com a passagem da energia da biomassa ao carvão e deste ao petróleo e gás natural (SACHS, 2007).

A matriz energética dos países estudados apresenta suas peculiaridades, segundo dados da IEA, entre anos de 1990 a 2015, conforme será descrito a seguir. Pode-se aferir que, na Arábia Saudita, maior produtor mundial de petróleo, a matriz energética é quase exclusivamente integrada pelos combustíveis fósseis, petróleo (67,8%) e gás (32,1%) e uma pequena parcela de biocombustíveis (0,003%).

No Chile, predomina a utilização do óleo (42,3%), carvão (19,8%) e gás (11,1%) acrescidos de parcela de biocombustíveis (20,2%), hidroelétricas (5,7%) e outras fontes de energia renováveis (0,9%), como a solar e a geotérmica.

O Japão, após o acidente na Usina de Fukushima, ocorrido em 2011, abandonou quase completamente a energia nuclear (0,6%), sendo relevante destacar

que, em 2010, a energia nuclear representava 15% da matriz energética do país. Segundo dados de 2015, o Japão concentrou sua matriz energética nos combustíveis fósseis, óleo (43%), carvão (27,3%) e gás (23,3%), além de pequenas parcelas de biocombustíveis (2,6%), hidroelétricas (1,7%) e outras fontes de energia renováveis (solar, geotérmica etc.) (1,5%).

Na África do Sul, a matriz energética está concentrada na queima dos combustíveis fósseis: carvão (67,8%), óleo (15,5%) e gás (3%); os biocombustíveis contribuem com 11,1% e a energia nuclear com 2,2%, as hidroelétricas e fontes geotérmicas e solares contribuíram com o restante (0,4%).

No Brasil, a matriz energética está assim distribuída: óleo (39,7%), gás (11,8%), carvão (5,9%), hidroelétricas (10,4%), biocombustíveis (29%), nuclear (1,3%), fontes geotérmicas e solares (0,8%) e outras fontes de energia contribuíram com (1,0%). A matriz relativamente mais limpa, o consumo per capita relativamente baixo e o fato de o Brasil ser um exemplo sem precedentes de um país que conseguiu uma redução drástica de emissão de GEE são fatores que podem desestimular uma reflexão crítica. Corre-se o risco de não incentivar a identificação e o aproveitamento de potenciais para ulteriores avanços realizados rumo a uma economia de baixo carbono. Tanto o não reconhecimento dos avanços realizados quanto a acomodação diante da comparação internacional dificultam a priorização de ações concretas para que o Brasil possa de fato se consolidar e afirmar sua posição de liderança na luta global rumo a uma economia de baixo carbono (SCHUTTE, 2014).

3 Materiais e métodos

Os países que compuseram a análise foram Arábia Saudita, Chile, Japão, Brasil e África do Sul. A escolha de cada país obedeceu a um critério de relevância no contexto internacional, sendo destacada uma característica marcante de cada país. A Arábia Saudita foi selecionada por se tratar do país que é o maior produtor e exportador de petróleo no mundo (IEA, 2017); o Chile, por ser um país sulamericano pertencente à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE e que possui uma economia sólida; o Brasil, por estar entre as principais economias da América do Sul; o Japão, por ser o segundo maior país desenvolvido do mundo e a terceira maior economia do mundo; por fim, a África do Sul, país não desenvolvido, localizado no extremo sul do continente africano, mas que contém diversas semelhanças com o Brasil, apesar de pertencer a outro continente.

Para a realização desse trabalho, utilizou-se o endereço eletrônico da Agência Internacional de Energia (IEA da sigla em inglês *International Energy Agency*), onde foram obtidas as informações necessárias para viabilizar a referida pesquisa. Assim, os dados coletados dos países sob investigação foram: suprimento total de energia primária; população; Produto Interno Bruto e Emissão de CO₂. O intervalo de tempo estudado teve início em 1990 e término em 2015, de acordo com a disponibilidade dos dados no site da IEA.

A partir dos dados coletados, a análise teve como base a elaboração de três gráficos para cada um dos países selecionados, os quais foram: intensidade energética e energia primária per capita e os Índices de Kaya. O primeiro refere-se à intensidade energética da economia, ou seja, à relação entre o suprimento total de energia primária e o Produto Interno Bruto (PIB), conforme mostrado pela Equação 1.

$$IE = \frac{E}{PIB} \quad (1)$$

Em que:

IE: Intensidade Energética;

E: Suprimento total de energia primária (Mtep = mega toneladas equivalentes de petróleo);

PIB: Produto Interno Bruto (bilhão de dólares americanos em 2010).

O segundo gráfico refere-se à razão do suprimento total de energia primária por habitante, conforme demonstrado na Equação 2.

$$EE = \frac{E}{P} \quad (2)$$

Em que:

EE: Eficiência energética;

E: Energia (Mtep = mega toneladas equivalentes de petróleo);

P: População (milhões de habitantes);

O terceiro gráfico utilizado demonstra a decomposição matemática dos Índices de Kaya ou Identidade de Kaya, empregado para quantificar as emissões de dióxido

de carbono (CO₂) em relação à população, à intensidade energética e à intensidade carbônica da energia, representada pela Equação 3.

$$C = P \times \frac{PIB}{P} \times \frac{E}{PIB} \times \frac{C}{E} \quad (3)$$

Em que:

C: Emissões de dióxido de carbono (MtCO₂);

P: População (milhões de habitantes);

PIB: Produto Interno Bruto (bilhão de dólares americanos em 2010);

E: Energia (Mtep = mega toneladas equivalentes de petróleo).

4 Perspectivas em relação aos países e às regiões estudadas

4.1 Arábia Saudita

A intensidade energética da economia da Arábia Saudita teve um crescimento no período de 1991 a 2015 na ordem 38%, o que demonstra, de acordo com a Figura 1, que o consumo de energia foi maior do que o seu crescimento econômico.

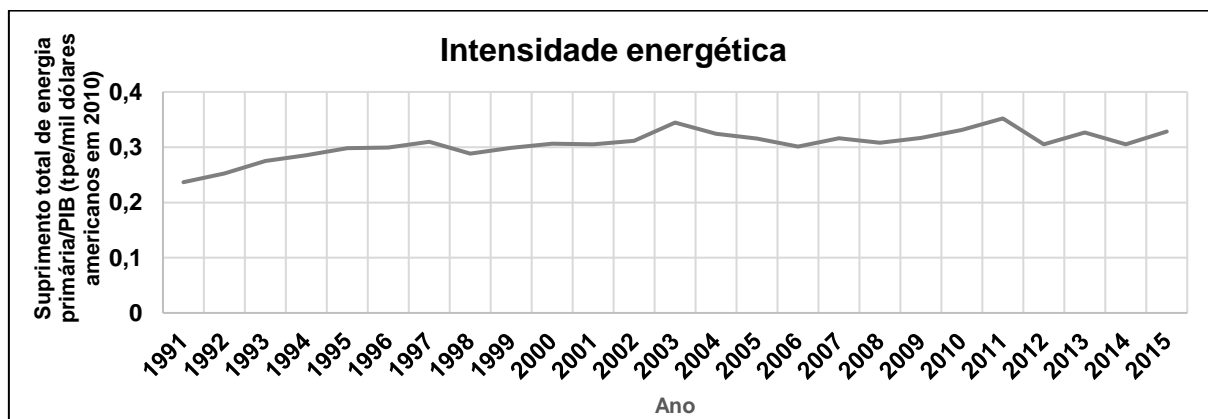


Figura 1: Evolução da intensidade energética da Arábia Saudita.
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

Conforme demonstrado na Figura 2, entre 1990 e 2015, os indicadores da eficiência energética, considerando a produção de energia per capita na Arábia Saudita, demonstrou um crescimento de, aproximadamente, 100%, ou seja, a população está consumindo mais energia com o passar do tempo, e os padrões se mostram elevados em relação à média mundial.

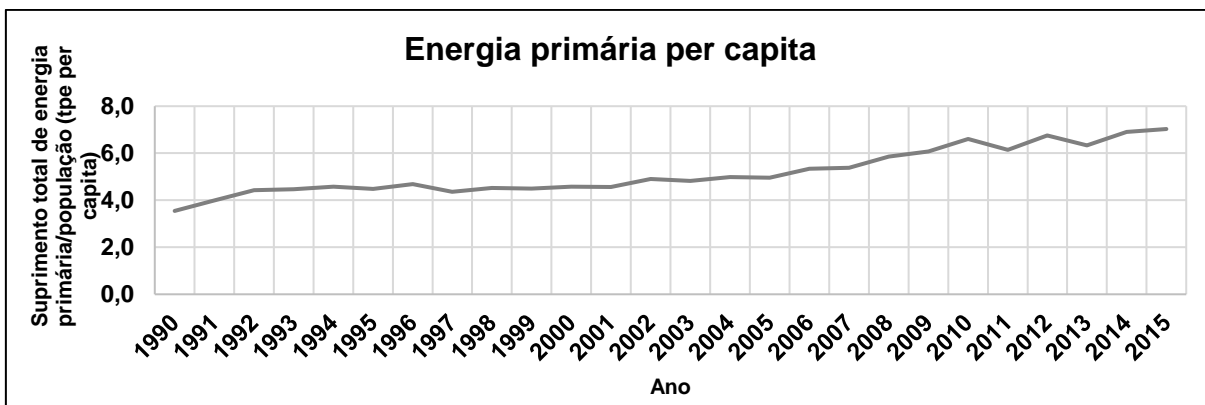


Figura 2: Evolução do suprimento total de energia primária da Arábia Saudita.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

De acordo com a Figura 3, no mesmo período, a Arábia Saudita, que possui uma economia baseada na exploração de petróleo e na geração de energia baseada no uso de combustíveis fósseis, apresentou os seguintes indicadores: a população quase dobrou, a renda per capita subiu em torno de 50%, a produção de energia teve um significativo aumento, equivalente a quase 300%. Ainda nesse período, observou-se um grande aumento na emissão de CO₂, mais de 200%. Com relação à intensidade de CO₂, esta se manteve, ou seja, não houve modificações na matriz energética. No tocante à intensidade energética, medida pela razão entre a produção de energia e o PIB, verificou-se um aumento de, aproximadamente, 50%.

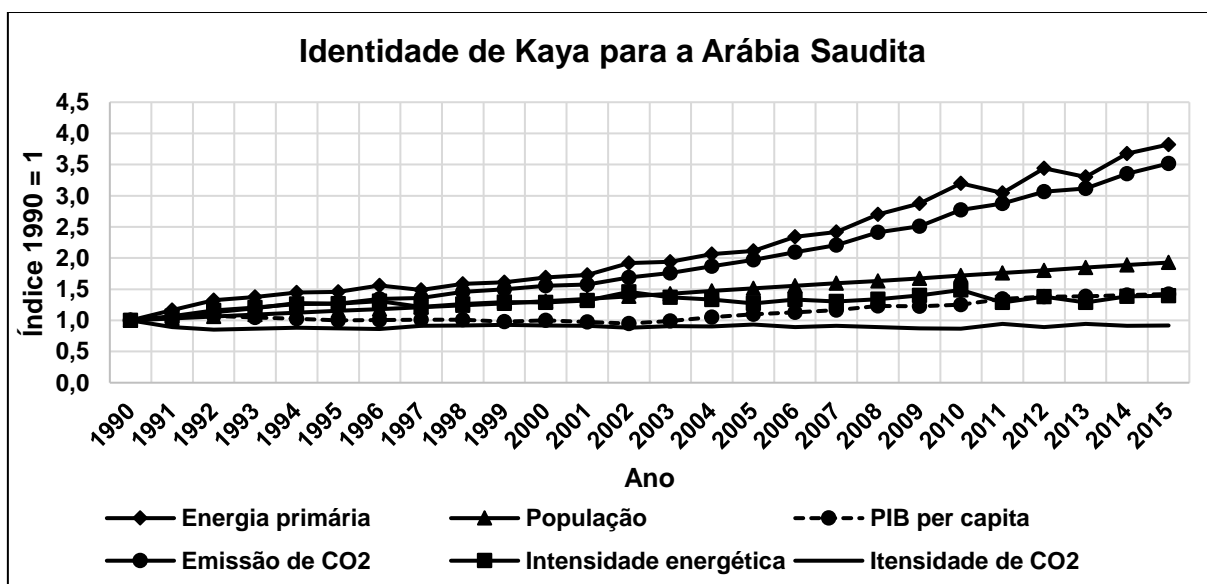


Figura 3: Desenvolvimento dos Índices de Kaya na Arábia Saudita.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

4.2 Chile

A Figura 4 mostra a intensidade energética da economia do Chile que teve, no período de 1990 a 2015, uma diminuição de 25%, o que demonstra que a economia chilena cresceu mais do que o seu consumo de energia.

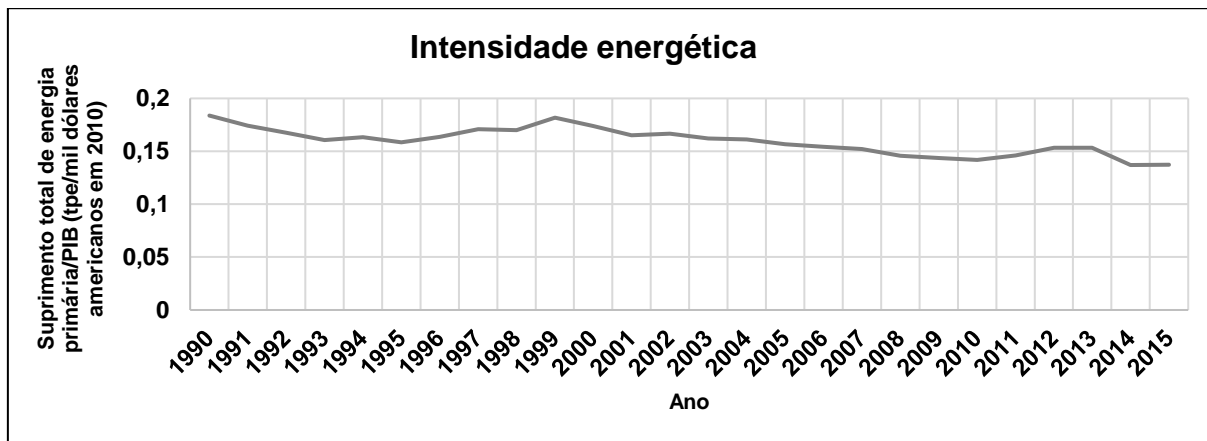


Figura 4: TPES (MTep)/GDP (bilhões US\$ 2010).
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

A Figura 5 mostra que, no Chile, durante o período estudado, o consumo de energia por habitante dobrou; contudo, a partir de 2013, ocorreu uma pequena queda e, atualmente, este indicador encontra-se estabilizado, demonstrando certa melhoria na eficiência energética do país.

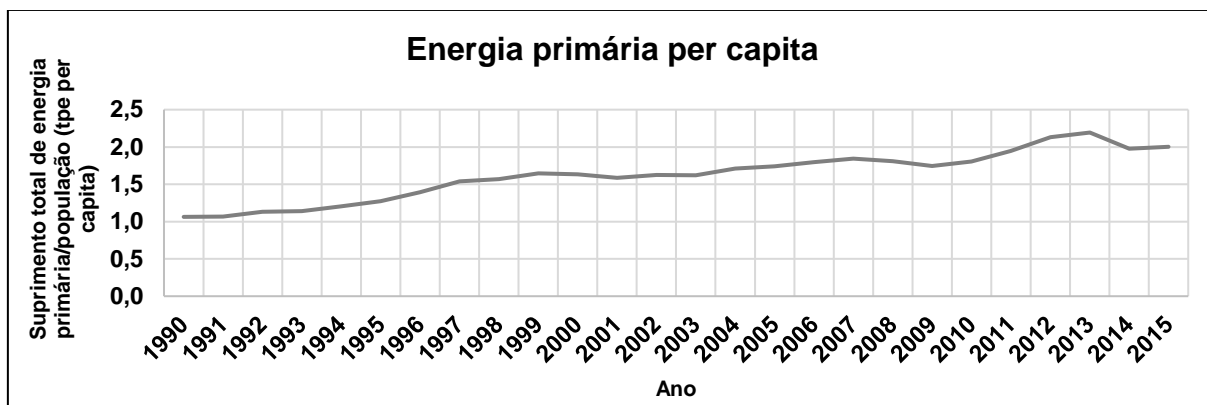


Figura 5: Evolução do suprimento total de energia primária do Chile.
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

No tocante aos outros indicadores, Figura 6, a população cresceu em torno de 40%, a renda per capita deu um salto próximo de 150%, de forma semelhante, a produção de energia aumentou em cerca de 150% e a emissão de CO₂, que teve o aumento mais significativo, cresceu próximo a 200%. A intensidade energética vem caindo desde 2002, e a intensidade de CO₂ tem-se mantido estável.

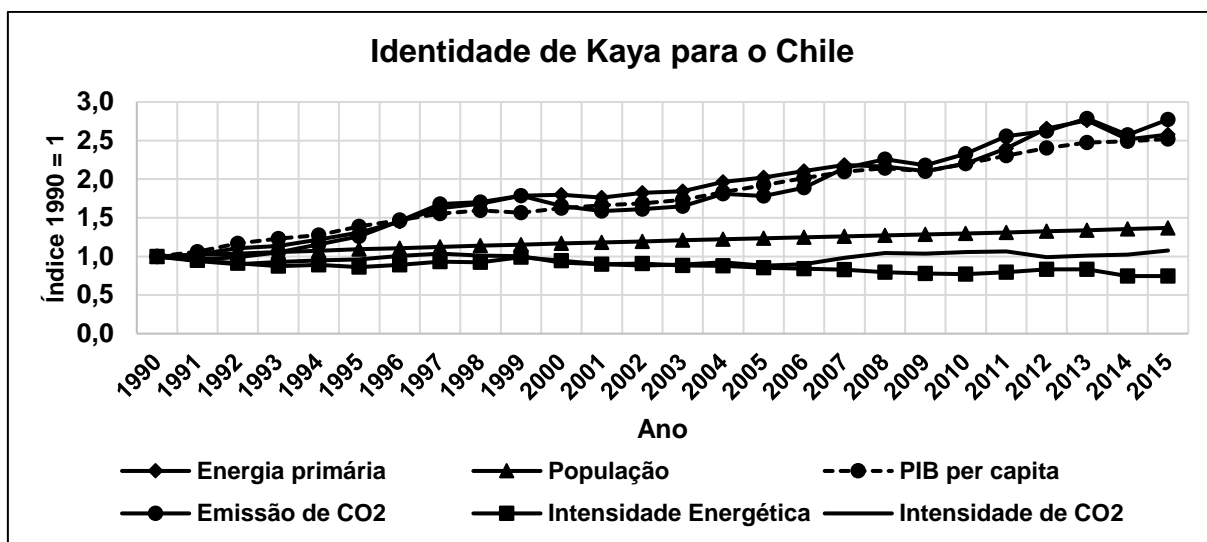


Figura 6: Desenvolvimento dos Índices de Kaya no Chile.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

4.3 Japão

A Figura 7 mostra que a intensidade energética da economia do Japão teve, no período de 1990 a 2015, uma diminuição de 23%, o demonstra que a economia japonesa cresceu mais do que o consumo de energia.

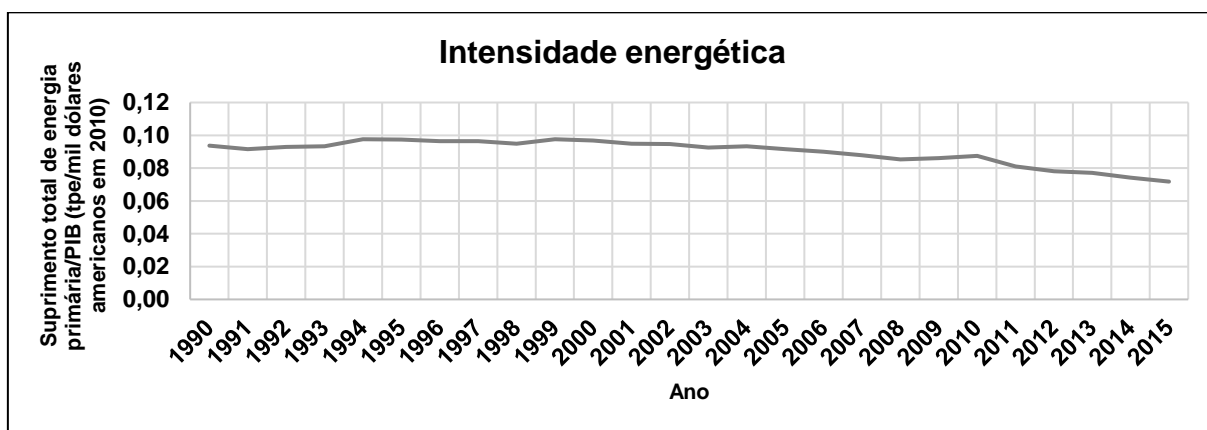


Figura 7: Evolução da intensidade energética do Japão.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

Conforme demonstrado pela Figura 8, dentre os países selecionados neste estudo, o Japão apresentou o melhor indicador de eficiência energética, com uma redução de 4,6%, ou seja, sua população gastou menos energia, processo que pode ser verificado desde o ano de 2007.

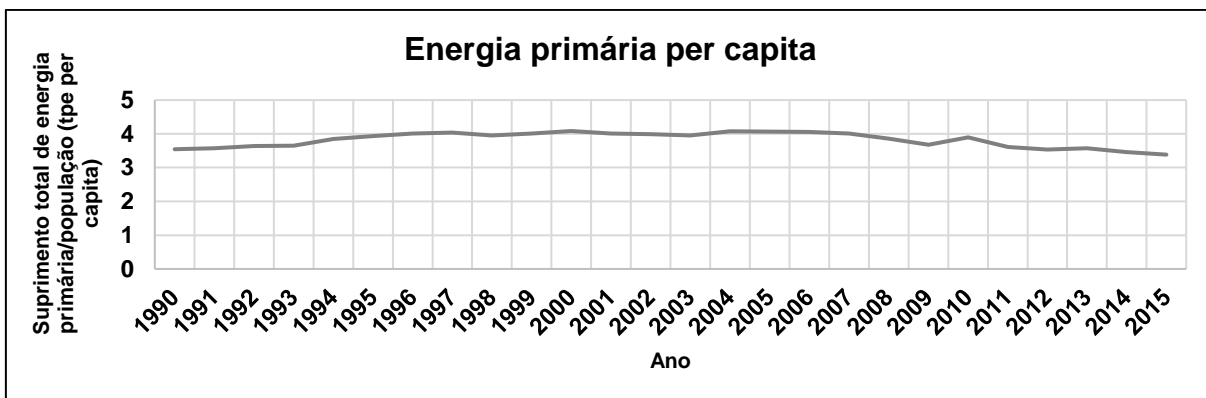


Figura 8: Evolução do suprimento total de energia primária no Japão.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

No período estudado, a população do Japão se manteve estável, com leve declínio a partir de 2007. A renda per capita, uma das mais altas do mundo, cresceu mais de 20%. A produção de energia cresceu até 2007, depois declinou, sendo que, em 2011, a redução foi mais intensa, provavelmente em razão do acidente de Fukushima. A emissão de CO₂ se manteve, com pequeno crescimento durante período estudado; entretanto, com tendência de queda nos últimos anos. A intensidade energética e a intensidade de CO₂ reduziram mais de 20% e 10%, respectivamente. O que pode ser explicado pela drástica mudança em sua matriz energética, ao abandonar a energia nuclear.

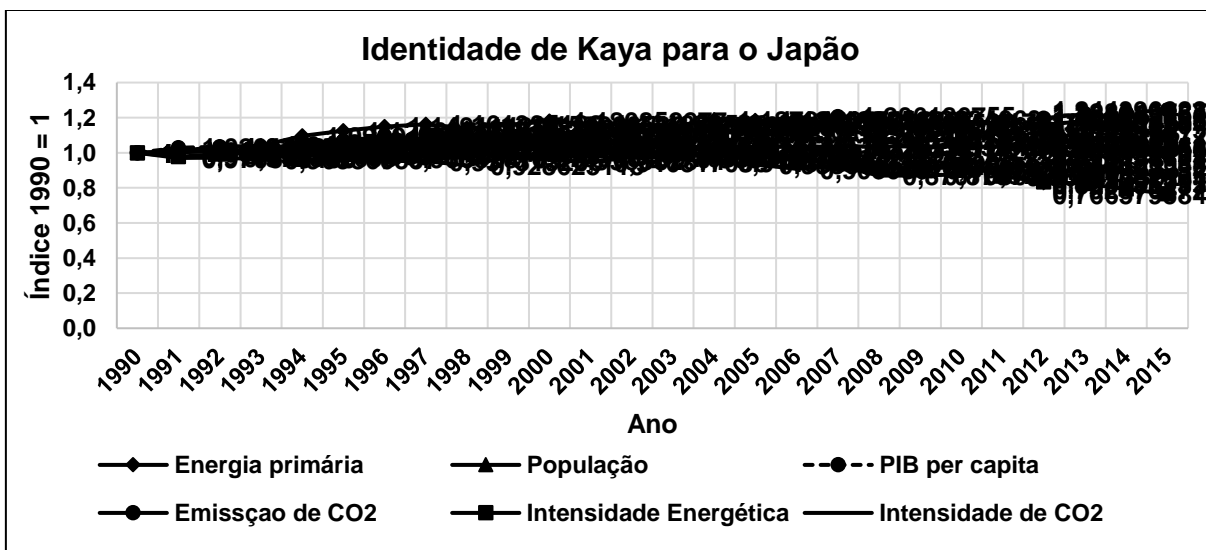


Figura 9: Desenvolvimento dos Índices de Kaya no Japão.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

4.4 Brasil

A Figura 10 mostra que a intensidade energética da economia do Brasil não teve, no período de 1990 a 2015, nenhuma variação expressiva, permanecendo em

torno de 0,12 tpe/mil dólares, o que demonstra que o país tem crescido economicamente às custas de elevada intensidade energética.

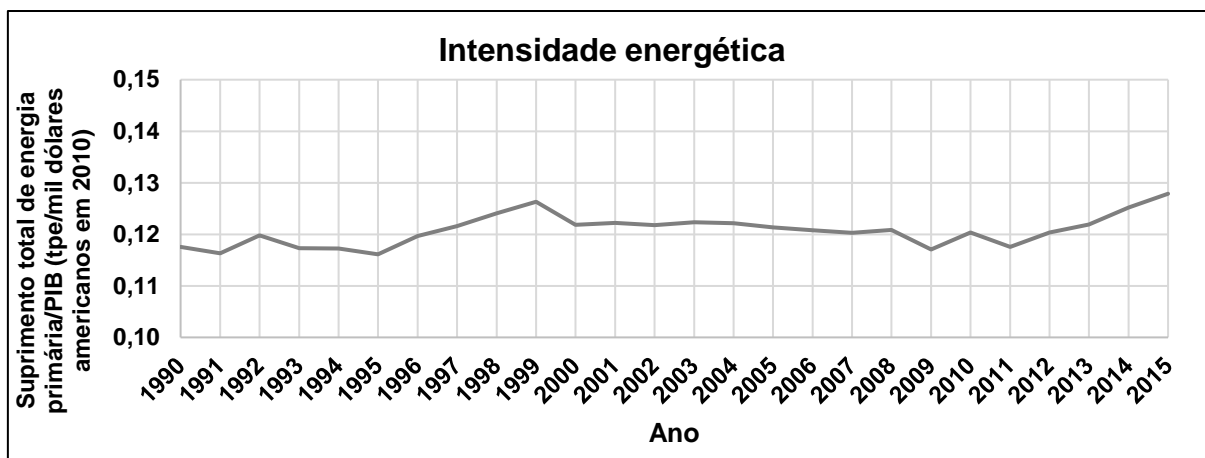


Figura 10: Evolução da intensidade energética do Brasil.
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

Conforme visto na Figura 11, o Brasil, em relação ao indicador de eficiência energética, durante o período estudado, apresentou um crescimento próximo a 50%, com ligeira queda no ano de 2015, o que pode ser explicado pelo momento de recessão econômica iniciada no país.

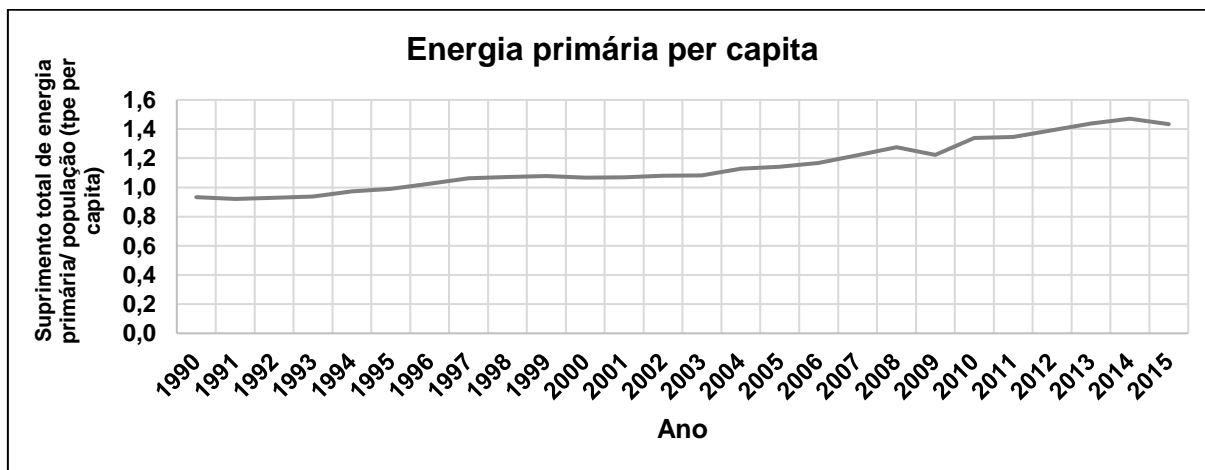


Figura 11: Evolução do suprimento total de energia primária no Brasil.
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

No mesmo período, conforme a Figura 12, a população cresceu cerca de 50%, o PIB per capita teve crescimento similar ao da população (50%), a geração de energia deu um salto de mais de 100% e a emissão de CO₂ também subiu, aproximadamente 150%. Apesar de a matriz energética brasileira ser relativamente limpa, a principal causa de emissão de gases do efeito estufa no Brasil são as queimadas das florestas e não a queima de combustíveis fósseis para produção de energia. A intensidade

energética manteve-se, pois a energia primária e o PIB cresceram no mesmo patamar. A intensidade carbônica de energia teve um pequeno crescimento, na ordem de 10%, o que pode ter ocorrido pelo acionamento das usinas termoeletricas nos períodos de estiagem.

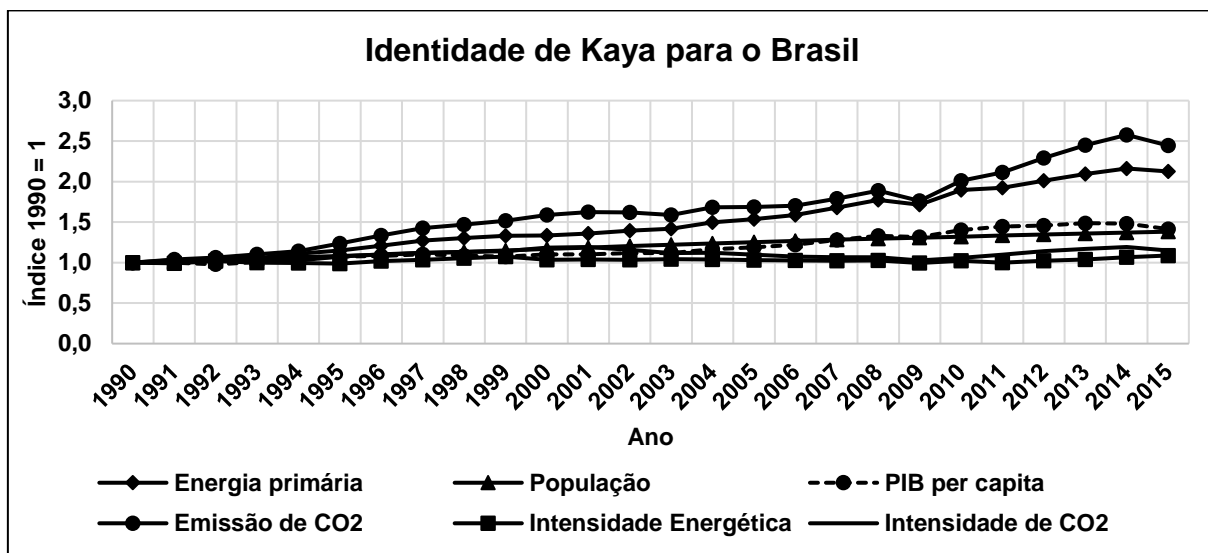


Figura 12: Desenvolvimento dos Índices de Kaya no Brasil.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

4.5 África do Sul

A Figura 13 mostra que a intensidade energética da economia da África do Sul, no período de 1990 a 2015, teve uma pequena diminuição, o que demonstra que o PIB do país tem crescido um pouco mais do que a produção de energia primária.

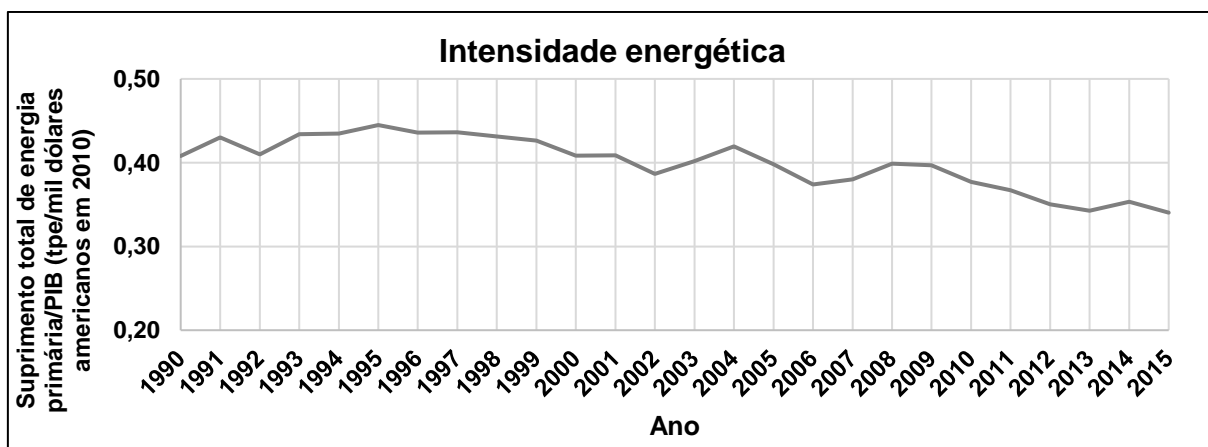


Figura 13: Evolução da intensidade energética da África do Sul.
 Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

A partir da Figura 14, observa-se que, na África do Sul, o indicador da eficiência energética teve uma pequena variação durante o período estudado. O mesmo Universidade Candido Mendes - UCAM Campos - <https://www.ucam-campos.br>

alcançou o seu ápice em 2008, e foi decrescendo até 2013. Experimentou um leve aumento em 2014, decrescendo novamente no ano seguinte.

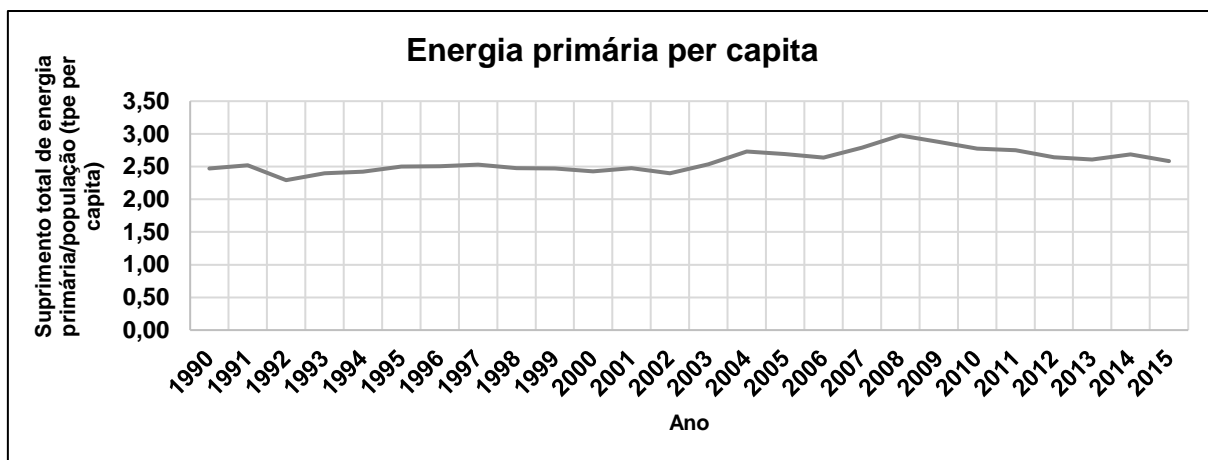


Figura 14: Evolução do suprimento total de energia primária da África do Sul.
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

De acordo com a Figura 15, com relação aos demais indicadores, a população cresceu quase 50%, o PIB per capita aumentou pouco mais de 25%, a produção primária de energia, no período, dobrou e a emissão de CO₂ aumentou 75%. A intensidade energética diminuiu 7% durante o período estudado, o que significa que o crescimento do PIB foi maior do que o crescimento da produção primária. A intensidade carbônica da energia teve um aumento de 12,3%.

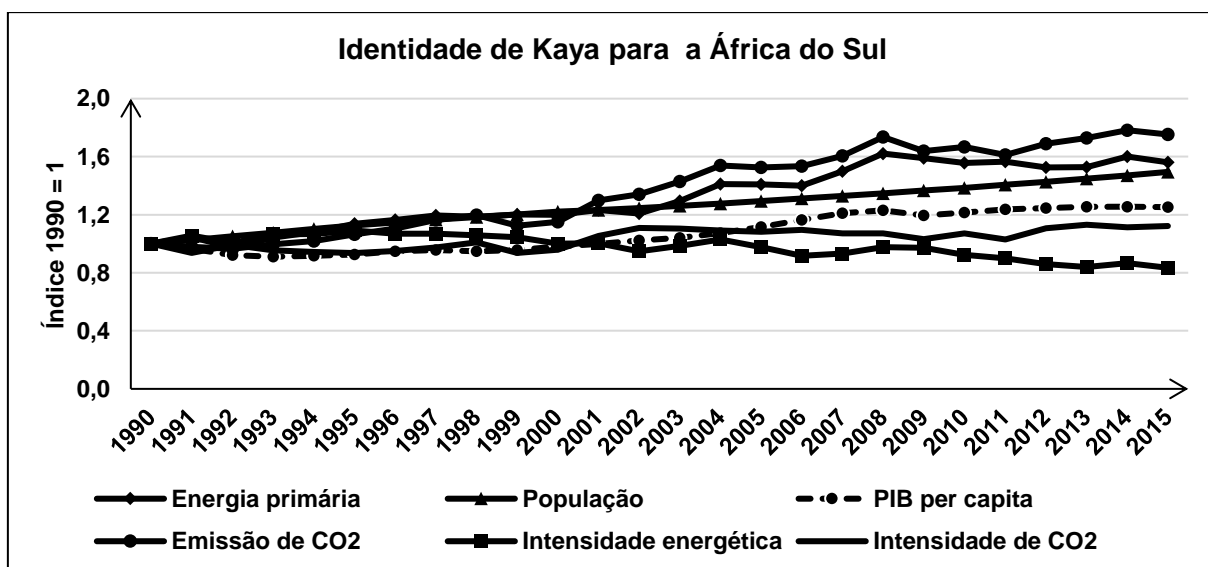


Figura 15: Desenvolvimento dos Índices de Kaya na África do Sul.
Fonte: Elaborado pelos autores segundo a base de dados da IEA (2017).

5 Considerações Finais

O estudo realizado sobre os indicadores energéticos e Índices de Kaya nos países Arábia Saudita, Chile, Japão, Brasil e África do Sul, no período de 1990 a 2015, mostrou a heterogeneidade que há entre países desenvolvidos e países não desenvolvidos. Os países com estabilidade econômica e desenvolvimento tecnológico apresentaram resultados mais positivos quando comparados com os países não desenvolvidos.

Com relação à Arábia Saudita, a mesma apresentou um considerável crescimento; a população passou a consumir mais energia, e os padrões se mostram elevados em relação à média mundial, apresentando alta renda per capita, aumento significativo na produção de energia; contudo, também teve aumento nas emissões de CO₂. Não obstante, a intensidade de CO₂ se manteve, o que torna possível o equilíbrio da matriz energética árabe.

O Chile apresentou bom indicador de intensidade energética da economia e demonstrou eficiência energética, o consumo de energia per capita aumentou; a partir de 2013, houve queda e, atualmente, se encontra estabilizado. A população e a produção de energia cresceram, a emissão de CO₂ também, porém sua intensidade vem se mantendo estável.

O Japão apresentou o melhor indicador de eficiência energética, com a população consumindo menos energia a cada ano. A renda per capita é uma das mais altas do mundo, e a produção energética cresceu até 2007, apresentou declínio logo após esse período e, em 2011, teve uma redução drástica; a emissão de CO₂ se manteve estável e com tendência de queda nos últimos anos, a intensidade energética e de CO₂ tiveram queda no decorrer dos anos.

O Brasil, apesar de seu potencial energético proveniente da diversificação de sua matriz energética, ainda necessita melhorar seus indicadores e aprender a se desenvolver economicamente sem aumentar a intensidade de emissões de CO₂.

A África do Sul, ainda que pertença a um continente não desenvolvido, com inúmeras divergências econômicas e sociais, tem alcançado melhores indicadores energéticos, principalmente pela redução da intensidade energética.

Os resultados apresentam o processo de desenvolvimento dos países, bem como suas características geográficas, todavia, alguns com alto índice de emissão de gases poluentes em decorrência do desenvolvimento econômico.

Referências

IEA Statistics. **CO2 Emissions from Fuel Combustion – Highlights**. 2016. Disponível em: <<http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>>. Acesso em: jul. 2017.

LAH, Oliver. Continuity and Change: Dealing with Political Volatility to Advance Climate Change Mitigation Strategies—Examples from the Transport Sector. **Sustainability**, v. 9, n. 959, p.1-13, 2017.

LIMA, Y. R. S.; MACHADO, T. S.; RANGEL, J.J.A. Desacoplamento entre as emissões de CO₂ e o PIB. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 2, n. 3, p. 37-53, 2016.

MASHAYEKH, Y.; JARAMILLO, P.; SAMARAS, C.; HENDRICKSON, C. T.; BLACKHURST, M.; MACLEAN, H. L.; MATTHEWS, H. S. Potentials for sustainable transportation in cities to alleviate climate change impacts. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 2529-2537, 2012.

PAULISTA, C. R.; MACHADO, T. S.; RANGEL, J. J. A. Análise da expansão da geração elétrica fotovoltaica e emissões de dióxido de carbono. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 3, n. 1, p.12-25, 2017.

SACHS, Ignacy. A evolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 21-38, 2007.

SCHUTTE, G. R. **Energia e desenvolvimento sustentável no Brasil: trajetórias recentes e perspectivas**. Energía Y Clima, 2014.

SICHE, R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, p.137-148, 2007.

ZOLFANI, S. H.; SAPARAUSKAS, J. New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system. **Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics**, v. 24, n. 5, p. 408-414, 2013.