



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - DEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL

FILOMENA NÁDIA RODRIGUES BEZERRA

SUSTENTABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

FORTALEZA

2016

FILOMENA NÁDIA RODRIGUES BEZERRA

SUSTENTABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Economia Agrícola

B469s Bezerra, Filomena Nádia Rodrigues
Sustentabilidade da Matriz Energética Brasileira / Filomena Nádia Rodrigues Bezerra. – 2016.
124 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos.

1. Energia renovável. 2. Energia não renovável. 3. Dependência Externa de Energia. 4.
Sustentabilidade. I. Título.

CDD: 338.1

FILOMENA NÁDIA RODRIGUES BEZERRA

SUSTENTABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Aprovada em: 08/04/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Vanglésio Aguiar (Membro externo)

Professor aposentado da Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, responsável pela minha existência,
proteção e fé.

Aos meus pais, Fátima e Lourival, minhas
maiores inspirações e exemplos de esforço e
dedicação para alcançar aquilo que julgamos
essencial na vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir viver uma vida com saúde e oportunidade de fazer o que gosto, da qual possibilitou dar continuidade à minha formação profissional, não somente isso, mas por me proporcionar momentos de felicidade e outros de dificuldades, que em suma só contribuíram para o fortalecimento das minhas atitudes.

À minha mãe, Maria de Fátima Bezerra da Silva, que além de ter me dado a oportunidade de vir ao mundo, sempre me incentivou a buscar os meus sonhos, por mais que aparecessem dificuldades ao longo do caminho e, principalmente por ser essa pessoa maravilhosa que sempre me apoiou nas escolhas que fiz. Agradeço ao meu pai Lourival Rodrigues da Silva (*in memoriam*), que apesar de não estar entre nós, eu sei bem o quanto ele estaria feliz por mais uma etapa vencida na minha vida. Minha gratidão a essas duas pessoas será eterna, as quais me deram simplesmente o direito de viver e me proporcionaram conhecer o significado da reciprocidade de um amor incondicional.

Aos meus irmãos: Alexsandra, Priscília, Flávio, André, Cícero, Railda e Jaqueline. Os quais fazem parte da minha vida, da minha história e, que sem eles eu estaria incompleta. Mesmo distantes, sabemos bem o quanto a amizade e o amor permanecerão fortalecendo nosso elo.

Em especial à minha “mãe-irmã”, Alexsandra, que desde o princípio me incentivou a fazer e buscar novos horizontes, da qual não mediu esforços para me mostrar que nós seremos o que queremos ser e que nossas escolhas farão parte do nosso futuro. Agradeço seu otimismo e sua perseverança, que tanto me inspiraram, serei eternamente grata.

À minha irmã de sangue e de alma, Priscília, pela sua amizade sincera e seu companheirismo durante nossa trajetória acadêmica e de vida, onde muitas vezes sua tranquilidade me acalmou mesmo nos momentos mais difíceis, e que mesmo distante eu sei bem o quanto nada mudou.

Ao meu irmão Flávio, pelo apoio durante minha trajetória acadêmica. Sou grata pela força e pelos momentos de descontração, que muitas vezes me fizeram rir, mesmo nos momentos mais difíceis. À minha cunhada Maristela, agradeço a amizade e compreensão ao longo da nossa convivência. Serei sempre grata aos meus anfitriões em Fortaleza.

Aos meus amigos que o Mestrado em Economia Rural me proporcionou: Janaildo, Jaqueline e Leiliane. Que desde o princípio fomos uma equipe, uma verdadeira família, da qual foi se fortalecendo a cada dia. Ao meu amigo Janaildo Soares de Sousa, o irmão paraibano que a vida me presenteou, que desde o princípio quando cheguei ao Mestrado se

mostrou presente, sempre com bom humor e boas risadas. Agradeço por me ensinar e compartilhar da sua perseverança e força de vontade, e isso ele sempre fez e faz com maior prazer. Obrigada pela companhia, amizade e parceria que sempre foi doada de coração. À minha amiga Jaqueline Saraiva de Lira, que apesar de já conhecê-la, nossa amizade foi se fortalecendo ao longo da nossa jornada de curso, agradeço o companheirismo, nossas conversas, nossos momentos de descontração e seu bom humor, sempre sem perder a piada, serei sempre grata por todos os momentos que vivemos. À Maria Leiliane de Sousa Sales, pela amizade e pelas opiniões sinceras, sempre marcando os compromissos às 07:00h, sua marca registrada, sou grata por nosso convívio, mesmo com momentos bons e ruins, dos quais tivemos que superar como desafios.

Às minhas amigas Laélba, Rafaela e Leila, que sempre se mostraram presentes no meu círculo de amizades, ainda que distantes, sou grata pelas nossas conversas, pela força de sempre e por compartilhar ótimos momentos de alegria e por me apoiar nos momentos difíceis. À Joilda, pela companhia e pelas boas risadas em todas as vezes que nos encontramos, desde quando nos conhecemos em Fortaleza.

Aos colegas de curso Rayssa, Daiane, Gilvan, Janaína e Clarissa, pelas experiências vividas e aprendizado que foram adquiridos ao longo dos dois anos. A todos aqueles que tive a oportunidade de conhecer durante minha passagem pelo Mestrado em Economia Rural: Mamadu, Evânio, Leonardo, Otácio, Alex, Ansu, Andréa, Janaína e Jennifer.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos, pelo apoio e credibilidade fornecidos durante a elaboração deste trabalho, o qual sempre se mostrou presente e disposto a compartilhar seu conhecimento. Serei grata eternamente por ter acreditado e me guiado no momento em que mais precisei. Como ele sempre diz: “A vida acadêmica não é um fim, e sim um meio para chegarmos aonde queremos”, obrigada pelos ensinamentos durante nosso elo acadêmico e de amizade, e por sempre levar o bom humor nas nossas reuniões.

À Prof^a. Dr^a. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima, por ser essa pessoa maravilhosa e sempre prestativa. Admiro sua crescente capacidade em ajudar as pessoas. Sou grata pelos seus ensinamentos e pela delicadeza de sempre.

Ao Dr. José Vanglésio Aguiar por aceitar o convite para participar da banca examinadora e pelas contribuições fornecidas.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará (MAER/UFC), pelo ensino, disciplina e estímulo à pesquisa, que foi fundamental para o meu desempenho ao longo dos dois anos intensos de curso. Em

particular, ao Prof. Dr. José César Vieira Pinheiro, agradeço pela experiência e ensinamentos compartilhados durante o nosso período de convivência.

Aos funcionários do Departamento de Economia Agrícola, João Beserra Neto, Maria Dermivan Nogueira de Souza e Margareth de Figueiredo N. Mesquita. Serei sempre grata pela confiança, pelas conversas e conselhos durante nosso convívio no MAER. Aos que tive oportunidade de conhecer no MAER, Dona Valda, Rafaela e Sr. Gular, mostraram-se sempre prestativos e com bom humor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro recebido com a concessão da bolsa de estudo durante o período de curso de Mestrado.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu desempenho profissional e acadêmico durante a minha passagem no Mestrado em Economia Rural.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.” (Albert Einstein)

RESUMO

A conjuntura energética mundial vem experimentando alterações, em virtude da disponibilidade dos recursos, das tecnologias implantadas, do custo de produção, das políticas adotadas pelos países, bem como da quantidade de reservas existentes e, recentemente, da necessidade de migração para fontes menos poluentes. Nessa perspectiva, o presente trabalho objetivou mensurar a evolução da composição e sustentabilidade econômica da Matriz Energética Brasileira, entre os anos de 1970 a 2014. De maneira específica a pesquisa buscou: avaliar a evolução da produção energética brasileira no período de 1970 a 2014; aferir o comportamento da oferta de energia e dependência externa energética no Brasil e verificar o impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro no período sob investigação. Os dados utilizados na pesquisa foram de natureza secundária e analisados em nível Brasil. Para estimar os índices optou-se pela técnica multivariada de Análise Fatorial, com decomposição em componentes principais. Diante dos resultados obtidos, observou-se que desde as crises do petróleo (1973 e 1979) a Matriz Energética Brasileira experimentou transformações, com destaque para a inserção de fontes renováveis. Em contrapartida, houve uma redução da produção de lenha, que em 1970 representava 64,2% das fontes renováveis, já em 2014 teve uma participação de apenas 9,1% da matriz renovável. Para as fontes não renováveis, destacaram-se o petróleo e o gás natural, que apesar dos incentivos para a redução de fontes de origem fóssil, apresentaram tendência de crescimento de 1970 a 2014. Constatou-se que, durante 25 anos (1970-1995) e, em 24 anos (1970-1994), o Brasil não apresentou um desempenho satisfatório na produção e na oferta *per capita* energética, respectivamente, apresentando elevada instabilidade ao longo do período. Entretanto, mesmo com o aumento na oferta energética, a dependência externa apresentou tendência ascendente, com uma Taxa Geométrica de Crescimento de 8,35% ao ano, atentando que mesmo com todos os investimentos alocados para alcançar a autossuficiência energética, a necessidade de importação se manteve em ascendência para suprir a demanda interna de energia. Além disso, a pesquisa mostrou que um aumento de 0,1 unidade na dependência externa aferida pelo IDEXT provoca, em média, uma redução de 0,545 unidade do índice do PIB brasileiro. Deste modo, a dependência de importação de energia causa efeito negativo na economia interna do país, dificultando o crescimento do produto agregado. Diante dessa conjuntura, permite-se afirmar que a Matriz Energética Brasileira, entre os anos de 1970 e 2014, não é sustentável economicamente no quesito fornecimento energético, havendo necessidade de importação para suprir a demanda interna por este importante insumo de

produção e de qualidade de vida. Além disso, a dependência externa crescente, tal como mensurada pelo IDEXT nesta pesquisa, provoca impactos negativos na formação da riqueza do país.

Palavras-chave: Energia renovável. Energia não renovável. Dependência Externa de Energia. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The world energy situation is undergoing changes due to the availability of resources, deployed technologies, the cost of production, the policies adopted by countries, and the amount of existing reserves and recently the need to move to cleaner sources. In this perspective, the present work aimed to measure the evolution of the composition and economic sustainability of the Brazilian energy matrix, between the years 1970 to 2014. In a specific way: to evaluate the evolution of Brazilian energy production in the period 1970 to 2014; assess the behavior of the energy supply and energy dependence on external in Brazil and check the impact of the index of external energy dependency (IDEXT) on the evolution of the Gross Domestic Product (GDP) in Brazil in the period under investigation. The data used in the study were of secondary nature and analyzed in level Brazil. To estimate the indices we opted for the multivariate technique of factorial analysis, with decomposition in main components. Considering the obtained results, it was observed that since the oil crises of (1973 and 1979) the Brazilian energy matrix experienced transformations, with emphasis to the insertion of renewable sources. In contrast, there was a reduction in the production of wood, which in 1970 accounted for 64.2% of renewable sources, already in 2014 had a share of just 9.1% of the matrix renewable. For non-renewable sources, stood out the oil and natural gas, which despite the incentives for the reduction of sources of fossil origin, the same presented a trend of growth from 1970 to 2014. It was found that, during 25 years (1970-1995) and in 24 years (1970-1994), Brazil has not presented a satisfactory performance in the production and supply of energy per capita, respectively, presenting high instability over the period. However, even with the increase in energy supply, the IDEXT presented upward trend, with a geometric rate of growth of 8.35%, considering that even with all the investment allocated to achieve the energy self-sufficiency, the need for import remained in ancestry to supply the domestic demand of energy. In addition, the survey showed that an increase of 0,1 unit in external dependence measured by IDEXT causes, in average, a reduction of 0.545 unit of the index in the Brazilian GDP. In this way, the dependence on energy imports cause negative effect in the internal economy of the country, making the product growth of aggregate. Faced with this situation, allows you to say that the Brazilian energy matrix, between the years 1970 and 2014, is not sustainable economically at delivering energy supply, and there is need for imports to meet the internal demand for this important production input and of quality of life. Moreover, the growing external dependence, as measured by IDEXT in this research, causes negative impacts in the formation of the wealth of the country.

Keywords: Renewable Energy. Nonrenewable Energy. External Dependence Energy. Sustainability.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Matriz Energética Mundial em 1973	55
Gráfico 2	Matriz Energética Mundial em 2012	56
Gráfico 3	Matriz Energética Brasileira em 1970	57
Gráfico 4	Matriz Energética Brasileira em 2014	58
Gráfico 5	Preços do barril de petróleo no mundo	84
Gráfico 6	Produção de energia primária renovável no Brasil	87
Gráfico 7	Produção relativa (%) de energia primária no Brasil	89
Gráfico 8	Produção de energia primária não renovável no Brasil	92
Gráfico 9	Quantificação dos grupos de acordo com o nível do índice	100
Gráfico 10	Índices energéticos no Brasil no período de 1970 a 2014	102
Gráfico 11	Dependência externa energética brasileira de 1970 a 2014	103
Gráfico 12	Índice da Dependência Externa de Energia (IDEXT) no Brasil (1970 a 2014)	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Axiomas da sustentabilidade	34
Quadro 2	Indicadores selecionados para o ISED	45
Quadro 3	Indicadores de sustentabilidade energética	46
Quadro 4	Indicadores de sustentabilidade da Matriz Energética Brasileira	67
Quadro 5	Descrição das fontes energéticas	68
Quadro 6	Estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	75
Quadro 7	Fontes energéticas renováveis e não renováveis	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Produção de energia renovável no Brasil, 1970 a 2014	85
Tabela 2	Produção de energia não renovável no Brasil, 1970 a 2014	90
Tabela 3	Componentes (cargas fatoriais), escores e comunalidades	94
Tabela 4	Variâncias e pesos utilizados na elaboração dos índices	97
Tabela 5	Índices parciais de Oferta e Produção de Energia (renovável e não renovável), respectivamente	98
Tabela 6	Índices agregados da Oferta e da Produção Energética e o Índice da Dependência Externa de Energia, IOE, IPE e IDEXT, respectivamente	100
Tabela 7	Coefficientes de ajuste do modelo	106
Tabela 8	Significância do modelo – ANOVA	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tripé da sustentabilidade	33
----------	---------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise dos Componentes Principais
AAE	Agência Ambiental Europeia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ACL	Ambiente de Contratação Livre
AF	Análise Fatorial
BEN	Balanco Energético Nacional
BLS	Bureau of Labor Statistics
CPI-U	Consumer Price Index
COP-21	21ª Conferência das Partes
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CO ₂	Dióxido de Carbono
CV	Coefficiente de variação
DS	Desenvolvimento Sustentável
DEEXTPETRO	Dependência externa de petróleo
DEEXTGN	Dependência externa de gás natural
DEEXTCM	Dependência externa de carvão mineral
DEPEXTE	Dependência externa de eletricidade
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEE	Gases do Efeito Estufa
IISD	International Institute for Sustainable Development
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IEA	International Energy Agency
IPREN	Índice da Produção de Energia Renovável
IPNREN	Índice da Produção de Energia Não Renovável
IOREN	Índice da Oferta de Energia Renovável
IONREN	Índice da Oferta de Energia Não Renovável
IPE	Índice de Produção Energética
IOE	Índice de Oferta Energética

IDEXT	Índice da Dependência Externa de Energia
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MME	Ministério de Minas e Energia
ONU	Organização das Nações Unidas
OPETROPERC	Oferta interna de energia a partir do petróleo e derivados <i>per capita</i>
OGNPERC	Oferta interna de energia a partir do gás natural <i>per capita</i>
OCMPERC	Oferta interna de energia a partir do carvão mineral <i>per capita</i>
ONRENPERC	Oferta interna de energia a partir de outras fontes não renováveis <i>per capita</i>
OHIDRAEPERC	Oferta interna de energia a partir da energia hidráulica e eletricidade <i>per capita</i>
OLENCVPERC	Oferta interna de energia a partir da lenha e carvão vegetal
OPCAPERC	Oferta interna de energia a partir dos produtos da cana-de-açúcar <i>per capita</i>
ORENPERC	Oferta interna de energia a partir de outras fontes renováveis <i>per capita</i>
Opep	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PPETROPERC	Produção de petróleo <i>per capita</i>
PGNPERC	Produção de gás natural <i>per capita</i>
PCVPERC	Produção de carvão vapor <i>per capita</i>
PONRENPERC	Produção de outras energias não renováveis <i>per capita</i>
PHIDRAPERC	Produção de energia hidráulica <i>per capita</i>
PLENPERC	Produção de lenha <i>per capita</i>
PPCAPERC	Produção de produtos da cana-de-açúcar <i>per capita</i>
PORENPERC	Produção de outras energias renováveis <i>per capita</i>
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPL	People, planet and profit
PSR	Pressure, State and Response
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
Proálcool	Programa Nacional do Alcool

PIB	Produto Interno Bruto
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TGC	Taxa Geométrica de Crescimento
tep	Tonelada equivalente de petróleo
TW.h	terawatt hora
U ₃ O ₈	Urânio
UNDESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Objetivos	25
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	25
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	25
2	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUAS VERTENTES	26
2.1	Introdução	26
2.2	O princípio do desenvolvimento sustentável: conceitos e definições	27
2.3	Dimensões da sustentabilidade	31
2.3.1	<i>Sustentabilidade na dimensão econômica</i>	37
2.3.2	<i>Sustentabilidade na dimensão social</i>	38
2.3.3	<i>Sustentabilidade na dimensão ambiental</i>	38
2.3.4	<i>Sustentabilidade na dimensão geográfica e cultural</i>	39
2.3.5	<i>Sustentabilidade na dimensão institucional</i>	40
2.4	Elaboração de indicadores de sustentabilidade	40
2.5	Mensuração da sustentabilidade a partir de indicadores energéticos	43
3	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ENERGIA	48
3.1	Energia e sociedade: contexto mundial e brasileiro	48
3.2	Matriz energética: realidade mundial e brasileira	53
3.3	Planejamento energético: ferramenta de direcionamento da matriz energética brasileira	59
3.4	Reforma no setor elétrico brasileiro	63
3.5	Dualidade entre dois paradigmas	64
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	66
4.1	Delimitação da área de estudo	66
4.2	Base de dados	66
4.2.1	<i>Tratamento dos dados</i>	68
4.3	Método de análise	70
4.3.1	<i>Descrição da Análise Fatorial(AF)</i>	71
4.3.2	<i>Ajustamento da Análise Fatorial</i>	73
4.3.3	<i>Extração dos fatores</i>	75
4.3.4	<i>Rotação dos fatores</i>	75
4.3.5	<i>Indicadores incluídos na Análise Fatorial</i>	76
4.4	Taxa Geométrica de Crescimento (TGC)	79
4.5	Mensuração da estabilidade dos índices	80
4.6	Análise do impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB)	80
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
5.1	Trajatória evolutiva da matriz energética brasileira	83
5.1.1	<i>Produção de energias renováveis</i>	84
5.1.2	<i>Produção de energias não renováveis</i>	89
5.2	Análise do fornecimento energético brasileiro	92

5.2.1	<i>Resultados da Análise Fatorial</i>	93
5.2.2	<i>Extração e rotação dos fatores</i>	93
5.2.3	<i>Elaboração dos índices</i>	97
5.3	Impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro	106
6	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	111
	ANEXO - MODELO FATORIAL EXPRESSO EM NOTAÇÃO MATRICIAL	119
	APÊNDICE - ANÁLISE FATORIAL: TESTES KMO E DE ESFERICIDADE	121

1 INTRODUÇÃO

A trajetória de desenvolvimento da humanidade acarretou a necessidade de melhores índices de conforto e longevidade em virtude de sua evolução, sendo citados como exemplos: o avanço tecnológico na agricultura, na medicina, entre outras áreas das ciências. Em contrapartida, o crescimento populacional no planeta vem aumentando anualmente e, com isso, torna-se necessário elevar a procura por mais recursos energéticos, fator responsável por causar impactos ambientais que, paradoxalmente, diminui a qualidade de vida da população. (LOPES, 2009). Assim, a modernidade caracteriza-se, entre outros fatores, pela consciência de que a ação humana no mundo pode colocar o planeta em risco e, por consequência, sua própria existência.

A escala evolutiva acerca da Revolução Industrial revelou a capacidade humana de transformar o estilo de vida das sociedades, por meio da substituição da habilidade e esforços humanos pelas máquinas. (LANDES, 1969). Novas descobertas possibilitaram encontrar outras opções de recursos energéticos. Assim, novas tecnologias de conversão e uso da energia passaram a dar origem às cadeias de suprimento energético cada vez mais complexas, fazendo com que a energia passasse a assumir um papel estratégico para o desenvolvimento das nações. (MARTIN, 1992).

Como fator natural dessa evolução no mundo industrializado, o uso da energia se tornou a força motriz das atividades econômicas e sociais desenvolvidas pelo homem. Assim, é válido afirmar que existe um elevado grau de correlação entre o consumo de energia, crescimento econômico e nível de desenvolvimento. Foi mostrado no trabalho de Carminati e Scalco (2013), que as políticas públicas as quais têm em vista aumentar ou estimular o investimento em infraestrutura, dentre elas a energética, podem servir como instrumentos para promoção do crescimento econômico, em longo prazo. De forma inversa, interrupções na oferta de energia podem causar sérias perdas econômicas e financeiras ao país.

Após as crises do petróleo, na década de 1970, o suprimento energético ficou comprometido. Essa problemática trouxe a necessidade de se buscar novas possibilidades para o setor energético, em que o planejamento começou a ampliar seu escopo. Como consequência, a demanda e oferta de energia começaram a ser investigadas de modo mais sistematizado e desagregado, o que provocou um maior conhecimento tanto das características do mercado consumidor (tecnologias, hábitos de consumo, etc.), como as do sistema energético e suas perspectivas de expansão. Nisso, a instabilidade do preço do barril de petróleo admite que o sistema energético fique a mercê de um cenário de alta

vulnerabilidade, caracterizado por mostrar fragilidades, devido às constantes oscilações dos preços ao longo dos anos, como está acontecendo atualmente com os baixos preços no âmbito internacional.

Em razão desse cenário de instabilidade, houve a necessidade de se buscar novas fontes de energia que suprissem um novo modelo energético com maior eficiência. Deste modo, a inserção de recursos renováveis no planejamento energético é uma forma de mitigar os impactos ambientais provocados pela produção e uso de energia e, assim, alcançar as metas estabelecidas em consenso pelos países, bem como no Protocolo de Quioto¹ e, mais recentemente, na 21ª Conferência das Partes (COP-21)², ocorrida em Paris, França.

O aumento da demanda por recursos energéticos é um fator comum mundialmente, assim como no Brasil, o qual contribui para que os sistemas de produções atuais e padrões de consumo sejam insustentáveis, haja vista a maior parcela do consumo de energia global ser dominada por combustíveis fósseis. (JORGENSEN *et al.*, 2005). Nessa concepção, a eficiência e a conservação de energia podem reduzir o consumo de recursos, no entanto, outras fontes de energia serão necessárias.

Diante deste cenário, o Brasil, atualmente, vem passando por uma séria crise energética, em razão de matriz, que é pouco diversificada e altamente dependente de recursos hídricos como principal insumo para geração de energia, o que se torna um risco diante das previsões de escassez. Outro fator, é que, no país, há uma necessidade de se atingir um melhor planejamento estratégico para o setor energético, uma vez que ainda há incidência de atrasos – causados por projetos ruins, demora em licenciamentos ambientais, dificuldades financeiras e outras questões de responsabilidade do governo ou das empresas – os quais impedem o andamento das construções dos parques geradores e entrega das linhas de transmissão.

É válido frisar que, a partir do cenário energético, a definição de desenvolvimento sustentável é, sem dúvida, um dos conceitos mais divulgados na atualidade, o qual tem por finalidade atender a eficácia econômica e, simultaneamente, os requisitos de ordem ecológica, social, cultural, tecnológica e política, garantindo mais saúde, conforto e conhecimento, sem exaurir os recursos naturais do planeta. (SACHS, 2004; WCED, 1987). Exige a satisfação das necessidades básicas e amplia a todos a oportunidade de satisfazer as suas aspirações a uma

¹ Protocolo foi assinado em Kyoto (Japão), em 1997, teve como objetivos firmar acordos e discussões internacionais para conjuntamente estabelecer metas de redução na emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente por parte dos países industrializados, além de criar formas de desenvolvimento de maneira menos impactante àqueles países em pleno desenvolvimento.

² Tratado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC - sigla em inglês), que rege medidas de redução de emissão de dióxido de carbono a partir de 2020. O acordo foi negociado durante a COP-21, em Paris e foi aprovado em 12 de dezembro 2015.

vida melhor, quando este conceito estiver ligado à inserção de novos modelos energéticos que cause menos impactos.

Um dos grandes desafios da sustentabilidade é criar instrumentos de mensuração, tais como elaboração de indicadores, os quais são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis. Estas, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem. Estes indicadores são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado. Entretanto, a complexidade do conceito de sustentabilidade, com suas múltiplas dimensões e abordagens, tem dificultado a utilização mais consciente e adequada destas ferramentas.

A partir desta contextualização, o presente trabalho está direcionado à Matriz Energética Brasileira, no âmbito da sustentabilidade econômica do fornecimento energético. Apesar de ser considerada sustentável por vários órgãos nacionais e internacionais, por deter uma maior participação de fontes renováveis de energia, essa é apenas uma condição necessária para afirmar que é sustentável, mas não suficiente como pré-requisito básico para tal classificação. Nessa concepção, faz-se necessário questionar: até que ponto essa sustentabilidade é viável para um planejamento energético que consiga suprir a oferta interna de energia sem dependência externa desse recurso, não apenas para metas de curto prazo, mas principalmente para médio e longo prazo?

Esse questionamento não se refere apenas ao fornecimento de energia para uma estimada e crescente demanda, mas também se essa dependência de suprimento poderá causar impactos no crescimento econômico do Brasil. Nisso, faz-se necessário testar as hipóteses: a) quanto melhor a produção interna de energia, menor será a dependência externa e b) uma maior dependência externa de energia possivelmente provocará impacto negativo no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro.

A intensa exploração de reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os prejuízos ambientais trazidos pelo uso de recursos energéticos pressupõem um cenário preocupante para o século 21. Há tendências globais para métodos de produção mais sustentáveis (minimização de desperdícios, redução da poluição e de emissões de gases tóxicos, conservação de recursos naturais), devido a real necessidade de mudança, já que os combustíveis fósseis devem se exaurir ou ficar com preços elevados num horizonte de 50 anos, lembrando que a exploração de petróleo é limitada. (AZEVEDO *et al.*, 2007).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Mensurar a evolução da composição e sustentabilidade econômica da Matriz Energética Brasileira, entre os anos de 1970 a 2014.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a evolução da produção energética brasileira no período de 1970 a 2014;
- Aferir o comportamento da oferta de energia e dependência externa energética no Brasil;
- Verificar o impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro no período sob investigação.

2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUAS VERTENTES

Neste capítulo, as seções seguintes mostrarão os conceitos e definições acerca do que vem sendo estudado na literatura, no que se refere ao Desenvolvimento Sustentável e à mensuração da sustentabilidade.

2.1 Introdução

O surgimento de quatro temas-chave nas preocupações e pretensões coletivas dos povos no mundo na última metade do século XX foi importante na contextualização de temáticas, tais como: paz, liberdade, desenvolvimento e meio ambiente. (SILVA, 2012). Tomando por base alguns dos principais temas relevantes na escala de evolução das sociedades, um deles é a paz. Idealizada para prevalecer no mundo do pós-guerra de 1945, foi imediatamente ameaçada pela corrida às armas nucleares que tiveram grande expressão na Guerra Fria, embora o número de conflitos obtivesse uma significativa redução nas últimas décadas. A busca pela paz não é um fato do passado, infelizmente em algumas regiões do mundo essa é uma realidade bem atual, principalmente na África Central e no Oriente Médio.

No quesito liberdade, a sua procura tem sido proclamada ao longo dos anos, sendo algumas das causas: a luta contra as desigualdades sociais, na aquisição dos Direitos Humanos, nos direitos das mulheres e das minorias étnicas, entre outras causas de significativa relevância.

A partir do amadurecimento dos dois primeiros conceitos, o desenvolvimento surge como o principal ideal por parte dos países, tanto os desenvolvidos que já o procuravam, como os países em desenvolvimento, com baixo Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* e com grandes desigualdades. Contudo, cerca de 800 milhões de pessoas ainda vivem na pobreza e sofrem com a fome, apesar de as Metas de Desenvolvimento do Milênio da Organização das Nações Unidas (ONU) serem a iniciativa contra a pobreza mais bem-sucedida da história. O número de pessoas que vivem na pobreza extrema, com menos de US\$ 1,25 por dia, diminuiu mais da metade - de 1,9 bilhão para 836 milhões em 1990 - segundo a ONU, em um relatório que analisou oito objetivos de desenvolvimento estabelecidos na Declaração do Milênio, em 2000. Apesar dos recentes progressos na redução da pobreza, mais de 2,2 milhões de pessoas continuam a viver em situação de pobreza multidimensional ou quase. (PNUD, 2014).

Foi finalizado, assim, o ciclo das principais temáticas relacionadas ao meio ambiente, o qual teve maior notoriedade nos últimos 50 anos. O referido tema tornou-se,

inclusive, um dos mais relevantes nas economias mundiais, servindo até mesmo como vetor de desenvolvimento da sociedade - a partir da elaboração de novas regulamentações por meio de uma legislação específica, dada a ênfase na utilização dos recursos naturais na busca por um crescimento econômico, principalmente a mudança no entendimento e fixação de acordos para preservação do meio ambiente.

É válido frisar que a partir da busca pelo entendimento de como a humanidade poderia melhorar as condições de vida e do meio ambiente, é que surgiram as comissões mundiais interessadas em estudar novas formas de alcançar as aspirações da humanidade, mais nítida a partir da década de 1970 e 1980, momento em que foi possível produzir documentos válidos e realizar diversas conferências mundiais. Nessa perspectiva, este fato contribuiu como ponto de partida para o surgimento de um novo conceito, do termo “Desenvolvimento Sustentável” que é resultado do compromisso na procura de um desenvolvimento em consonância com o meio ambiente.

2.2 O princípio do desenvolvimento sustentável: conceitos e definições

Até a década de 1970, as teorias de desenvolvimento econômico idealizadas para interpretar o capitalismo não levavam em conta os componentes ambientais como parte do processo, fossem eles renováveis ou não, tais como o esgotamento dos recursos naturais, a poluição ou a destruição dos ecossistemas. A desconsideração desses aspectos deve-se, sobretudo, ao fato de que, até aquele momento, a pressão das atividades humanas sobre o meio ainda não havia atingido um nível crítico. Essa realidade começou a tomar um caminho diferenciado a partir dos anos 1970, quando as questões do meio ambiente e dos recursos naturais passaram a configurar um problema para a humanidade, para só então começarem a ser entendidas e tratadas enquanto tais no âmbito das teorias econômicas. (FERNANDEZ, 2011).

Na busca pela inclusão e valorização dos recursos naturais na economia, para alguns autores da época de transição do conceito de desenvolvimento e meio ambiente, foi necessário fundamentar essa ideia a partir de quatro pensamentos, considerados como os grandes paradigmas. Para Faucheux e Noël (1995), cada um deles representa uma atitude no que concerne ao posicionamento da atividade econômica frente à natureza. A primeira abordagem, considerada preservacionista ao extremo, concentra seu foco na defesa da preservação total da

biosfera – também chamada de *Deep Ecology*³. Esse movimento tende a abandonar todas as considerações econômicas e sociais, desencadeando conclusões e preceitos extremamente rígidos de direitos éticos equivalentes, como por exemplo: entre seres humanos e não humanos.

Há uma diferenciação entre ecologia profunda (*deep ecology*) e ecologia superficial (*shallow ecology*). Na ecologia superficial, o objetivo central é a afluência e a saúde das pessoas, juntamente com a luta contra a poluição e a depleção de recursos. Já o foco da ecologia profunda se concentra no igualitarismo biosférico e nos princípios da diversidade, complexidade e autonomia.

Uma segunda corrente é representada pelo modelo neoclássico, que se fundamenta na mecânica clássica, assume um mundo que se deixa explicar única e exclusivamente por suas dimensões quantificáveis. De acordo com essa abordagem, as modificações qualitativas ficam excluídas, portanto, esse modelo dá total abertura para uma intervenção ilimitada do homem sobre o universo físico.

Nesse contexto de fundamentação de novos paradigmas, surge a terceira corrente, desenvolvida a partir da introdução do conceito de entropia na análise do fenômeno econômico. Idealiza os problemas ambientais como barreiras insuperáveis, defendendo uma posição conservacionista, ou seja, a partir da ideia de crescimento zero ou estado estacionário.

A quarta vertente - Ecodesenvolvimento ou Desenvolvimento Sustentável - representa uma posição de compromisso valorativo ético e ecológico dividido entre a economia, por um lado, e os recursos naturais e o meio ambiente, por outro.

De acordo com Brüseke (1995), determinados pontos importantes na discussão desse conceito foram elencados neste século, podendo ser citados os seguintes: o relatório sobre os limites do crescimento, publicado em 1972; o surgimento do conceito de ecodesenvolvimento, em 1973; a declaração de Cocoyok, em 1974; o relatório da Fundação Dag-Hammarskjöld, em 1975 e, finalmente; a Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992.

Em 1973, surgiu pela primeira vez o termo *ecodesenvolvimento*, colocado como alternativa da concepção clássica de desenvolvimento. Seu surgimento foi influenciado pela polêmica gerada na primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo, entre aqueles que defendiam o desenvolvimento a qualquer preço, mesmo pondo

³ O movimento da Deep Ecology foi iniciado por Arne Naess, filósofo Norueguês que em 1972 escreveu o texto “*The Shallow and Deep Long Range Ecology Movements*”. Através do termo *deep*/profundo ajudou a criar os fundamentos teóricos para uma teoria ecologista.

em risco a própria natureza e os partidários das questões ambientais. O termo foi proposto por Maurice Strong, Secretário da Conferência de Estocolmo e, em seguida, ampliado pelo economista Ignacy Sachs, a partir de 1974. Este, além da preocupação com o meio ambiente, incorporou as devidas atenções às questões sociais, econômicas, culturais, de gestão participativa e ética.

Na definição dada por Sachs (2007), para um determinado país ou região, o ecodesenvolvimento significa o desenvolvimento endógeno e dependente de suas próprias forças, tendo como finalidade responder à problemática da harmonização dos objetivos sociais e econômicos do desenvolvimento com uma gestão ecologicamente prudente dos recursos e do meio.

De acordo com o autor, o conceito de ecodesenvolvimento vai além da única e exclusiva preocupação em produzir bens e serviços, sem tomar as devidas precauções necessárias em relação ao ambiente utilizado, assim como faz a visão capitalista exacerbada, a qual não toma como referência o equilíbrio entre a natureza e o processo de produzir riquezas. Essa mudança na forma de entender um novo conceito de desenvolvimento, só veio à tona após inúmeras ações de degradação do meio ambiente, tornando mais do que visíveis os impactos causados pela atuação antrópica.

Embora os termos sejam muitas vezes utilizados como sinônimos, para Maimon (1992) não é bem assim. A diferença básica entre ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável reside em: o primeiro volta-se ao atendimento das necessidades básicas da população, através de tecnologias apropriadas a cada ambiente, partindo do mais simples ao mais complexo; o segundo apresenta a ênfase em uma política ambiental, a responsabilidade com gerações futuras e a responsabilidade comum com os problemas globais.

Surgido na década de 1980, o termo desenvolvimento sustentável (DS) emergiu da relação entre preservação do planeta e atendimento das necessidades humanas (IUCN *et al.*, 1980). Nesse contexto, a Organização das Nações Unidas (ONU) teve um desempenho crucial ao organizar conferências internacionais como a de Estocolmo (1972); Rio de Janeiro (1992); Joanesburgo (2002) e mesmo através da formação de grupos de trabalho como a *World Commission on Environment and Development*, que produziu o Relatório Brundtland (WCED, 1987), intitulado *Our common future*, em que se formula, pela primeira vez (1987), o conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez universalmente difundido por:

O desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. O desenvolvimento sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas antes um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a direção dos

investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as alterações institucionais, são tornadas consistentes quer com as necessidades do presente quer com as do futuro. (WCED, 1987, p. 42).

O relatório afirma que a pobreza generalizada não pode ser inevitável e que o desenvolvimento das cidades deve privilegiar a obtenção das necessidades básicas a todos, oferecendo, assim, oportunidades de melhoria da qualidade de vida da população. Um dos principais debates no relatório é em relação ao conceito de “equidade” como condição, para que exista a participação efetiva da sociedade na tomada de decisões e na busca pelo desenvolvimento.

Ao longo da sua descrição é apresentada uma visão complexa das causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade, expondo as inter-relações entre a economia, tecnologia, sociedade e política. Portanto, não existe apenas um conceito de DS, mas sim a crescente preocupação em demonstrar que este é um conceito que vai além do crescimento, enfatizando que é necessária uma mudança na mentalidade de crescimento, a fim de torná-lo menos intenso em matérias-primas e energia e mais equitativo no seu impacto. Torna-se mais evidente que só é possível alcançar tais princípios se forem tomadas medidas estratégicas em todos os países, como parte de um conjunto de ações para manter a reserva de capital ecológico, melhorar a distribuição de valores e reduzir o grau de vulnerabilidade às crises econômicas. (SILVA, 2012).

Para Kelly *et al.* (2004), o DS é multidimensional, pois incorpora diferentes aspectos da sociedade, buscando a proteção ambiental e manutenção do capital natural para alcançar a prosperidade econômica e a equidade para as gerações atuais e futuras.

Na visão de Hardi e Zdan (1997), desenvolver significa ampliar ou realizar as potencialidades, levando a um estágio maior, ou melhor, do sistema. Este desenvolvimento deve ser qualitativo e quantitativo, tornando o diferencial da simples noção de crescimento econômico. O desenvolvimento sustentável, para os autores citados, não é um estado fixo, harmonioso. Ao contrário, trata-se de um processo dinâmico de evolução. Para eles, esta ideia não é complicada, apenas mostra que algumas características do sistema devem ser preservadas para assegurar a continuidade da vida. O sistema é global e apenas um ator, como uma empresa ou comunidade e não pode ser considerado sustentável em si mesmo, pois uma parte do sistema não pode ser sustentável, se outras não o são.

Vale ressaltar que, em toda e qualquer trajetória, há evolução, seja sob aspectos positivos ou negativos e isso é uma consequência natural nas diversas áreas científicas. Não foi diferente na fundamentação do conceito de DS, até chegar a uma definição concreta, a

qual propusesse uma ideia abrangente relativa aos impactos ambientais causados pela pressão da demanda e mudanças no consumo das sociedades, considerando a valoração econômica, social, ambiental e cultural. Não foi e nem está sendo uma tarefa fácil. Isto porque, a cada dia, os conceitos vão se transformando de acordo com a necessidade do momento, contribuindo para que não seja um efeito fixo na tomada de decisão da sociedade, ou seja, na essência do conceito são permitidas várias interpretações.

2.3 Dimensões da sustentabilidade

Alguns críticos afirmam que não existiria qualquer teoria econômica, mesmo as mais ortodoxas, que propusessem que a Economia fosse algo além de uma atividade de transformação da natureza voltada para a satisfação das necessidades humanas. A essência da Economia não teria outra razão de ser, baseada nos problemas atuais. Os problemas ambientais, assim como os humanos e sociais, decorreriam do fato de a atividade econômica ter se tornado um fim em si mesma, ao invés de um meio a serviço das finalidades humanas. Um dos equívocos mais graves e mais frequentes e que contribuiu para essa distorção teria sido o conflito entre dois conceitos distintos: crescimento e desenvolvimento, um quantitativo e outro qualitativo, respectivamente. (FERNANDEZ, 2011).

Para tanto, a extensão das consequências que se relacionam aos empreendimentos humanos (da biosfera às gerações futuras) trouxeram novamente para o primeiro plano a questão da responsabilidade – e, portanto, da ética – para o campo da Economia. Para Sachs (1981), trata-se de assegurar aos homens de nossa geração e a todas as gerações futuras a possibilidade de se desenvolver, gerenciando a natureza da melhor forma possível. Esse ponto é bastante discutido no trabalho de Fernandez (2011), segundo o qual os estudos econômicos não devem isolar-se apenas em valores. Faz o autor um questionamento muito pertinente relacionado às privações de hoje para garantir as gerações futuras que nem sequer conheceremos, ou seja, que princípio a sociedade deve ter como reposta a essa ideologia. Embora seja muito relevante questionar, atualmente não existe resposta no arcabouço teórico da Economia Neoclássica para uma pergunta como esta. Apesar de existir muitas pesquisas e estudos que abrangem a construção de índices e indicadores necessários para analisar os aspectos que viabilizem o desenvolvimento sustentável, ainda não é suficiente para se obter uma resposta universal que atenda às necessidades mundiais.

Atualmente, o que se denomina DS teve um processo de evolução até chegar a um conceito integrador, que forma um conjunto de questões interrelacionadas e organizadas de

forma única. Trata-se de um processo variável de mudança que busca, como objetivo final, a sustentabilidade em si. Nessa perspectiva, Dovers e Handmer (1992) afirmam que sustentabilidade é a capacidade de um sistema humano, natural ou misto para resistir ou se adaptar à mudança endógena ou exógena por tempo indeterminado, representada como uma meta ou um ponto final. (HOVE, 2004). Deste modo, para alcançar a sustentabilidade requer-se o desenvolvimento sustentável.

A partir de publicações disponíveis relacionadas ao tema, é possível afirmar que o conceito de DS ainda permanece questionável, devido às diferentes posições tomadas em relação ao que pode ser considerado justo. Por essa razão é tão amplo e genericamente aplicável que sua imprecisão o torna inoperante e aberto ao conflito de interpretações.

Todas as definições publicadas sobre o conceito de DS têm como base princípios da sustentabilidade, como por exemplo, a perspectiva de longo prazo, importância fundamental das condições locais, compreensão da evolução não linear dos sistemas ambientais e humanos. (MOLDAN *et al.*, 2012). Assim, o termo sustentabilidade surgiu a respeito dos recursos renováveis, sendo posteriormente adotado pelo movimento ecológico. Sua definição refere-se à existência de condições ecológicas necessárias para dar suporte à vida humana em um nível específico de bem estar através de futuras gerações. Neste sentido, o autor explica a diferença entre os conceitos disponíveis, uma vez que, segundo suas afirmações, isto é sustentabilidade ecológica e não desenvolvimento sustentável. (LÉLÉ, 1991).

É mais uma questão da maneira como os seres humanos devem agir em relação aos recursos naturais, e como eles são responsáveis para com o outro e as futuras gerações. A partir desse contexto, observa-se que a sustentabilidade é uma condição ao crescimento econômico fundamentado na justiça social e eficiência no uso da natureza. (LOZANO, 2012).

Para Neumayer (2003), a sustentabilidade pode ser vista em dois níveis diferentes: sustentabilidade fraca ou sustentabilidade forte. A sustentabilidade fraca pode ser interpretada como a extensão do bem estar econômico. Deste modo, no trabalho de Fiorino (2011), diz que o capital econômico produzido pelas gerações atuais poderá compensar as perdas de capital natural para as gerações futuras. Logo, na sustentabilidade forte é determinado que um subconjunto do capital natural total seja conservado em termos físicos, de modo que suas funções permaneçam intactas.

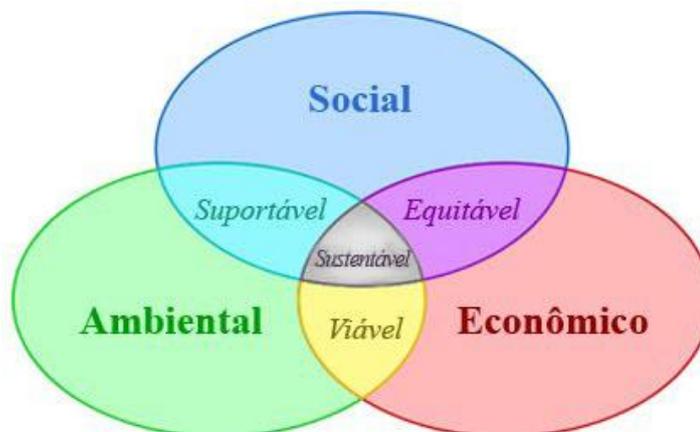
Apesar de ser vista como conceito único, a sustentabilidade também pode ter diferentes visões baseadas na sua essência primordial, indo além da sua relação socioeconômica e ambiental. Na contextualização feita por Sachs (2002), por exemplo, são

considerados oito tipos de sustentabilidade (social, econômica, ecológica, espacial, territorial, cultural, política nacional e política internacional) para apresentar as dimensões, no intuito de conceituar o termo “ecodesenvolvimento”.

Na área empresarial, tornou-se mais apropriado pensar na sustentabilidade como um *Triple Bottom Line*⁴ ou tripé da sustentabilidade – expressão consagrada atualmente e também conhecida como os “Três Ps” (*People, Planet and Profit*) ou, em português, “PPL” (Pessoas, Planeta e Lucro). Segundo esse conceito, para ser sustentável, uma organização ou negócio deve ser financeiramente viável, socialmente justo e ambientalmente responsável.

A visão do *Triple Bottom Line*, ou popularmente conhecido como tripé da sustentabilidade, é permeada por um grande desafio. Coordenar a tripla linha de base da sustentabilidade é um processo muito complexo de executar na prática, pois é necessária a interligação de diversas áreas para atingir um objetivo comum. Como mostra a Figura 1, a sustentabilidade é composta por três áreas distintas, mas que se complementam quando trabalhadas em conjunto.

Figura 1 - Tripé da sustentabilidade



Fonte: EcoDesenvolvimento (2015).

Diante de tantas visões e conceitos distintos, cinco axiomas da sustentabilidade foram identificados (Quadro 1) pelo jornalista e entusiasta do meio ambiente Richard Heinberg, os quais possibilitam a melhor compreensão do conceito de sustentabilidade na procura do desenvolvimento sustentável.

⁴ Este conceito, também conhecido como tripé da sustentabilidade, foi criado nos anos 1990 pelo sociólogo e consultor britânico John Elkington, co-fundador da organização não governamental internacional SustainAbility.

Quadro 1 - Axiomas da sustentabilidade

I	Axioma de Tainter: Qualquer sociedade que persista no uso insustentável de recurso crítico colapsará. Exceção: uma sociedade pode evitar o colapso se encontrar recursos de substituição. Limite à exceção: num mundo finito o número de substituições possíveis é também finito.
II	Axioma de Barlett: O crescimento da população e/ ou o crescimento nas taxas de consumo dos recursos não é sustentável.
III	Para ser sustentável, o uso de recursos renováveis deve decorrer a uma taxa menor ou igual à taxa de reposição natural do recurso.
IV	Para ser sustentável, o uso de recursos não renováveis deve decorrer a uma taxa decrescente, e a taxa de decréscimo deve ser maior ou igual à taxa de esgotamento dos recursos. A taxa de esgotamento consiste na quantidade que é extraída e usada durante um intervalo de tempo especificado (usualmente um ano) expressa em percentagem do total que resta do recurso (para extração).
V	A sustentabilidade exige que as substâncias introduzidas no ambiente pelas atividades humanas sejam minimizadas e tornadas inofensivas para as funções da biosfera. Nos casos em que a poluição e o consumo de recursos não renováveis tenham ocorrido por algum tempo a taxas crescentes e ponham em causa a viabilidade dos ecossistemas, a redução nas taxas de extração e consumo desses recursos pode ter de ocorrer a uma taxa maior do que a taxa de esgotamento.

Fonte: Adaptado de Heinberg (2007).

Richard Heinberg (2007) é amplamente conhecido como um dos mais eficazes comunicadores da urgente necessidade de superação do uso dos combustíveis fósseis. Em seu artigo *Five Axioms of Sustainability*, publicado no *Global Public Media*, discute a evolução do termo sustentabilidade apresentando os cinco axiomas da sustentabilidade. O autor deixa claro que são direcionamentos a partir das inúmeras publicações referentes à temática, portanto, não é a descrição das condições que conduzirá a uma sociedade boa ou justa, mas simplesmente, a uma sociedade capaz de se manter ao longo do tempo.

A discussão começa pelo axioma citado por Joseph Tainter, autor do estudo clássico, *The Collapse of Complex Societies*, segundo o qual o colapso é frequente, se não o destino universal das sociedades complexas. Argumenta ainda que o colapso está diretamente relacionado à diminuição do retorno do esforço despendido para suportar o crescente nível de complexidade das sociedades com a energia colhida do meio ambiente. Foi seguido pelo axioma batizado com o nome de Albert A. Bartlett, professor de física, que teve seu trabalho publicado em 1994 e no qual expôs as 17 Leis da Sustentabilidade. Neste estudo, esclareceu o significado de sustentabilidade sob a ótica da população e do consumo de recursos, além de criticar o uso indiscriminado do termo.

Vale frisar que, em 1992, observando que era necessário medir a sustentabilidade, o ecologista canadense Willian Rees introduziu o conceito de Pegada Ecológica, definindo a

quantidade de terra e água necessária para fornecer os recursos necessários à humanidade, bem como para absorver seus resíduos.

Inúmeras discussões e definições acerca do conceito de desenvolvimento sustentável foram construídas ao longo dos últimos anos. Porém, é válido frisar que além dessas bases, o Projeto Áridas (1995) estabeleceu duas outras dimensões para o desenvolvimento sustentável:

- a) **dimensão técnico-científica:** a sociedade seria capaz de promover conhecimentos científicos que viabilizassem o seu progresso e que fossem apropriados democraticamente por todos aqueles que quiserem usufruí-los. Isto seria feito através da criação de instrumentos para incentivar estudantes a estudar nas melhores universidades, com o intuito de voltarem para a sua região e compartilhar as experiências científicas adquiridas;
- b) **dimensão político-institucional:** idealiza que as populações devem ter a liberdade de definir os seus destinos, com o incentivo de serem beneficiadas por políticas de intervenção que sejam desenhadas no intuito de viabilizarem o seu desenvolvimento.

Das definições apresentadas para o desenvolvimento sustentável, uma condição fundamental para que ele possa ocorrer é a conservação e a preservação do estoque de recursos naturais. Neste sentido é essencial o desenvolvimento de conhecimentos científicos que viabilizem a criação de tecnologias, as quais contribuam para a manutenção dos recursos naturais e que promovam sua reciclagem, partindo do princípio das tecnologias ecologicamente limpas. (LEMOS, 2012).

É importante salientar que, na literatura atual, existem inúmeras definições e linhas de concepções relacionadas ao quesito sustentabilidade, relacionadas às mais diversas áreas de conhecimento. Foi levando em conta essa característica que o trabalho desenvolvido por Sartori, Latrônico e Campos (2014) expôs essa diversidade de conceitos, a fim de entender o que está sendo estudado e proposto sobre a sustentabilidade, por meio de estudos sobre fundamentos ou estudos aplicados, objetivos e desafios que buscam responder as inquietações de hoje: como atingir a sustentabilidade. Assim, a partir da análise das inúmeras referências pesquisadas na área da sustentabilidade, os autores concluíram que existem os seguintes desafios da sustentabilidade:

- implantar normas de proteção ambiental;
- capturar os impactos externos das atividades além do nível local;
- reconhecimento da sustentabilidade social;
- desenvolvimento humano;
- erradicação da pobreza;
- produção e consumo equilibrado;
- incentivo à educação;
- desenvolvimento e manutenção de recursos ambientais;
- eficiência na alocação de recursos;
- cooperação entre *stakeholders*⁵, governos e sociedade civil;
- metodologias e indicadores de sustentabilidade de acesso público;
- uso de indicadores complementares nas avaliações;
- uso de abordagens holísticas;
- indicadores para a medição do consumo de recursos;
- sensibilização da população;
- usar um padrão de avaliação comparativa entre países;
- conciliar objetivos locais com os objetivos globais;
- pesquisas aplicadas e que trazem resultados práticos;
- equilíbrio entre os pilares da sustentabilidade;
- indicadores de sustentabilidade dinâmicos;
- indicadores voltados para os sistemas empresariais e locais;
- participação pública no planejamento;
- participação da ciência e da tecnologia.

Deste modo, o campo da sustentabilidade é emergente, caracterizado por uma vasta gama de assuntos, de diversas áreas e com diferentes enquadramentos, contudo, com uma elevada e crescente quantidade de trabalhos publicados sobre o tema. Diante disso é possível afirmar que muitos são os desafios para trabalhos futuros, tais como: necessidade de pesquisas aplicadas que disponham de resultados práticos; encontro do equilíbrio no *Triple Bottom Line*; construção de índices e/ou indicadores para avaliação da sustentabilidade de prazo maior e que sejam viáveis para cada localidade, região ou país em análise e disposição de objetivos com indicadores identificados.

⁵ O termo foi criado pelo filósofo Robert Edward Freeman. O *stakeholder* é uma pessoa ou um grupo, que legitima as ações de uma organização e, que tem um papel direto ou indireto na gestão e resultados dessa mesma organização. Ou seja, significa público estratégico e descreve uma pessoa ou grupo que fez um investimento ou tem ações ou interesse em uma empresa, negócio ou indústria.

2.3.1 Sustentabilidade na dimensão econômica

A teoria econômica se propõe a atender três objetivos: alocação, distribuição e escala. Na economia, os aspectos relativos à alocação e à distribuição apresentam um tratamento consistente, tanto em termos teóricos quanto históricos. Todavia, no que se refere à escala, ainda não é formalmente reconhecida e não conta com instrumentos políticos de execução. A alocação se refere à divisão relativa dos fluxos de recursos. (FERNANDEZ, 2011).

Para ser considerada boa, a alocação deve ser feita de uma forma que disponibilize recursos em função das preferências individuais, em que estas são avaliadas pela habilidade de pagar utilizando o instrumento do preço. Nisso, a distribuição está relacionada à divisão dos recursos entre as pessoas.

Segundo Van Bellen (2002), a teoria econômica tem se abstraído de aspectos relacionados à escala de duas maneiras opostas: por um lado assume que o meio ambiente é uma fonte de recursos infinita e, por outro lado, que este mesmo meio constitui depósito de resíduos de tamanho infinito em relação à escala do subsistema econômico. A partir dessa ideia pode-se afirmar que a crise surge quando a economia, ou o subsistema econômico, cresce de tal maneira que a demanda e a pressão sobre o meio ambiente ultrapassa seus limites.

Nessa perspectiva, o ideal seria adotar a sustentabilidade econômica, pois a mesma abrange alocação e distribuição eficiente dos recursos naturais em uma escala apropriada. Logo, a integração entre ambiente e a economia deve ser alcançada dentro do processo decisório, nos diferentes setores, como governo, indústria e ambiente doméstico, se o desejo é alcançar a sustentabilidade.

A sustentabilidade com foco econômico diz respeito à manutenção de capital natural, que é uma condição necessária para não haver decréscimo econômico. (BARTELMUS, 2003). Ou seja, é a capacidade de um sistema econômico em gerar um melhor crescimento constante dos seus indicadores. Tem a finalidade de gerar riqueza e emprego para a população, através da combinação mais eficiente dos recursos, que permitem a produção e manutenção do mais alto valor acrescentado de bens e serviços.

2.3.2 Sustentabilidade na dimensão social

Nessa dimensão é dada ênfase na perspectiva social, ou seja, destaca a presença do ser humano na esfera ecológica. Tem como principal preocupação, dentro desta linha, o bem-estar humano, a condição humana e os meios utilizados para aumentar a qualidade de vida desta condição.

Para Rutherford (1997), seu argumento baseia-se na afirmativa de que o uso de um raciocínio econômico deve buscar preservar o capital social e humano e que o aumento deste montante de capital deve gerar dividendo. Essa ideia permeia a partir do conceito de bem-estar, o qual não é fácil de construir, nem de se medir. A acumulação de riqueza é importante, mas é apenas parte do quadro geral da sustentabilidade.

Portanto, essa abordagem se refere à homogeneidade social, rendimentos justos e acesso aos bens, serviços e emprego. (LEHTONEN, 2004). Idealiza garantir bem-estar (segurança, saúde, educação), distribuído de uma forma equitativa entre as classes e gêneros sociais. A qualidade de vida ambicionada pela sociedade só é possível respeitando a diversidade entre os povos, sua maturidade e o respeito pela democracia, no sentido da coesão social.

2.3.3 Sustentabilidade na dimensão ambiental

Para se chegar à sustentabilidade na perspectiva ambiental, a principal preocupação é relativa aos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Pode ser expressa pelo que os economistas chamam de capital natural. Nesta visão, a produção primária, oferecida pela natureza, é a base fundamental sobre a qual se assenta a espécie humana. Os responsáveis por essa abordagem, os ambientalistas, são considerados os principais atores, os quais promoveram o desenvolvimento do modelo denominado PSR (*Pressure, State and Response*) para indicadores ambientais e que o defendem para as outras esferas. (RUTHERFORD, 1997).

Essa sustentabilidade abrange a ideia da capacidade de preservar, ao longo do tempo, os recursos estáveis, evitando o excesso de exploração dos recursos não renováveis, a manutenção da biodiversidade, a redução de poluição atmosférica, garantindo, assim, a continuidade dos seres vivos nas atuais e próximas gerações. A ONU inclui também a redução da população sem acesso à água potável e saneamento básico e à diminuição da população que vive no limiar da pobreza. Já para Sartori, Latrônico e Campos (2014), o conceito na área

ambiental pode ser definido como a desmaterialização da atividade econômica, pois uma diminuição do processamento de material pode reduzir a pressão sobre os sistemas naturais e ampliar a prestação de serviços ambientais para a economia.

Segundo Bennetti (2006), alguns dos principais componentes da dimensão ambiental buscam:

- produzir respeitando os ciclos ecológicos de renovação dos ecossistemas;
- ter prudência no uso dos recursos naturais;
- prioridade à produção de biomassa e a industrialização de insumos naturais renováveis;
- redução da intensidade do consumo energético e o aumento da conservação de energia;
- tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos e;
- cuidados ambientais.

2.3.4 Sustentabilidade na dimensão geográfica e cultural

A sustentabilidade geográfica pode ser alcançada por meio de uma melhor distribuição dos assentamentos humanos e das atividades econômicas. Nessa dimensão procura-se uma configuração rural-urbana mais adequada para proteger a diversidade biológica, ao mesmo tempo em que se melhora a qualidade de vida das pessoas.

Por último, a sustentabilidade cultural, a mais difícil de ser concretizada segundo Sachs (2004), está relacionada ao caminho da modernização sem o rompimento da identidade cultural dentro de contextos espaciais específicos. O conceito de desenvolvimento sustentável refere-se a uma nova concepção dos limites e ao reconhecimento das fragilidades do planeta, ao mesmo tempo em que enfoca o problema socioeconômico e da satisfação das necessidades básicas das populações. (SACHS, 2004).

O que se observa é que existe uma variedade de aspectos relacionados às diferentes dimensões da sustentabilidade. Muito embora o ponto de partida das diversas abordagens seja distinto, existe um reconhecimento de que há um espaço de interconexão ou interseção entre estes diferentes campos.

2.3.5 Sustentabilidade na dimensão institucional

A orientação política, capacidade e esforço para as mudanças requeridas para uma efetiva implementação do Desenvolvimento Sustentável estão relacionadas à Dimensão Institucional. Nesta dimensão, são considerados os indicadores que sintetizam o investimento em ciência e novas tecnologias de processo e produtos e, também, a atuação do poder público na proteção do ambiente, componentes importantes para a busca de alternativas para o Desenvolvimento Sustentável. (SANTOS, 2010).

Deste modo, o conjunto de indicadores desta dimensão deve ser capaz de captar tanto a Estrutura Institucional quanto a Capacidade Institucional. Nesse caso, o primeiro está relacionado às estratégias de implantação do Desenvolvimento Sustentável e da cooperação internacional, enquanto o segundo refere-se ao acesso à informação, à infraestrutura de comunicação, à ciência, tecnologia, preparação e resposta para desastres naturais.

A discussão acerca das dimensões da sustentabilidade faz-se necessário para o entendimento prévio do que cada uma delas aborda. Assim, a mensuração da sustentabilidade não é feita apenas por dimensões. Também é possível analisá-la de forma setorial, como neste trabalho, que possui abrangência para a dimensão econômica do setor energético, como objeto de estudo.

2.4 Elaboração de indicadores de sustentabilidade

A trajetória de escolha e construção de indicadores, seja nas distintas vertentes de interesse, deve seguir normas e requisitos básicos para que sejam considerados cientificamente exequíveis, tomando como ponto de partida o estudo de um problema ocorrente para que se tenha um interesse em solucioná-lo. A partir disso há necessidade de testar variáveis que expliquem de maneira clara e objetiva a problemática que se propõe a estudar.

O processo de escolha dos indicadores deve seguir um conjunto de critérios objetivos, exequíveis e verificáveis que justifiquem a sua escolha. Os indicadores escolhidos devem refletir o significado dos dados na forma original, satisfazendo, por um lado, a convivência da escolha e, por outro, a precisão e relevância dos resultados. (VAN BELLEN, 2002).

É válido salientar que a busca por indicadores de sustentabilidade deve atender alguns princípios. Nessa perspectiva, o Instituto Internacional para o Desenvolvimento

Sustentável (*International Institute for Sustainable Development – IISD*), em 1996, reuniu especialistas em Bellággio (Itália), tendo como objetivo estabelecer princípios destinados a orientar a avaliação do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável. (HARDI; ZDAN, 1997). Eles permitiram orientar e avaliar todo o processo no desenvolvimento de um indicador de desenvolvimento sustentável, bem como sua interpretação e comunicação dos resultados. Nessa concepção, os princípios de Bellággio (IISD, 1999) afirmam que tais avaliações devem satisfazer os seguintes critérios:

1. **orientar visão e metas:** orientar por uma visão clara do desenvolvimento sustentável e por metas que definam esta visão nas avaliações;
2. **aspecto holístico:** necessita incluir uma revisão de todo o sistema, bem como de suas partes, e considerar o bem estar de subsistemas e as consequências positivas da atividade humana em termos monetários e não monetários;
3. **elementos essenciais:** é preciso avaliar a igualdade e desigualdade na população atual e entre gerações presentes e futuras, lidando com a utilização de recursos, superconsumo e pobreza, direitos humanos e acessos a serviços; considerar as condições ecológicas das quais a vida depende e analisar o desenvolvimento econômico e outros aspectos que não são oferecidos pelo mercado, mas que contribuem para o bem estar social e humano;
4. **amplitude adequada:** há necessidade de adotar um horizonte cronológico suficientemente amplo, a fim de abranger escalas de tempo humana e ambiental, atendendo às necessidades das gerações futuras, assim como a geração presente em termos de processo de tomada de decisão em curto prazo. Definir o espaço de estudo para abranger não apenas impactos locais, mas, também, impactos de longa distância sobre pessoas e ecossistemas. Estabelecer um histórico das condições presentes e passadas para antecipar futuras condições;
5. **foco prático:** para basear num conjunto explícito de categorias que liguem perspectivas e metas a indicadores precisam ter um número limitado de questões-chave para análise; um número limitado de indicadores ou combinação de indicadores para fornecer um sinal claro do progresso na padronização das medidas, quando possível, para permitir comparações;

na comparação dos valores dos indicadores com as metas, valores de referência, padrão mínimo e tendências;

6. **transferência:** ter métodos transparentes e dados acessíveis; tornar explícitos todos os julgamentos, hipóteses e incertezas nos dados e na interpretação;
7. **comunicação eficiente:** ser concebidas para satisfazer as necessidades dos usuários e buscar a simplicidade na estrutura e na linguagem;
8. **participação ampla:** obter ampla representação de importantes grupos profissionais, técnicos e sociais, assegurando, ao mesmo tempo, a participação dos responsáveis pelo processo decisório;
9. **avaliação constante:** desenvolver a capacidade de mensurar, para determinar tendências; ficar atento às mudanças, incertezas, ajustar metas e estruturas, à medida que se ganhem novos *insights*; promover o desenvolvimento do aprendizado coletivo e o *feedback* necessário para a tomada de decisão;
10. **capacidade Institucional:** a continuidade da avaliação do progresso deve ser assegurada, designando-se de forma clara a responsabilidade e o apoio no processo decisório, fornecendo capacidade institucional para a coleta de dados e incentivando o desenvolvimento da capacidade local de avaliação.

O processo de busca por indicadores que avaliem a sustentabilidade e que atendam aos princípios de Bellággio ainda é considerado árduo e os problemas teóricos envolvidos são grandes. (SANTOS, 2010). Os princípios citados, anteriormente são referentes à construção de indicadores sendo que o primeiro princípio refere-se ao ponto inicial de qualquer tentativa de avaliação. É também necessário estabelecer uma visão do que seja sustentabilidade e estabelecer as metas que revelem uma definição prática desta visão em termos do que seja relevante para a tomada de decisão. Afonso (2006) concluiu que, por enquanto, a sustentabilidade se realiza apenas como discurso.

Os princípios 2 a 5 tratam do conteúdo de qualquer avaliação e a necessidade de fundir o sistema por inteiro com o foco prático nas questões prioritárias. Os princípios 6 ao 8 estão relacionados à questão-chave do processo de avaliação, enquanto os princípios 9 e 10 se referem à necessidade de estabelecer uma aptidão contínua de avaliação.

O intuito de se construir indicadores e índices, de um modo geral, se deve ao fato de que ambos são elaborados para exercerem as funções de simplificação, quantificação, análise e comunicação. Assim, conseqüentemente, será possível entender fenômenos

complexos e torná-los quantificáveis e compreensíveis, contribuindo para que possam ser analisados sob uma dada perspectiva e até mesmo comunicar-se com os diferentes níveis da sociedade.

O conceito de desenvolvimento sustentável, como se demonstrou até aqui, evidencia grande complexidade quanto ao seu entendimento e aplicação, o qual necessita ser bem compreendido para que seus princípios sejam executados na prática, de forma simplificada, e que considere os problemas de maneira holística interligando as seguintes áreas: ambiental, social, econômica e cultural, respeitando os processos humanos e naturais.

2.5 Mensuração da sustentabilidade a partir de indicadores energéticos

A partir da publicação do Relatório Brundtland, em 1987, várias organizações nacionais e internacionais têm se engajado no desenvolvimento de indicadores para avaliar um ou mais aspectos do desenvolvimento sustentável. O empenho se tornou mais intensificado com a adoção da Agenda 21, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992. A Agenda 21 recomenda, em seu Capítulo 40, especificamente, que países e organizações governamentais e não governamentais se esforcem para desenvolver indicadores de desenvolvimento sustentável com abrangência regional, nacional e global. (BRASIL, 1995).

De fato, o desenvolvimento de indicadores constitui num grande desafio, mas não único, de buscar ferramentas de agregação de base de dados, o que, na maioria dos casos, torna-se como maior barreira na obtenção de resultados confiáveis. Um problema adjacente a este é a própria base de dados, principalmente no que diz respeito à finalidade do trabalho proposto, ou seja, na avaliação da sustentabilidade do ponto de vista energético. (SANTOS, 2010).

Por mais que as pesquisas na área energética tenham evoluído, quanto à construção de bases científicas, ainda é tido como grande desafio desenvolver estudos que busquem elaborar indicadores e índices na área energética. Se indicadores estão a ser utilizados para orientar políticas e decisões estratégicas, então eles devem fornecer alguma noção de onde aplicar a pressão política e onde iniciar mudanças que podem trazer resultados desejados. Estabelecer ligações e alguma ideia de causalidade torna-se, assim, uma importante característica do monitoramento de políticas com indicadores. Ver tendências sem a compreensão de como as afetam não é útil para o desenvolvimento estratégico. (IAEA, 2005).

Tomando por base os indicadores adotados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apenas uma parte da base de dados é estatisticamente consistente em questões energéticas, o que dificulta ainda mais o estabelecimento de uma análise mais profunda, exaltando, assim, a importância do problema energético sob a perspectiva da sustentabilidade.

Sob este ponto de vista é que a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) iniciou de forma pioneira - por meio da cooperação com diversas organizações internacionais, incluindo a Agência Internacional de Energia (AIE), a Eurostat e a Agência Ambiental Europeia (AAE) e o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA) - desenvolveu um conjunto de indicadores que eliminasse as duplicações e pudesse ser utilizado como ferramenta de análise em qualquer país. Como resultado dessa elaboração coletiva de indicadores, foram denominados ISED (*Indicators for Sustainable Energy Development*), com o propósito de englobar as dimensões econômica, social e ambiental do uso da energia e como principal finalidade o estabelecimento de uma ferramenta de análise que possibilitasse a avaliação, o monitoramento e a comparação do nível de sustentabilidade energética dos países. Nesse sentido, foi empreendido um abrangente programa internacional, envolvendo especialistas de diversas organizações, países membros e não membros, cujo resultado foi o desenvolvimento de um conjunto de 41 indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável. (IAEA, 2005).

Dada à importância de se elaborar tais indicadores, eles podem ajudar a entender alguns dos efeitos da produção e utilização de energia sobre a economia e o meio ambiente, justamente através da vinculação destes indicadores e monitoramento das mudanças em seus valores. Assim, será possível verificar seus efeitos sobre a economia, sociedade e o ambiente.

Nesse contexto, esses indicadores adotaram uma abordagem do tipo causal, estado e resposta, elaborada pelas Nações Unidas, assim como integrou definitivamente as dimensões econômica, social e ambiental no uso da energia. Assim, o conjunto de indicadores energéticos ISED (*Indicators for Sustainable Energy Development*) é o resultado de um esforço no sentido de estabelecer uma metodologia padronizada para a coleta, processamento e análise de informações relacionadas ao uso da energia, servindo de base para estudos futuros na área de elaboração de indicadores no campo energético.

Nessa perspectiva, no Quadro 2 se apresenta a base completa de indicadores energéticos, classificados segundo as dimensões: econômica, social, ambiental e categorizadas como: indicadores causais indiretos e diretos e indicadores de estado. Totaliza 41 indicadores, distribuídos nas três (3) dimensões citadas. Como destacado anteriormente,

este modelo de classificação se baseia na abordagem Causa/Sintoma/Resposta utilizada nos modelos ambientais da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), da Comunidade Europeia e da Agência Internacional de Energia (IEA).

Quadro 2 - Indicadores selecionados para o ISED

Dimensão	Conjunto de Indicadores
ECONÔMICA	
Indicadores Causais Indiretos	1. População 2. PIB <i>per capita</i> 3. Preços de energéticos 4. Participação setorial no PIB 5. Distância percorrida por passageiros 6. Atividade do transporte de cargas 8. Valor adicionado de alguns produtos manufaturados energo-intensivos 9. Intensidades energéticas 10. Intensidade Energética de alguns segmentos energo-intensivos 11. Matriz energética 12. Eficiência de suprimento de energia 13. Status do desenvolvimento e uso de tecnologias de redução da poluição
Indicadores Causais Diretos	14. Intensidade energética total 15. Investimentos no setor energético
Estado	16. Consumo de energia <i>per capita</i> 17. Produção primária de energia 18. Dependência externa de energia
SOCIAL	
Indicadores Causais Indiretos	19. Desigualdades de Renda 20. Relação entre a renda dos 20% mais pobres e preços de energéticos
Indicadores Causais Diretos	21. Fração da renda disponível gasta com consumo de energia
Estado	22. Percentual de domicílios sem acesso a fontes modernas de energia
AMBIENTAL	
Indicadores Causais Indiretos	-----
Indicadores Causais Diretos	23. Quantidade de emissões de poluentes 24. Concentração de poluentes em áreas urbanas 25. Área territorial onde os índices de acidificação excedem o limite máximo 26. Quantidade de emissões de gases de efeito estufa 27. Descarga de radionuclídeos na atmosfera 28. Poluição em bacias hidrográficas 29. Geração de resíduos sólidos 30. Quantidade de resíduos sólidos acumulados 31. Geração de rejeito radioativo pela cadeia nuclear 32. Acúmulo de rejeito radioativo 33. Área tomada por infra-estrutura do setor energético 34. Acidentes fatais por cadeia energética 35. Percentual do potencial hidrelétrico disponível 36. Reservas provadas de combustíveis fósseis

Estado	37. Tempo remanescente das reservas de combustíveis fósseis (Taxa R/P) 38. Reservas provadas de urânio 39. Tempo remanescente das reservas provadas de urânio 40. Intensidade de uso de recursos florestais, como combustível 41. Taxa de desflorestamento
--------	--

Fonte: IAEA (2003).

De acordo com Cima (2006), a utilização de indicadores energéticos fundamenta-se nas seguintes premissas:

- i. metodologia aceita internacionalmente e de forma unificada, com possibilidade de estabelecer comparações entre países, sendo que esta identificação deve-se apoiar num sistema de informações padronizadas;
- ii. a base de indicadores admite que se concentre para metodologias padronizadas internacionalmente, em termos de classificação de atividades econômicas, fontes energéticas e procedimentos de contabilização energética;
- iii. possibilidade de inserção das especificidades do sistema energético nacional, sem que se comprometa a estrutura de indicadores energéticos, ou seja, considerando as peculiaridades regionais.

Várias pesquisas, não só no Brasil, mas também em nível internacional, estão sendo aprofundadas na área energética, assim como acontece com a construção de indicadores energéticos e ferramentas de agregação, as quais estão permitindo uma evolução rápida no desenvolvimento de técnicas mais apuradas e consistentes. Trabalhos como os de Cima (2006) e Santos (2010), que desenvolveram indicadores energéticos com a finalidade de verificar a sustentabilidade, servem como sinalizadores na adoção de políticas e planejamento de recursos na área energética. De maneira geral, os indicadores energéticos não são homogêneos, podendo ter como resultado a agregação de várias estruturas. Em seu trabalho, Santos (2010) utilizou uma combinação de indicadores agrupados em três dimensões de acordo com o que está apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Indicadores de sustentabilidade energética

Dimensão Social (DS)	
IDS 1	Desigualdade de Renda
IDS 2	Fração da renda disponível gasta com consumo de energia
IDS 3	Percentual de domicílios sem acesso a fontes modernas de energia
Dimensão Ambiental (DA)	
IDA 1	Oferta Interna de Energia (Renovável) tep
IDA 2	Oferta Interna de Energia (Não Renovável) tep
IDA 3	Emissões de GEEs (Gases do Efeito Estufa) (Mt/ CO ₂ eq)

Continua

Dimensão Econômica (DE)		Conclusão
IDE 1	PIB <i>per capita</i> (preços 2008) - US\$ de 2008(mil) - IPEA	
IDE 2	Intensidade Energética Total (tep/10 ³ US\$) - OIE/PIB	
IDE 3	Taxa de Investimento (% PIB) - (a preços correntes)	
IDE 4	Consumo Final Residencial de Energia (tep)	
IDE 5	Consumo Final de Energia Indústria + Agropecuário (tep)	
IDE 6	Consumo Final de Energia Comércio + Transportes (tep)	

Fonte: Santos (2010).

Embora a base de dados seja considerada como uma das vantagens de se utilizar indicadores energéticos, ainda pode ser citada como fator limitante para o andamento de pesquisas, pelo fato de haver escassez em informações específicas, principalmente quando se trata de estudos inovadores na área energética. Mesmo assim é possível fazer comparações de resultados em vários países. No caso do Brasil, a base de dados energética é feita pelo Ministério das Minas e Energia (MME), junto com a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE).

Deste modo, indicadores energéticos não podem ser entendidos apenas como um conjunto de dados que são expostos sem um objetivo maior. Eles se estendem além da estatística básica, pois muitos deles estão relacionados entre si e não apenas em uma relação meramente linear. Ou seja, é necessário compreender estas inter-relações, suas causas e consequências, as quais superam a estatística básica. Cada um deles apresenta aspectos e consequências na produção, no uso da energia e nas relações de desenvolvimento de uma sociedade.

É válido ressaltar que um estudo feito pela IAEA (2007) apresentou o Programa de Planejamento Energético Brasileiro, com utilização dos indicadores ISED propostos pelo IAEA, da política energética do Brasil e indicadores de “Forças Guias” (*Driving Force*) e de estados (*State Indicator*).

Há ressalvas a serem consideradas quando se trata de indicadores, pois os mesmos dependem das condições edafoclimáticas de cada país, da sua matriz energética e suas prioridades, políticas energéticas adotadas, bem como seus critérios e objetivos, rumo à sustentabilidade. Assim, são apresentadas características peculiares regionalmente.

3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ENERGIA

Quando se trata de acontecimentos históricos, o foco do assunto sempre está atrelado à trajetória evolutiva da humanidade. Diante disso, não há como deixar de fora que, desde o princípio da formação da sociedade, o ser humano buscou descobrir, inovar e transformar o espaço existente, idealizando novas metas, no intuito de transformar o que já havia sido transformado ao longo da evolução das espécies. Contudo, a inquietude com o cenário presente fez com que inúmeras descobertas fossem possíveis e benéficas para o desenvolvimento da sociedade.

Entretanto, ao longo do percurso não foram encontradas apenas vantagens. Houve pontos negativos na busca pelo acerto e essa é uma etapa natural na escala evolutiva. As modificações foram acontecendo e os costumes se alterando para novos padrões. Nessa perspectiva, o uso da energia foi uma dessas descobertas. A partir desse acontecimento, as sociedades não foram mais as mesmas.

Deste modo, a matriz energética mundial vem sofrendo alterações com o passar do tempo, em virtude da disponibilidade dos recursos energéticos, das tecnologias implantadas, do custo de produção da energia, das políticas energéticas adotadas, da quantidade de reservas existentes e, mais recentemente, da necessidade de migração para um tipo de energia menos poluente ao meio ambiente.

Nessa concepção, este capítulo foi estruturado para demonstrar a situação energética brasileira, de acordo com sua evolução na formação da Matriz Energética, frisando o cenário nacional com a realidade internacional. Com base nestas informações, foi realizada uma discussão sobre a situação da Matriz Energética Brasileira, buscando evidenciar descrições que corroborem com a necessidade de modificações futuras em sua constituição, no que concerne à sua sustentabilidade energética.

3.1 Energia e sociedade: contexto mundial e brasileiro

Há registros de utilização do fogo por *hominídeos*, remontando a mais de 1,9 milhões de anos. (BOWMAN *et al.*, 2009). Entre 200.000 e 50.000 anos atrás, o *Homo neanderthalensis* usava o fogo para a cocção de alimentos. (JACOMY, 1990).

A partir do momento em que iam sendo descobertas e usadas, as fontes de energia imprimiam novos rumos à evolução da sociedade humana. Nessa perspectiva, as primeiras civilizações só apareceram de fato com a cultura irrigada de cereais, há cerca de 6.000 anos,

na Mesopotâmia, com utilização da força muscular como fonte de energia, complementada pela energia cinética dos cursos de água, além da tração animal e da lenha. (HÉMERY; DEBEIR; DÉLEAGE, 1991).

Desde o princípio, a lenha foi uma fonte energética bastante utilizada em olarias e fundições primordiais, acarretando profundas transformações econômicas e sociais, que se estenderam na direção da Europa Ocidental na Idade do Cobre. (ANTHONY *et al.*, 1991). Embora a madeira seja uma fonte potencialmente renovável, antigamente, quando não se tinha um manejo florestal adequado, a extração era feita, mas a sua recuperação era de acordo com seu ciclo natural, uma vez que a tecnologia para aproveitá-la em larga escala (silvicultura) ficou estagnada durante muitos séculos. (FARIAS; SELBITTO, 2011).

Ao longo dos séculos, foram se agregando outras fontes de energia, tais como os ventos (barcos a vela, moinhos), o óleo de baleia (usado para fornecer combustível para iluminação das casas e ruas, além de lubrificante e sabão), a turfa (material de origem vegetal, que, sob condições geológicas adequadas, pode transformar-se em carvão mineral) entre outras fontes. (SIMIONI, 2006).

No século XVIII, a madeira era o combustível universal, além de ser o único material de construção que se oferecia como alternativa à pedra e à alvenaria, nas casas e obras públicas. Era também o material por excelência da construção naval. Com a preocupação do esgotamento das reservas florestais, começou, assim, o desenvolvimento de uma economia florestal sistemática e, já no início do século XIX, existiam cursos regulares de silvicultura. (CARVALHO, 2009; LOURENÇO; BRANCO, 2012).

Com a evolução dos processos energéticos, em seguida veio à primeira máquina a vapor operativa, bomba desenhada e construída em 1698 por Thomas Savery, para bombear água de minas, embora diversos problemas técnicos a impedissem de produzir os resultados esperados. (BARGHINI, 1971).

Dando continuidade a essa trajetória, em 1712, o comerciante de máquinas de mineração, Thomas Newcomen, com o apoio do físico Robert Hook, desenvolveu uma máquina a vapor efetivamente operativa que, posteriormente, foi aperfeiçoada por James Watt e passou a ser empregada em fábricas, locomotivas, navios, etc. Sem ela, a Revolução Industrial não teria tomado o rumo que tomou, servindo assim como pontapé inicial às novas tendências da modernidade. (DUTRA, 2001; CARVALHO, 2009).

A trajetória de modernidade das sociedades, além de ser um fator de infraestrutura econômica, pode ser considerada uma nova forma de energia e como um dos elementos desencadeadores de um novo período histórico. Foi o caso da Revolução Industrial que, por

uma série de transformações sociais, econômicas e tecnológicas, passou a ser definida como a era moderna. (SIMIONI, 2006). Quando há os três fatores - ou seja, a descoberta de novas fontes energéticas, nova divisão do trabalho e uma nova organização do poder - existe a possibilidade de vivenciar mudanças estruturais que possibilitam afirmar que houve “salto de época”, uma vez que a transformação na maneira de se ver e compreender o mundo são sempre variáveis. Nesse caso, a Revolução Industrial seria um exemplo, assim como ocorreu no campo da energia, a utilização do vapor e, posteriormente, da eletricidade e de motores a combustão interna, os quais revolucionaram não só os processos de produção, como também estilos de vida da humanidade. (DE MASI, 2000).

Posteriormente, no século XIX, entre os anos de 1830 e 1840, o emprego da eletricidade nas comunicações (telégrafo) e na metalurgia (galvanoplastia), despertou o interesse dos empresários industriais, mas o grande impulso só veio em 1878, quando Thomas Edison colocou em condições de uso a lâmpada incandescente de filamento e Werner Siemens e apresentou a primeira locomotiva elétrica. (FARIAS; SELBITTO, 2011).

Um pouco mais tarde, aperfeiçoava-se a turbina hidráulica, como alternativa para a turbina a vapor, até então usada predominantemente na geração elétrica. Apareceram então as primeiras hidroelétricas de certo porte, com linhas de transmissão que permitiam o uso da energia dos rios, nas cidades e nas fábricas. (SIMIONI, 2006).

No entanto, foi na virada dos séculos XIX para XX que o petróleo passou a ser usado em larga escala, considerada como a “idade do petróleo”, que começava. Porém, há registros históricos datando do quarto milênio antes de Cristo, relativos a usos de petróleo (do grego *πετρέλαιο*, pelo latim *petra* = pedra + *oleum* = óleo) no Oriente Médio sendo que, desde essa época, já eram frequentes os afloramentos de hidrocarbonetos. (THOMAS, 2001).

Assim, mesmo que o carvão ainda fosse um dos combustíveis mais consumidos na época, foi a partir do petróleo que se favoreceu a consolidação do modelo industrial moderno, caracterizado pela produção em massa, com os setores mais dinâmicos forçando o desenvolvimento tecnológico de indústrias satélites, ligadas às respectivas linhas de produção. (CARVALHO, 2009).

No momento em que ficava mais problemática a conjuntura mundial, as velhas fontes iam sendo complementadas, ou mesmo substituídas por novas fontes, mais eficientes. Nisso, a força muscular foi complementada pela lenha e pela tração animal, que foi complementada, por sua vez, pela energia das águas e dos ventos, principalmente. Em seguida, veio o carvão, que foi complementado pelo petróleo, ou por este substituído, na indústria, nos transportes e nos modernos sistemas agroindustriais. Ou seja, na medida em que

a sociedade evoluía, nos diferentes âmbitos, modificavam-se também os hábitos e padrões de consumo. (HÉMERY; DEBEIR; DÉLEAGE, 1991).

Mesmo com todo o aparato tecnológico e novas descobertas na área energética, ainda assim até o presente não foram encontrados substitutos comparáveis ao petróleo e ao gás natural, no que diz respeito à densidade energética, à transportabilidade e a outras características, que lhes conferem as qualidades para serem usados em larga escala nos transportes, na indústria e na agricultura. Assim, o desenvolvimento subsequente à Revolução Industrial apoia-se em bases fisicamente insustentáveis em longo prazo. (CARVALHO, 2009).

A crescente exploração de petróleo ofereceu as condições básicas para o vertiginoso desenvolvimento da indústria automobilística, com seus fornecedores e subfornecedores e uma poderosa estrutura de comercialização, que se estende por todo o mundo, em paralelo à rede de distribuição de combustíveis. (MORAIS, 2013).

A história da energia no Brasil começou a mudar seu rumo a partir da segunda guerra mundial. Até 1940, a principal fonte primária de energia do país era a lenha, que respondia por mais de 75% do consumo energético. Nessa época, os processos de urbanização e industrialização e o conseqüente desenvolvimento dos transportes rodoviários induziram um rápido crescimento do consumo de energia, fatores responsáveis por levar país a implantar dois sistemas fundamentais: o elétrico, para abastecer as cidades, o setor de serviços e uma parte das indústrias; e o do petróleo e gás, para suprir os transportes e outra parte das indústrias. (CEMIG, 2012; EPE, 2007).

Do início do século passado até meados da década 1950, o sistema elétrico brasileiro foi controlado por grupos estrangeiros. Entretanto, essa realidade foi se modificando ao longo do tempo, pois, com a evolução em curso, houve um estímulo do desenvolvimento da tecnologia nacional nos campos da engenharia de centrais hidroelétricas, indústrias de material elétrico e componentes mecânicos e eletrônica de instrumentação e controle. Ou seja, isso fez com que o Brasil se consolidasse numa importante indústria de equipamentos eletromecânicos, o que favoreceu a criação de firmas de engenharia e consultoria, além de órgãos de pesquisa e laboratórios ligados às instituições públicas e a empresas privadas. (BARRETO FILHO, 2012).

A chamada “Revolução Verde”, entre as décadas de 1960-1970, foi a época de maior incremento tecnológico no meio rural, a partir da invenção e disseminação de novas sementes e práticas agrícolas. Deveu-se, em última análise, à inserção de fertilizantes e pesticidas de origem petroquímica e à mecanização das atividades rurais, alimentada a

combustíveis derivados do petróleo, tudo isso em descompasso com o ciclo de regeneração natural dos solos. (KUNSTLER, 2005).

Até o início dos anos 1970, o álcool era considerado um subproduto da indústria açucareira. Essa realidade começou a mudar em 1973, com a ocorrência da primeira grande crise do petróleo, causada pelo choque de preços. Diante disso, ganharam impulso os estudos sobre o emprego do álcool como combustível complementar da gasolina. Conseqüentemente, foi instituído o Plano Nacional do Álcool, em junho de 1975 e, em novembro do mesmo ano, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com a finalidade de promover a substituição, em larga escala, dos combustíveis derivados de petróleo, por álcool e, paralelamente, o apoio ao desenvolvimento de tecnologia adequada para a adaptação dos motores Otto a gasolina, até então usado pelas montadoras de automóveis instaladas no Brasil. Porém, houve a fase de "desaceleração e crise", caracterizada pela constância da produção de etanol hidratado e queda da produção dos veículos a álcool, sendo o principal fator que gerou a crise a queda no preço do petróleo e seus derivados e o desabastecimento ocorrido em 1989, que afetou a confiança do consumidor. (MORAES; BACCHI, 2014).

Com a segunda crise do petróleo, em 1979, tornou-se mais evidente para o país a necessidade de investimentos em fontes complementares, tanto que o Proálcool só se desenvolveu aceleradamente até meados da década de 1990, com uma estrutura financeira dependente basicamente do governo (Petrobras), já que os empresários privados não contribuíam para a criação de um modelo financeiro viável para as atividades de produção, transporte e distribuição de etanol, que fosse independente da Petrobras. (MORAIS, 2013).

Ao longo do século XX, o Brasil experimentou intenso desenvolvimento econômico, que se refletiu numa crescente demanda de energia primária. Entre os fatores que determinaram tal crescimento alinham-se um expressivo processo de industrialização, com a instalação de plantas energo-intensivas, e uma notável expansão demográfica, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização. (TOLMASQUIM *et al.*, 2007). Analisando-se como ponto inicial o período, a partir de 1970, a série histórica da evolução do consumo de energia e do crescimento populacional, indica que, naquele ano, a demanda de energia primária era estimada em 68,01 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), enquanto a população atingia 93 milhões de habitantes. Já em 2000, a demanda de energia quase triplicou, quando comparada à estimada em 1970, alcançando 197,06 milhões de tep, e uma população estimada em 170 milhões de habitantes. (EPE, 2015b).

Deste modo, as mudanças implantadas no setor elétrico no país, ao longo da última década, trouxeram importantes alterações institucionais, orientadas por uma

perspectiva de autorregulação pelo mercado, que acabou por se mostrar frágil e ineficiente, como ficou exposto no racionamento de energia elétrica ocorrido entre 2001 e 2002. Desde então, tornou-se evidente a necessidade de um novo ordenamento setorial para fazer frente aos entraves e inadequações que colocavam em risco o suprimento às demandas presentes e as expansões para garantir atendimento às projeções futuras. (EPE, 2007).

3.2 Matriz energética: realidade mundial e brasileira

É válido frisar que analisar as fontes de energia é concentrar-se na verificação de um dos recursos mais estratégicos para as nações, uma vez que sua existência serve como garantia para a conservação dos processos produtivos, manutenção da oferta interna, resultando na definição das relações externas, no que concerne à dependência de importação. Ou seja, a problemática energética de um país exerce uma série de impactos sobre o desenvolvimento socioeconômico e sobre o meio ambiente. Isso vai depender dos tipos de fontes energéticas mais utilizadas; do nível de emissão de gases do efeito estufa; modelo de gestão adotado; das técnicas usadas, das políticas públicas voltadas para o setor energético, bem como as instituições que concedem suporte e regulação são estratégicas entre outros. Isto porque a energia é um insumo essencial ao crescimento econômico e ao desenvolvimento de um país.

Segundo Silva (2012), com vista à diminuição da dependência dos combustíveis fósseis e à procura de uma energia econômica e limpa, na segunda metade do século XX, apostou-se na energia nuclear. Iniciou-se a implantação das energias renováveis e foi introduzido o conceito de reciclagem e recuperação de energia dos resíduos agrícolas, urbanos e industriais. No entanto, a energia atômica, apesar de ainda hoje ser a base para geração de eletricidade em alguns países industrializados, não se afirmou como uma alternativa credível quando comparada aos outros combustíveis não renováveis, por motivos econômicos, de segurança e ambientais.

Para Freitas (2011), não adianta apenas ressaltar que determinado país possui uma matriz energética substancialmente de origem fóssil (não renovável), há a necessidade de salientar, além deste fator que, para constituir o conjunto final das fontes utilizadas por uma nação, deve-se entender que ela foi sendo composta conforme a necessidade que se tinha quanto à utilização de energia. Nessa perspectiva, a formação se fez basicamente com a utilização dos recursos naturais mais abundantes e disponíveis no território de cada país. Desde o princípio da sua utilização, a energia foi gerada a partir de diversas fontes. De acordo

com esta concepção, pode ser classificada em dois grupos, de acordo com suas fontes energéticas: renováveis e não renováveis.

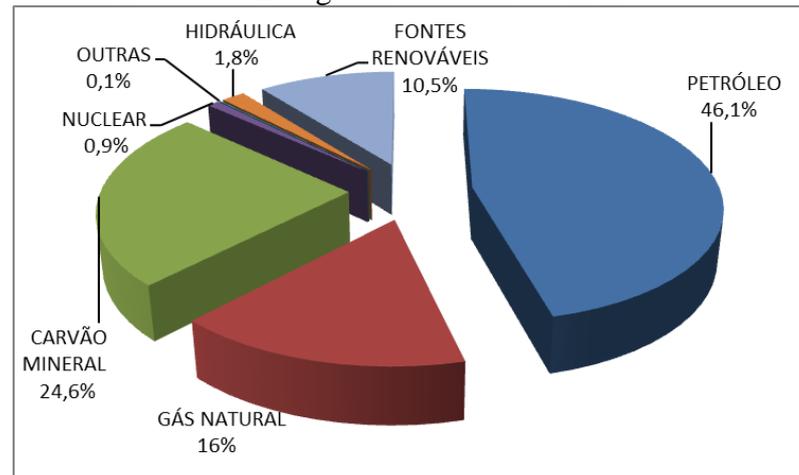
Essa definição pode ser encontrada no trabalho de Carvalho (2009), o qual esquematiza um modelo de classificação das diversas fontes de energia empregadas pela sociedade, em estoques, depósitos e fluxos. As fontes fósseis de origem fotossintética são formadas há centenas de milhões de anos, tais como petróleo, gás e carvão. Embora não oriundos de radiações solares, os minérios de urânio e de tório também constituem depósitos e, portanto, são classificados como não renováveis, na escala temporal humana. Já os fluxos naturais renováveis, como as radiações solares e fenômenos decorrentes, tais como ventos, ciclo hidrológico, crescimento de plantas, dentre outros, podem ser gerados de processos fotossintéticos recentes e são renováveis na escala temporal humana. Os fundos podem gerar fluxos sustentáveis, desde que sua exploração não seja predatória. Ou seja, são potencialmente renováveis, assim como: plantações, florestas, represas, dentre outras.

Além desta classificação, a energia pode dividir-se em duas categorias: primária e secundária. A energia primária⁶ corresponde aos recursos energéticos que se encontram disponíveis na natureza, como petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa ou solar. Já a energia secundária é obtida a partir da transformação das fontes primárias, como é o exemplo da eletricidade e os derivados energéticos do petróleo, como a gasolina ou diesel, exemplos de energias secundárias existentes no dia-a-dia. (EPE, 2015b).

Deste modo, o custo de se produzir energia (considerando a disponibilidade dos recursos naturais) é que determinou, em um grande número de países, a matriz energética que até hoje vem sendo utilizada. Nisso foi possível delimitar o perfil dos países, de acordo com as fontes energéticas em uso. Assim como estão expostos nos Gráficos 1 e 2, comparativamente, de acordo com o ano em análise.

⁶ No Balanço Energético Nacional (BEN) também são consideradas outras fontes primárias a partir de vegetais e resíduos industriais, utilizados para a geração de vapor, calor, etc. (EPE, 2015b).

Gráfico 1 - Matriz Energética Mundial em 1973



Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional 2015 (EPE, 2015b).

A composição da matriz energética mundial, em 1973, utilizava mais intensivamente o petróleo e seus derivados (46,1%), que são reconhecidos, ainda hoje, como a principal fonte energética existente no mundo. Devido à sua ampla utilidade, o petróleo, possivelmente deverá permanecer como a principal fonte de energia mundial, até que haja restrição de oferta. Essa, por sua vez, acarreta no aumento do preço do barril, a exemplo do que ocorreu na crise do petróleo (em 1973 e 1979), que foi provocada por grande instabilidade dos preços, difundindo efeitos sobre a economia mundial. (FREITAS, 2011).

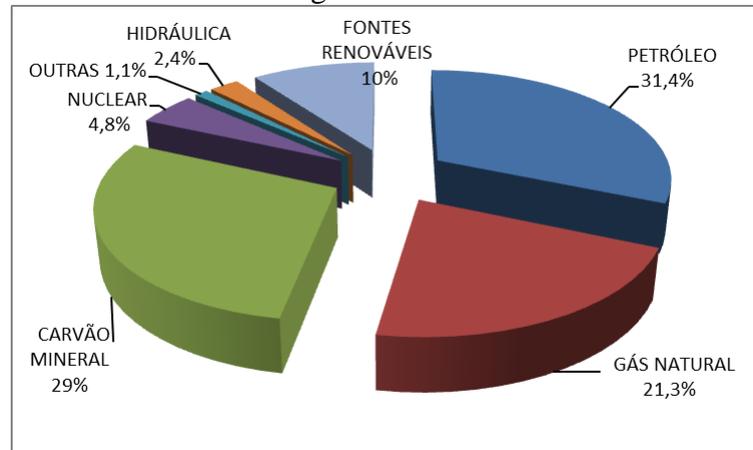
Em segundo lugar, vem o carvão mineral (24,6%), seguido do gás natural (16%), das fontes renováveis (10,5%) e das outras fontes em menores proporções: hidráulica (1,8%), nuclear (0,9%) e outras (0,1%). O que se observa é que a quase totalidade da matriz é composta por fontes não renováveis de origem fóssil, cenário bastante comum na década de 1970.

Segundo Barros (2007), inúmeras transformações ocorridas no sistema mundial, a partir da segunda metade do século XX, foram evidenciadas pela importância estratégica da disponibilidade de energia para a competitividade e o desenvolvimento econômico, social e político das nações. Soma-se a estes fatores a crise energética, como consequência das iminentes e comprovadas limitações na produção do petróleo, que passou a atingir, direta ou indiretamente, todas as nações, comprometendo o seu grau de dependência externa, a sua competitividade e as suas possibilidades de desenvolvimento.

Comparativamente ao cenário anterior, no Gráfico 2, evidencia-se o aumento da participação das fontes não renováveis (carvão mineral, nuclear, gás natural e outras) e, em menor proporção, da energia hidráulica. Houve uma queda 4,76% nas fontes renováveis, ou seja, mesmo com todas as conscientizações realizadas, no intuito de diminuir o uso de fontes

poluentes que impactam negativamente o meio ambiente, mesmo assim a tendência da década de 1970 ainda permanece na atualidade.

Gráfico 2 - Matriz Energética Mundial em 2012



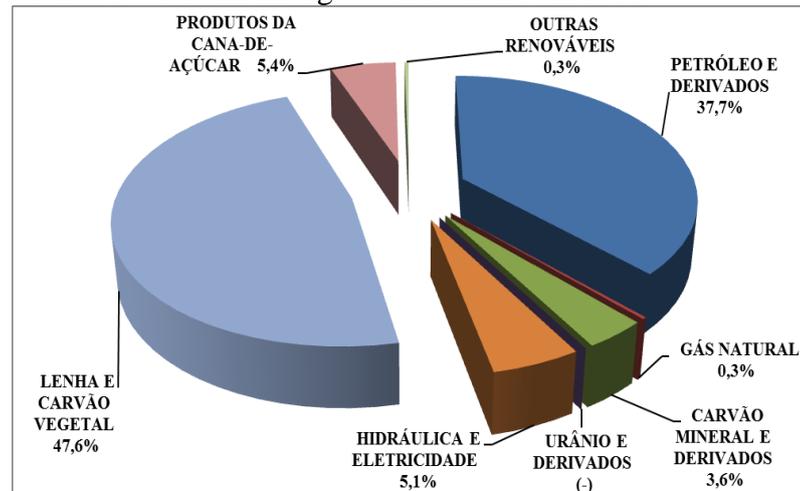
Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional 2015 (EPE, 2015b).

No Brasil, os dados energéticos são fornecidos por meio do Balanço Energético Nacional (BEN), disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), sendo que é publicado anualmente o relatório fundamental para atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético nacional.

Frente à realidade mundial, o cenário encontrado no Brasil em 1970 (Gráfico 3) se mostrou um pouco distinto do encontrado no Gráfico 1, porém, a presença do petróleo é uma tendência comum, sendo sua participação em torno de 37,7%. A maior participação na matriz era da lenha e carvão vegetal (47,6%), seguida dos produtos da cana-de-açúcar (5,4%), hidráulica e eletricidade (5,1%), carvão mineral e derivados (3,6%), gás natural (0,3%), além de outras renováveis (0,3%) e sem incidência de Urânio e derivados. A realidade brasileira é distinta dos outros países, devido a inúmeros fatores, mas a disponibilidade das fontes energéticas pode ser considerada como fator primordial para o delineamento do perfil nacional.

O grau de industrialização e desenvolvimento, aliado ao clima (regiões de clima frio consomem mais energia) e à população total, determinam o quão intensiva é uma nação em relação à utilização de energia. (FREITAS, 2011).

Gráfico 3 – Matriz Energética Brasileira em 1970

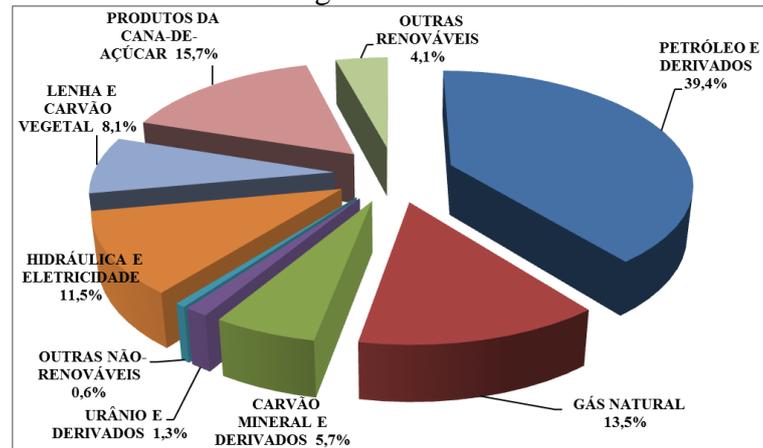


Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional 2015 (EPE, 2015a).

No Brasil, duas diretrizes econômicas marcaram o início dos anos 1980: (a) substancial expansão da indústria intensiva em energia (principalmente setores de exportação como: aço, alumínio e ferroligas) e (b) adoção de políticas de redução do consumo de petróleo e seus derivados. (EPE, 2007). Ao longo desse percurso evolutivo, o país foi modificando o seu perfil energético, adotando novas políticas de incentivo, inovando os processos produtivos, com adoção de novas fontes, e seguindo modelos energéticos mais eficientes, os quais têm como objetivo produzir mais, utilizando menos recursos naturais.

Contudo, o Gráfico 4 mostra que as fontes não renováveis ainda são bem expressivas no cenário atual, com elevação dos níveis de participação das principais fontes, ressaltando o petróleo e derivados (39,4%) e o gás natural (13,5%). Já as fontes renováveis, tiveram maior destaque para a redução da lenha e carvão vegetal, ficando apenas com a participação de 8,1%. Já para as outras fontes houve um aumento na participação dos produtos da cana-de-açúcar (15,7%), hidráulica e eletricidade (11,5%) e outras renováveis (4,1%). O cenário energético atual foi representado pelo Gráfico 4.

Gráfico 4 - Matriz Energética Brasileira em 2014



Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional 2015 (EPE, 2015a).

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica, que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no país, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional, mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. (EPE, 2015a). No entanto, o fomento ao uso de outras fontes renováveis e alternativas tem se dado, principalmente, em função da necessidade de diversificar a matriz energética do setor elétrico, ao contrário de muitos países, cuja base da matriz é predominantemente fóssil.

De acordo com o Relatório do Balanço Energético Nacional 2015 - Ano base 2014, para o lado do consumo, o setor residencial apresentou crescimento de 5,7%. O setor industrial registrou uma queda de 2,0% no consumo eletricidade em relação ao ano anterior. Os demais setores (público, agropecuário, comercial e transportes), quando analisados em bloco, apresentaram variação positiva de 7,0% em relação ao ano de 2013. O setor energético cresceu 4,8%. Em 2014, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 133.914 megawatt (MW), o que significa um acréscimo de 7.171 MW. (EPE, 2015b).

Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, enquanto as centrais térmicas responderam por 18,1% da capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 37,6% restantes de aumento do grid nacional. (EPE, 2015b).

Nesse sentido, algumas fontes alternativas com grande potencial de aproveitamento, como a energia eólica, solar e biomassa, apresentam ainda a vantagem de poderem ser utilizadas como complemento à produção das usinas hidrelétricas. Uma vez que

a complementação está sendo feita por meio de termelétricas, movidas a combustíveis fósseis, nos períodos em que os níveis dos reservatórios ficam baixos, correspondem aos meses do ano em que há necessidade de utilização de outras fontes para suprir a demanda nacional.

Para a Empresa de Pesquisa Energética (2015b), no cenário para as fontes não renováveis, a produção nacional de petróleo cresceu 11% em 2014, atingindo a média de 2,25 milhões de barris diários, dos quais 93% são de origem marítima. Em relação aos estados produtores, o Rio de Janeiro foi responsável pela maior parcela: 68% do montante anual. Já a produção terrestre (*onshore*) continua sendo liderada pelo estado do Rio Grande do Norte, com 30% do total. A produção de Xisto subiu 11%, atingindo um total de 0,3 milhões de metros cúbicos (m³).

O crescimento na produção de petróleo é resultante, em grande parte, pela entrada em operação de plataformas na Bacia de Campos, no pós-sal e pré-sal, da Bacia de Santos. Também contribuíram significativamente para a elevação na produção do petróleo, a estabilidade da produção em unidades de operação localizadas na Bacia de Campos Norte e Nordeste do Brasil, além do aumento no número de poços produtores e injetores interligados no país. (EPE, 2007).

No caso do gás natural, a média diária de produção, em 2014, foi de 87,4 milhões de m³/dia e o volume importado foi de 52,9 milhões de m³/dia. Com isto, a participação do gás natural na matriz energética nacional atingiu o patamar de 13,5%. Na geração térmica, em relação ao gás natural (incluindo autoprodutores e usinas de serviço público) houve um acréscimo de 17,5%, atingindo o patamar de 81,1 terawatt hora (TW.h). Em 2014, o gás natural destinado à geração de energia elétrica alcançou uma média de 51,7 milhões m³/dia, representando um aumento de 20,9% em relação a 2013. (EPE, 2015b).

Na geração elétrica, o carvão utilizado é o carvão vapor, predominantemente de origem nacional, cujos estados produtores são: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A demanda de carvão vapor para este uso final aumentou em 9,4%, em 2014, em relação ao ano anterior.

3.3 Planejamento energético: ferramenta de direcionamento da matriz energética brasileira

De acordo com Costa (2001), até o início da década de 1970, a atividade de planejamento energético possuía uma lógica relativamente simples e, de certa forma, bastante similar àquela do planejamento econômico: o atendimento da demanda a um mínimo custo.

Partindo para alguns segmentos específicos do setor energético, como a eletricidade, o carvão e o petróleo, a preocupação do planejamento energético se voltava para o suprimento de recursos energéticos no âmbito da oferta, sob a ótica de menor custo, de forma a assegurar a crescente e, muitas vezes estimulada, demanda. (CIMA, 2006). Vale ressaltar, que a variável “custo”, incluída no planejamento tradicional, restringia-se às implicações financeiras (fixas e operacionais) de expansão da capacidade de oferta de energia, não sendo observado, até então, aspecto de ordem social ou ambiental ligado à implementação da alternativa de suprimento, ou seja, ainda permanecia uma visão tradicionalista, no que diz respeito às medidas de planejamento nacional.

Deste modo, a dinâmica de substituição dessas fontes não era considerada, resultando em uma maior rigidez, que servia de justificativa para a divisão em setores do planejamento. (BAJAY, 2013). Isto porque a principal preocupação do planejamento energético incidia na otimização setorial do atendimento da demanda energética que, por sua vez, era estimada a partir de projeções empíricas (econométricas), em função do crescimento econômico. (CIMA, 2006). No entanto, sua aplicação se limitava a estudos setoriais e independentes, baseados em um planejamento não integrado, que muitas vezes induziam a conflitos de objetivos, além de baixa otimização intersetorial.

Nessa concepção, pode-se considerar que o entendimento da relação entre o uso da energia e o desenvolvimento econômico e social de uma nação foi e ainda permanece inquestionável. Isto se deve à associação entre crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e crescimento do consumo energético, que era visto como uma relação de pouca flexibilidade, ou seja, um crescimento do PIB era consequência de um crescimento de similar proporção do consumo energético. (JANNUZZI *et al.*, 1997; CIMA, 2006; FREITAS, 2011).

Para Cima (2006), o desenvolvimento e o uso de modelos para o estudo do comportamento da demanda energética eram restritos a alguns governos e companhias energéticas, anteriormente à crise energética da década de setenta. Isto porque se tratava de modelos econométricos simplificados, os quais relacionavam a demanda energética com indicadores macroeconômicos agregados, como o PIB, valor adicionado setorial e, em alguns casos, a preços de combustíveis. Nesse entendimento, caracterizavam-se por sua natureza empírica, por meio de ajustes em uma função econométrica, na tentativa de se estabelecerem relações causais.

Assim, os choques do petróleo representaram uma ruptura com o processo relativamente estável de crescimento econômico dos países industrializados. Este fato levou, paralelamente, à resultante crise de energia que ameaçava as probabilidades de crescimento

dos países em desenvolvimento, bem como no Brasil que, como consequência do cenário da época se afundou em sérias crises financeiras, em decorrência do impacto dos preços nas balanças de pagamento e do crescente endividamento externo.

Como estratégia de sobrevivência à crise, as nações se viram obrigadas a reduzir significativamente a dependência externa das fontes derivadas do petróleo. A necessidade de mecanismos de atuação governamental, no intuito de estimular o uso eficiente da energia, de forma a amenizar essa dependência, levou à formulação e implementação de uma série de políticas energéticas em todo o mundo industrializado. (GELLER, 2003; SCHIPPER *et al.*, 2000).

A grande maioria das políticas foi adotada nas décadas de 1970 e 1980, as quais pertenciam a um conjunto de alternativas cujas prioridades variavam de acordo com os objetivos das políticas energéticas nacionais dos países sendo consideradas suas situações econômicas, sociais, climáticas, geográficas e políticas. Dessa forma, seguiam as seguintes premissas. (IEA, 1981):

- redução da dependência e vulnerabilidade em relação ao petróleo: medidas de redução e diversificação das importações e estímulo da exploração e produção nacional de petróleo e gás;
- diversificação de fontes de energia: fósseis (como carvão e gás natural) e derivadas de biomassa (como o carvão vegetal e o etanol);
- maior investimento em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias: maior capacitação científica voltada para outras formas de conversão de energia, como a solar, eólica, pequenas centrais hidrelétricas e identificação de tecnologias menos intensivas em energia;
- busca pela maior eficiência energética: intensificação dos esforços em conservação de energia, aumento da produtividade energética, redução da intensidade energética e diminuição de perdas;
- sistematização e implementação do planejamento energético: estímulo ao estudo de melhores ferramentas analíticas para o planejamento energético e qualidade das informações acerca da oferta e demanda de energia.

Outra percepção após a crise foi o questionamento de até que ponto o aumento no preço do petróleo, até então sem precedentes, e a consequente crise econômica afetariam o consumo de energia, ou ainda, qual o impacto que instrumentos de política energética, não relacionados aos preços, poderiam ter na demanda energética. Estas eram algumas das questões fundamentais levantadas por economistas e analistas do setor de energia. A partir

dessas indagações, a comunidade científica foi motivada por um questionamento do processo tradicional de planejamento, o qual era baseado na expansão dos recursos de oferta, sem que se considerassem alternativas de uso eficiente de energia pelo lado da demanda. (CIMA, 2006).

Além da problemática assentada nas externalidades negativas geradas na produção de energia, a partir de recursos naturais não renováveis, em outro nível de análise, a crise energética também é oriunda de problemas de escassez de oferta. Este fato deu início, na década de 1990, a uma intensificação dos processos de privatização na América Latina de empresas do setor elétrico, o que contribuiu para que a disponibilidade de energia elétrica ficasse à mercê dos investimentos feitos por empresas privadas. (FREITAS, 2011).

Ainda de acordo do Freitas (2011), o Brasil está inserido entre os países em desenvolvimento que sofrem com as pressões de mudança na configuração de suas matrizes energéticas, ou seja, os desenvolvidos e, principalmente, os subdesenvolvidos que ainda empregam intensivamente recursos como petróleo e carvão. Trata-se de um problema generalizado entre as nações, com níveis diferenciados, dependendo da natureza dos recursos que configuram a matriz energética utilizada. Nessa perspectiva, são buscadas alternativas em prol de mudanças nos recursos energéticos, com o intuito de obter uma matriz menos poluente.

Nessa conjuntura, o país dispõe de recursos naturais (água abundante, solo fértil e agricultável, intensa incidência de sol e vento, distribuídos em quase todos os meses do ano) que contribuem para a existência de vantagens relativas que possibilitam a constituição de uma matriz energética baseada em fontes renováveis. Verifica-se que o Brasil possui vantagens significativas em relação à configuração de sua matriz energética, por ser menos intensiva em recursos não renováveis, comparativamente a outros países. (FREITAS, 2011).

A partir dessa contextualização, a expansão da quantidade de energia ofertada é justificada pela necessidade de continuar atendendo a uma demanda cada vez maior por parte dos setores produtivos, da população. Além disso, evidencia-se a necessidade de produzir energia, a partir de fontes renováveis e menos poluentes, atendendo às exigências dos órgãos ambientais, bem como foi fixado recentemente pela Conferência do Clima das Nações Unidas, a qual foi concluída com a adoção de um novo acordo climático global. O Acordo de Paris, como tem sido chamado por conta do local onde a COP-21 ocorreu, contou com o amplo apoio da comunidade internacional e dos Estados-membros, contabilizando 195 países. (ONU, 2015). Nesse acordo, enfatiza-se que as economias mundiais necessitam adotar novos modelos de desenvolvimento que atentem a uma diminuição das emissões de gases do efeito

estufa que, conseqüentemente, reduzirão os efeitos das mudanças climáticas. Para isso, é necessário haver um melhor planejamento energético nos países, bem como no Brasil.

Essa discussão faz-se necessária, pelo fato de os impactos causados pela geração de energia possuir alta prioridade nos planejamentos energéticos. Desta forma, avaliar a matriz energética do ponto de vista de energias renováveis é fator fundamental no caminho para a sustentabilidade, juntamente com a tendência de reduzir a dependência externa de energia. Essa perspectiva pode ser mensurada pela oferta interna de energia renovável. Em contrapartida, o indicador de oferta interna de energia não renovável permite avaliar o grau do desenvolvimento de um país e sua utilização de fontes de energia poluentes e não renováveis. Isto significa dizer que países os quais possuem uma matriz energética composta, em boa parte, de fontes de energia não renováveis, terão como desafio para as próximas décadas desenvolverem novas tecnologias na geração de eletricidade. Como tal, deverão gastar grandes montantes em investimentos em pesquisa e desenvolvimento, uma vez que, acompanhar o progresso deste indicador, bem como a evolução dos investimentos em pesquisa na área energética, permite avaliar o grau de sustentabilidade, e os desafios inerentes a essa trajetória.

3.4 Reforma no setor elétrico brasileiro

Apesar de suas características favoráveis ao desenvolvimento do setor energético, observa-se que o avanço do Brasil só foi mais bem elaborado tardiamente, comparativamente aos outros países. Nisso, o modelo institucional do setor de energia elétrica passou por duas grandes mudanças desde a década de 1990. A primeira envolveu a privatização das companhias operadoras e teve início com a Lei n. 9.427, de dezembro de 1996, que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e determinou que a exploração dos potenciais hidráulicos fosse concedida por meio de concorrência ou leilão, em que o maior valor oferecido pela outorga (Uso do Bem Público) determinaria o vencedor.

Já a segunda ocorreu em 2004, com a introdução do Novo Modelo do Setor Elétrico, o qual teve como objetivos principais: garantir a segurança no suprimento; promover a modicidade tarifária; e promover a inserção social, em particular pelos programas de universalização (como o “Luz para Todos”). Sua implantação marcou a retomada da responsabilidade do planejamento do setor de energia elétrica pelo Estado.

Logo, uma das principais alterações promovidas em 2004 foi a substituição do critério utilizado para concessão de novos empreendimentos de geração. Diferentemente do

que havia sido definido na mudança em 1996, passou a vencer os leilões o investidor que oferecesse o menor preço para a venda da produção das futuras usinas. Além disso, para a comercialização o novo modelo instituiu-se dois ambientes para a promoção de contratos de compra e venda de energia: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), exclusivo para geradoras e distribuidoras e; o Ambiente de Contratação Livre (ACL), do qual participam geradoras, comercializadoras, importadores, exportadores e consumidores livres. (GUERRA; YOUSSEF, 2011).

Nessa trajetória de mudanças, os instrumentos legais criaram novos agentes. Um deles foi a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), cuja função é realizar os estudos necessários ao planejamento da expansão do sistema elétrico. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é outro agente que abriga a negociação da energia no mercado livre.

3.5 Dualidade entre dois paradigmas

Segundo Barreto Filho (2012), adota-se como padrão revelador da orientação metodológica desenvolvida, a dualidade entre duas vertentes gerais, principais, ou predominantes no problema da evolução da Matriz Energética Brasileira, assim como essa problemática é tratada nas conferências mundiais que discutem o suprimento energético:

- a) a expansão do suprimento via fontes convencionais (principalmente as fontes prevaletentes no país): construção de grandes hidrelétricas; combustíveis fósseis, derivados do petróleo e carvão mineral;
- b) ampliação dos incentivos às fontes renováveis, tais como: energia eólica, energia a partir de biomassa, energia solar e algumas outras fontes com menor impacto na composição do complexo sistema de suprimento energético, entretanto, com marcante conteúdo tecnológico – correspondente a uma mudança de paradigma no sentido da busca por participação crescente de fontes alternativas, a partir da incorporação de tecnologias de ganhos de eficiência energética e mudança de postura na relação produtor-consumidor de energia, através da introdução de plantas energéticas de menor tamanho, distribuídas e de diferentes graus de integração com as redes locais ou nacionais de suprimento energético.

O poder de escolha e para que caminho seguir vai depender das políticas energéticas adotadas, do plano governamental e, principalmente, da aceitação de novos

métodos de produção, que tragam, não só a melhoria da eficiência energética, mas também o equilíbrio do sistema geral, considerando a situação atual, porém, com a visão de curto, médio e longo prazo. O suprimento energético brasileiro, apesar de ser referência mundial, ainda necessita reformular as diretrizes do planejamento energético, considerando cenários menos impactantes, no que diz respeito às fontes energéticas utilizadas.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Nesta seção será descrito o método de análise escolhido para o tratamento dos dados da referente pesquisa.

4.1 Delimitação da área de estudo

Buscou-se fazer uma análise com abrangência em nível nacional, uma vez que foi considerado todo o território brasileiro, a partir da inclusão de todas as Unidades Federativas, de forma agregada.

A área de estudo, o Brasil, é um país que integra a América do Sul. É cortado pelo Equador e Trópico de Capricórnio, com a maior parte de suas terras situadas nas latitudes mais baixas do globo, o que lhe confere as características de país tropical. Apresenta extensão territorial mantida em 8.515.767,049 km², publicado no DOU nº 234 de 08/12/2015, conforme Resolução nº 07, de 4 de dezembro de 2015. (IBGE, 2016a). Configura-se como o maior país do Continente Sul-americano e, no mundo, só é superado pela Rússia, Canadá e República Popular da China, se consideradas apenas as terras contínuas, e pelos Estados Unidos, levando-se em conta as terras descontínuas. (IBGE, 2016b).

4.2 Base de dados

Os dados utilizados na pesquisa são de natureza secundária, adquiridos a partir dos principais órgãos nacionais e, também, em nível internacional, os quais possibilitaram obter o delineamento da pesquisa. O período analisado compreende a série histórica de 1970 a 2014.

A pesquisa realizada só foi possível devido à disponibilidade de informações oriundas do Balanço Energético Nacional 2015 (BEN), divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação Getúlio Vargas (FGV), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), *U.S. Bureau of Labor Statistics* (BLS) e a *International Energy Agency* (IEA).

A escolha dos dados justifica-se, primeiramente, pela disponibilidade de informações, fator este limitante para mensuração dos índices propostos pela pesquisa, assim como previsto nos objetivos. Por essa razão, os dados utilizados e os órgãos referenciados

detém o conjunto de informações necessárias a essa finalidade, pois o trabalho pretende analisar a dimensão econômica do suprimento da Matriz Energética Brasileira.

Para se chegar às análises e utilização do método escolhido na pesquisa, é necessário conhecer previamente os dados que servirão de base para se chegar aos resultados desejados, bem como fundamentá-los de acordo com o embasamento teórico, considerando alguns autores que realizaram trabalhos na área energética, os quais justificam os indicadores escolhidos, descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Indicadores de sustentabilidade da Matriz Energética Brasileira

	Indicadores	Fonte	Descrição	Unidade	Autor (es)
Dimensão econômica	1. Produção de energia primária renovável <i>per capita</i>	EPE - MME	Produção de energia primária realizada em território nacional, dividida em dois grupos: renováveis e não renováveis por habitante.	Tonelada equivalente de petróleo (tep). 10 ³ tep/hab.	IISD (1999); IAEA (2003; 2007); Cima (2006)
	2. Produção de energia primária não renovável <i>per capita</i>				
	3. Oferta interna de energia renovável <i>per capita</i>		Parcela do total de energia produzida e destinada para consumo final que provém de fontes de energia renováveis por habitante.		IAEA (2003; 2005); Santos (2010)
	4. Oferta interna de energia não renovável <i>per capita</i>		Permite aferir o grau do desenvolvimento de um país e sua utilização de fontes de energia poluentes e não renováveis por habitante.		
	5. Dependência externa de energia		Diferença entre a demanda total de energia e a produção de energia primária		
Outros dados	População residente	IBGE; IPEA	Total de habitantes, dados agregados a nível Brasil	Número de habitantes	IAEA (2003; 2007); Cima (2006)
	Produto Interno Bruto (PIB)	IBGE; IPEA	Importante indicador causal indireto do uso da energia	Reais (R\$) (valores de 2014)	IAEA (2003; 2007); Cima (2006); Santos (2010)

Continua

Conclusão

	Indicadores	Fonte	Descrição	Unidade	Autor (es)
Outros dados	Preços do petróleo	IEA	Petróleo produzido em Dubai, localizada nos Emirados Árabes Unidos	Dólar (US\$)	
	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI)	FGV	Usado como deflator de valores monetários		
	Consumer Price Index (CPI-U)	BLS	Índice de Preços ao Consumidor usado para deflacionar os preços do petróleo (US\$)		

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.1 Tratamento dos dados

Algumas informações relevantes são apresentadas no Quadro 5. É necessário caracterizar os componentes da matriz energética, já que o objeto de estudo permeia as suas principais fontes.

Quadro 5 - Descrição das fontes energéticas

Linhas da Matriz Energética Brasileira– Empresa de Pesquisa Energética	Descrição	Fontes
Produção de Energia Primária	Produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta	Petróleo, Gás Natural, Carvão Vapor, Carvão Metalúrgico, Urânio (U ₃ O ₈), Energia Hidráulica, Lenha e Produtos da Cana-de-açúcar (Melaço, Caldo-de-Cana e Bagaço).
Oferta Interna de Energia (produção total (-) exportação (-) não aproveitada (-) reinjeção)	Quantidade de energia que se coloca à disposição para ser transformada e/ou para consumo final.	
Outras Fontes Primárias	Fontes energéticas utilizadas além das fontes convencionais.	Incluem-se neste item resíduos vegetais e industriais utilizados para geração de calor e vapor. Resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica etc.
Dependência externa de energia	Diferença entre a demanda interna de energia (inclusive perdas de transformação, distribuição e armazenagem) e a produção interna.	Petróleo, Gás Natural, Carvão Mineral e Eletricidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para expressar os fluxos que conformam balanços de energia deve-se adotar uma única unidade de medida na agregação das suas diversas variáveis. A unidade básica adotada

na composição do Balanço Energético Nacional (BEN) é a tonelada equivalente de petróleo (tep), pelas seguintes razões:

- a) está relacionada diretamente a um componente energético importante e;
- b) expressa um valor físico;

Os dados referentes à produção e oferta de energia foram transformados em quantidade *per capita*, ou seja, todas as fontes energéticas anuais tiveram suas quantidades divididas pelo total da população residente no Brasil no respectivo ano. Vale ressaltar que os dados fornecidos pelo BEN estão expressos em unidade 10^3 tep, então, antes mesmo de calcular os valores *per capita*, a variável “população” residente foi dividida por 1000 (mil), para que as variáveis ficassem nas mesmas proporções.

Após essa etapa, as variáveis oferta e produção de energia foram transformadas em índices, fragmentadas em suas principais fontes energéticas totalizando oito (8) para cada variável. Os valores percentuais foram calculados por regra de 3 (três) simples, no intuito de facilitar as análises posteriores, como mostra a Equação 1:

$$X = \left(\frac{VA}{VM} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

X : valor transformado em índice (%);

VA : valor atual da série analisada, e

VM : valor máximo da série.

No caso dos preços do petróleo, como eles estão em moeda americana (dólar), foi preciso deflacionar a série de preços utilizando um deflator americano. Para isso, foi utilizado o *Consumer Price Index* (CPI-U), Índice de Preços ao Consumidor, disponibilizado pelo *U.S. Bureau of Labor Statistics*, o qual faz parte do Departamento do Trabalho dos Estados Unidos. Inicialmente, o CPI-U tinha como base 100, o ano de 1982, então foi necessário uma mudança de base para atualizar o efeito da inflação nos preços do petróleo. Nesse caso foi considerado o ano de 2015 como base 100, como é mostrado a seguir:

$$VR = \frac{VN}{CPI} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

VR = valor real;

VN = valor nominal;

CPI = Índice de Preço ao Consumir (EUA) com o ano de 2015 transformado em base 100.

4.3 Método de análise

Para alcançar os objetivos propostos pela pesquisa optou-se por uma análise estatística multivariada dos dados, por ser uma extensão natural das análises univariadas e bivariadas. Enquanto a análise univariada estuda os comportamentos e as distribuições de uma variável isolada, a análise bivariada estuda as associações e correlações e elabora as análises de variância relativas a duas variáveis simultaneamente. A análise multivariada, por sua vez, é utilizada para estudar modelos envolvendo mais de duas variáveis em que todas elas sejam aleatórias e interrelacionadas, de modo que seus diferentes efeitos não possam ser interpretados de forma separada. (FÁVERO *et al.*, 2009).

Dentre as várias técnicas existentes, seja para métodos de interdependência (analisa as relações de um conjunto de variáveis entre si) ou de dependência (analisa a dependência de uma ou mais variáveis em relação às outras, relação causa-efeito), no referente trabalho foi escolhida a técnica de Análise Fatorial (AF), com decomposição em componentes principais. Vale frisar que a finalidade do uso deste modelo é para estimar os pesos relacionados aos índices constituídos a partir das variáveis e que foram os instrumentos de avaliação da pesquisa. Isto no intuito de revelar as relações que devem existir entre as variâncias das variáveis envolvidas na pesquisa, os quais servirão de base para a construção dos índices parciais: Índice da Produção de Energia Renovável (IPREN); Índice da Produção de Energia Não Renovável (IPNREN); Índice da Oferta de Energia Renovável (IOREN) e o Índice da Oferta de Energia Não Renovável (IONREN). Além destes, têm-se os índices agregados: Índice de Produção Energética (IPE), Índice de Oferta Energética (IOE) e o Índice da Dependência Externa de Energia (IDEXT), os quais serão essenciais para a mensuração da sustentabilidade do fornecimento energético brasileiro.

Realizada a etapa de preparação dos dados, foi necessária a execução de alguns testes para validar o uso da Análise Fatorial: normalidade e linearidade e análise da matriz de correlações com valores significativos. Esses testes foram feitos no software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 20. Assim como afirma Fávero *et al.* (2009), mesmo o SPSS não apresentando um teste robusto para validar a normalidade multivariada dos dados, mas apenas univariada, este dispõe de ferramentas alternativas que sugerem a existência ou não de distribuição normal dos dados, tais como os testes de Kolmogorov-

Smirnov e de Shapiro-Wilk, ou a elaboração do Box-Plot. Para a matriz de correlações, os requisitos iniciais de existência de um considerável número de correlações com valores superiores a 0,30 é o que permite dar continuidade à aplicação da técnica de AF.

4.3.1 Descrição da Análise Fatorial (AF)

A Análise Fatorial, ou análise do fator comum, é uma técnica multivariada de interdependência que busca sintetizar as relações observadas entre um conjunto de variáveis interrelacionadas, buscando identificar fatores comuns. Segundo Maroco (2007), trata-se de uma técnica de análise exploratória de dados que tem por objetivo descobrir e avaliar a estrutura de um conjunto de variáveis interrelacionadas, de modo a construir uma escala de medida para fatores (intrínsecos) que, de alguma forma (ou mais ou menos explícita), controla as variáveis originais. A partir das correlações observadas entre as variáveis originais, a AF estima fator (es) comum (ns) que são subjacentes às variáveis e não diretamente observáveis.

Neste sentido, a técnica transforma um conjunto de variáveis correlacionadas em outro grupo que pode ser não correlacionado, de maneira a reduzir a complexidade e facilitar a interpretação dos dados. Assim, a referida técnica busca verificar quantos fatores há no modelo e o que eles representam, embora nomeá-los não seja uma tarefa objetiva.

Agrupar as variáveis em função de suas correlações significa que aquelas as quais compõem determinado fator devem ser altamente correlacionadas entre si e fracamente correlacionadas às variáveis que entram na composição de outro fator qualquer. (FÁVERO *et al.*, 2009). Segundo Johnson e Wichern (2007), um fator representa a combinação linear (variável estatística) das variáveis originais. Logo, os fatores também representam as dimensões latentes (*constructos*) que resumem ou explicam o conjunto original de variáveis observadas.

Inicialmente é necessário frisar que há algumas suposições em Análise Fatorial, a saber:

- **normalidade e linearidade:** desvios na normalidade e na linearidade podem reduzir as correlações observadas entre as variáveis e, portanto, prejudicar a solução.
- **matriz de correlações com valores significativos:** o pesquisador deve garantir que a matriz de correlações apresente valores altos o suficiente para justificar a aplicação da análise fatorial. Se a inspeção visual da matriz de

correlações não indicar um número substancial de valores superiores a 0,30, sua utilização possivelmente será interrompida.

Antes de utilizar a análise fatorial, é preciso identificar a existência de *outliers* e se a distribuição dos dados é viesada. Isto porque esses dois fenômenos podem distorcer os resultados, uma vez que alteram as estimativas das médias e dos desvios padrão e, conseqüentemente, as estimativas das covariâncias e das correlações.

Basicamente, a AF pode ser dividida nas seguintes etapas:

- análise da matriz de correlações e adequações da utilização da AF;
- extração dos fatores iniciais e determinação do número de fatores;
- rotação dos fatores;
- interpretação dos fatores.

A modelagem da análise fatorial, em geral, pode ser representada da seguinte forma:

$$X_i = \alpha_i F + \varepsilon_i \quad (3)$$

Sendo que:

X_i = i-ésimo escore da variável analisada;

F = fator aleatório comum para todas as variáveis medidas;

ε_i = componente aleatório. Normalmente, $E(\varepsilon_i) = E(F) = 0$;

α_i = constante chamada de carga fatorial (*loading*), que mede a importância dos fatores na composição de cada variável (correlação).

O modelo considera que as p variáveis observáveis ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$), extraídas de uma população com vetor de média μ e matriz de covariância Σ , são linearmente dependentes de algumas variáveis não observáveis $F_1, F_2, F_3, \dots, F_m$, denominadas de fatores comuns, e de p fatores adicionais de variação $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_p$, denominadas de erros ou fatores específicos. (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Conforme já apontado anteriormente é denominado *loading* ou carga fatorial, e representa o peso da variável i no fator j , ou seja, o grau de correlação entre as variáveis originais e os fatores.

Efetuada a padronização de X (média 0 e desvio padrão 1), o modelo fatorial passa a ser descrito, genericamente, por meio da Equação 4:

$$X_i = \alpha_{i1}F_1 + \alpha_{i2}F_2 + \dots + \alpha_{im}F_m + \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, p) \quad (4)$$

Neste caso, X_i representa as variáveis padronizadas, as cargas fatoriais, F_m os fatores comuns e os fatores específicos. A Equação 4 também pode ser expressa em notação matricial (Anexo A). Contudo, de acordo com Maroco (2007), o modelo anterior assume as seguintes premissas:

1. os fatores comuns (F_k) são independentes (ortogonais) e igualmente distribuídos, com média 0 e variância 1 ($k = 1, \dots, m$).
2. os fatores específicos (ε_i) são independentes e igualmente distribuídos, com média 0 e variância ψ_i ($i = 1, \dots, p$).
3. F_k e ε_i são independentes.

O termo ψ_i representa a variância de ε_i , ou seja, $\text{Var}(\varepsilon_i) = \psi_i$.

Os fatores podem ser estimados por combinação linear das variáveis, mostrados da seguinte forma:

$$\begin{aligned} F_1 &= d_{11}X_1 + d_{12}X_2 + \dots + d_{1m}X_i \\ F_2 &= d_{21}X_1 + d_{22}X_2 + \dots + d_{2m}X_i \\ &\vdots \\ F_m &= d_{m1}X_1 + d_{m2}X_2 + \dots + d_{mi}X_i \end{aligned} \quad (5)$$

Onde F_m são os fatores comuns, d_{mi} os coeficientes dos escores fatoriais e X_i as variáveis originais. O escore fatorial resulta da multiplicação dos coeficientes d_{mi} pelo valor das variáveis originais. No caso de mais de um fator, o escore fatorial corresponderá às coordenadas da variável em relação aos eixos (fatores).

A comunalidade ($h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2$) representa uma estimativa da variância X_i , que é explicada pelos fatores comuns; ψ_i é a conhecida como especificidade de X_i , uma vez que esta não está ligada ao fator comum. Assim, a comunalidade é um índice da variabilidade total explicada por todos os fatores para cada variável.

$$\text{Var}(X_i) = h_i^2 + \psi_i \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (6)$$

4.3.2 Ajustamento da Análise Fatorial

Para que seja feita a análise fatorial da maneira adequada, é preciso efetuar os seguintes passos: analisar a matriz de correlações, verificar a estatística Kaiser-Meyer-Olkin

(KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett e analisar a matriz anti-imagem. (FÁVERO *et al.*, 2009).

A matriz de correlações deve ser examinada, no intuito de verificar se existem valores significativos para justificar a utilização da técnica. Caso as correlações entre todas as variáveis sejam baixas, talvez a análise fatorial não seja adequada. Ou então, pode-se esperar que as variáveis com altas correlações tenham a tendência de compartilhar o mesmo fator, pois essa matriz tem o papel de medir a associação linear entre as variáveis, através do coeficiente de correlação de Pearson. Entretanto, se a inspeção visual da matriz de correlações não revelar um número substancial de valores superiores a 0,30, interpreta-se como se houvesse fortes indícios de que a utilização da técnica é inadequada.

A aplicação do teste de esfericidade de Bartlett é feita para analisar a matriz de correlações e verificar a adequação da AF. O teste é feito com finalidade de avaliar a hipótese de que a matriz das correlações pode ser a matriz identidade com determinante igual a 1.

Caso a matriz de correlações seja igual à matriz identidade, isso significa que as inter-relações entre as variáveis são iguais a zero (0). Neste caso, deve-se reconsiderar a utilização de análise fatorial. Se a hipótese nula (H_0 : a matriz de correlações é uma matriz identidade) não for rejeitada, isso significa que as variáveis não estão correlacionadas e, nesse caso, não seria adequado o uso da AF. Mas, se a hipótese nula for rejeitada, haverá indícios de que existem correlações significativas entre as variáveis originais. É válido frisar que, neste teste, as variáveis necessitam apresentar normalidade multivariada.

A estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), apresentada na Equação (6), é utilizada para comparar as correlações simples com as correlações fortes. Seus valores variam de 0 a 1, ou seja, avalia se a amostra é adequada ao grau de correlação parcial entre as variáveis, que deve ser pequeno. Assim, quanto mais próximo de zero (0), maiores serão os indícios de que a AF não é adequada (correlação fraca). Já no caso de ser mais próximo de um (1), mais adequada é a utilização da técnica.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (7)$$

Onde:

r_{ij} : coeficiente de correlação simples entre as variáveis;

a_{ij} : coeficiente de correlação parcial.

Os intervalos de análise dos valores da estatística KMO podem ser observados no Quadro 6.

Quadro 6 - Estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

KMO	Análise Fatorial
1 – 0,9	Muito boa
0,8 – 0,9	Boa
0,7 – 0,8	Média
0,6 – 0,7	Razoável
0,5 – 0,6	Má
<0,5	Inaceitável

Fonte: Fávero *et al.* (2009).

Outro requisito da AF é verificar a matriz de correlações anti-imagem, uma forma de obter indícios acerca da necessidade de eliminação de determinada variável do modelo, que também contém os valores negativos das correlações parciais. Espera-se que, quanto maiores os valores da diagonal principal, melhor será a utilização da AF. Contudo, é válido salientar que, por vezes, a baixa correlação de determinada variável com as demais não necessariamente implica sua eliminação, uma vez que esta variável pode representar um fator isoladamente.

4.3.3 Extração dos fatores

O método utilizado no presente trabalho para extração dos fatores foi através da Análise dos Componentes Principais (ACP). Segundo Fávero *et al.* (2009), a ACP considera a variância total dos dados, diferente da AFC, cujos fatores são estimados com base na variância comum.

A ACP tem como característica a busca por uma combinação linear das variáveis observadas, de forma a maximizar a variância total explicada. Caso as variáveis sejam determinadas X_1 , X_2 , X_3 e X_4 e forem altamente correlacionadas, elas serão combinadas de modo a formar um fator que explicará a maior quantidade de variância na amostra. Já o segundo componente terá a segunda maior quantidade de variância e não será correlacionada ao primeiro e, assim, consecutivamente.

4.3.4 Rotação dos fatores

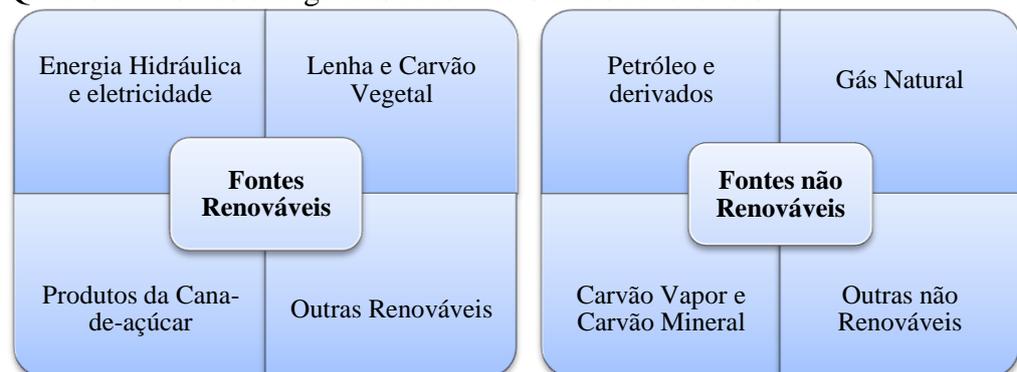
Os fatores produzidos na fase de extração nem sempre são facilmente interpretados. Nesse contexto, a utilização de um método de rotação tem como finalidade principal a transformação dos componentes principais retidos numa estrutura simplificada. (FÁVERO *et al.*, 2009).

Existem dois métodos de rotação que podem ser ortogonais ou oblíquos. Porém, o método utilizado neste trabalho é o de rotação ortogonal, por ser indicado como forma de alcançar uma estrutura mais simples de interpretar. Na rotação ortogonal, os fatores estimados na estrutura inicial são transformados em novos fatores independentes, mantendo-se os valores das comunalidades e a proporção da variância explicada pelo conjunto de fatores. O método rotacional ortogonal utilizado neste trabalho é o *Varimax*, o qual busca minimizar o número de variáveis que têm altas cargas em um fator, no intuito de simplificar a interpretação dos fatores gerados. (FÁVERO *et al.*, 2009).

4.3.5 Indicadores incluídos na Análise Fatorial

Como a análise foi feita com a produção, oferta e dependência externa de energia, o Quadro 7 descreve as fontes energéticas consideradas para a Análise Fatorial.

Quadro 7 - Fontes energéticas renováveis e não renováveis



Fonte: Elaborado pela autora.

Além da elaboração do Índice de Produção Energética (IPE), Índice de Oferta Energética (IOE) e o Índice da Dependência Externa de Energia (IDEXT), foram também elaborados 4 (quatro) índices parciais: Índice de Produção de Energia Renovável (IPREN), Índice de Produção de Energia Não Renovável (IPNREN), Índice de Oferta de Energia Renovável (IOREN) e o Índice de Oferta de Energia Não Renovável (IONREN). Deste modo, os indicadores utilizados na AF são identificados a seguir:

- a) indicadores relacionados à Produção de Energia Primária:
 - PPETROPERC**: produção de petróleo *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **PGNPERC**: produção de gás natural *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - PCVPERC**: produção de carvão vapor *per capita* (10^3 tep/habitante);

- **PONRENERC:** produção de outras energias não renováveis *per capita* (10^3 tep);
 - **PHIDRAPERC:** produção de energia hidráulica *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **PLENERC:** produção de lenha *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **PPCAPERC:** produção de produtos da cana-de-açúcar *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **PORENERC:** produção de outras energias renováveis *per capita* (10^3 tep/habitante).
- b) indicadores relacionados à Oferta Interna de Energia:
- **OPETROPERC:** oferta interna de energia a partir do petróleo e derivados *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **OGNPERC:** oferta interna de energia a partir do gás natural *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **OCMPERC:** oferta interna de energia a partir do carvão mineral *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **ONRENERC:** oferta interna de energia, a partir de outras fontes não renováveis *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **OHIDRAEPERC:** oferta interna de energia, a partir da energia hidráulica e eletricidade *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **OLENCVPERC:** oferta interna de energia, a partir da lenha e carvão vegetal *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **OPCAPERC:** oferta interna de energia, a partir dos produtos da cana-de-açúcar *per capita* (10^3 tep/habitante);
 - **ORENERC:** oferta interna de energia a partir de outras fontes renováveis *per capita* (10^3 tep/habitante);
- c) indicadores relacionados à Dependência Externa de Energia:
- **DEPEXTPETRO:** dependência externa de petróleo (10^3 barril equivalente de petróleo/dia – 10^3 bep/d);
 - **DEPEXTGN:** dependência externa de gás natural (milhões de metros cúbicos - 10^6 m³);
 - **DEPEXTCM:** dependência externa de carvão mineral (mil toneladas - 10^3 t);
 - **DEPEXTE:** dependência externa de eletricidade (Gigawatt-hora –GWh).

Considerando que os indicadores possuem unidades de medida diferenciadas, foi necessário transformar os valores em termos relativos (percentuais) para facilitar a interpretação dos resultados da AF, assim como foi descrito anteriormente.

Com isso, devido ao método de decomposição em componentes principais (que faz com que o primeiro fator contenha o maior percentual de explicação da variância total das variáveis da amostra, o segundo fator contenha o segundo maior percentual, e assim por diante), a ponderação pela proporção de explicação da variância total exprime a importância relativa de cada fator. Procedimentos semelhantes foram realizados por Cunha, Lima e Moura (2005); Melo e Parré (2006) e Anthony e Visweswara Rao (2007). Para calcular os índices, foi utilizada a Equação 8:

$$IB = \sum w_i F_i \quad (8)$$

Onde:

IB = índice bruto;

w_i = proporção da variância explicada por cada fator em relação à proporção total da variância explicada;

F_i = fator gerado pela análise fatorial (escores fatoriais).

A elaboração de um indicador sintético como o proposto neste trabalho envolve a necessidade de se trabalhar com várias unidades de medida, o que ocasiona um problema na hora de consolidar os dados. Portanto, colocá-los em uma mesma escala é parte importante no processo de construção de um índice. Nessa perspectiva há diversas técnicas de padronização, porém, as mais comumente usadas são: a padronização pelo z-score ou a transformação em valores entre 0 (zero) e 1 (um) através do método de Max-Min. No presente trabalho foi utilizada a técnica de Max-Min ou transformação 0-1 para padronizar os índices estimados. Para tanto, para cada índice analisado atribui-se o valor 0 (zero) ao menor valor e 1 (um) para o maior valor da série em análise. Desta forma, para cada valor x compreendido entre o menor valor e o maior, é feita uma transformação dada pela Equação 9:

$$IP_i = \frac{IB_i - IB_{min}}{IB_{max} - IB_{min}} \quad (9)$$

Onde:

IP_i = Índice padronizado transformado da i-ésima observação do índice IB ;

IB_{min} = Valor mínimo do índice IB ;

IB_{max} = Valor máximo do índice IB .

4.4 Taxa Geométrica de Crescimento (TGC)

Para calcular a Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) dos índices estimados, foi necessário utilizar a análise de regressão linear, a qual tem como objetivo estudar a relação entre duas ou mais variáveis explicativas que se apresentam na forma linear, e uma variável dependente métrica. Fávero *et al.* (2009) mostra um modelo geral de regressão linear escrito da seguinte forma:

$$\gamma = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_n X_n + u \quad (10)$$

Em que:

γ : é a variável dependente métrica (cada um dos índices calculados);

α : representa o intercepto (constante);

β_k : ($k= 1, 2, \dots, n$) coeficientes de cada variável (coeficiente angulares);

X_k : variáveis explicativas (métricas ou *dummies*) e;

u : é o termo do erro (diferença entre o valor real de γ e o valor previsto de γ por meio do modelo para cada observação).

Nessa perspectiva, a Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) dos índices parciais (IPREN, INPREN, IOREN e IONREN) e agregados (IPE, IOE e IDEXT) ao longo do período baseada na Equação 10. Foi utilizada a forma funcional semilogarítmica, comumente usada para medir taxas de crescimento ao longo de um período de uma série, como mostra a Equação 11.

$$\ln(\hat{Y}_t) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 t \quad (11)$$

$\ln(\hat{Y}_t)$: logaritmo natural da variável dependente (índices parciais e agregados estimados);

$\hat{\alpha}$: intercepto, coeficiente log-linear (constante) da regressão;

$\hat{\beta}_1$: coeficiente angular da regressão, a ser estimado;

t : tempo ($t = 0, 1, 2, 3, \dots, n$).

Após a estimação do $\hat{\beta}_1$, aplica-se o mesmo encontrado na Equação 12, na qual se tem o r , que é a Taxa Geométrica de Crescimento em porcentagem:

$$r = (\text{antilog}(\ln \hat{\beta}_1) + 1) \times 100 \quad (12)$$

Segundo Fávero *et al.* (2009), essa forma funcional semilogarítmica não pode ser usada em variável explicativa *dummy*, uma vez que, se ocorrer o contrário, e seu coeficiente for multiplicado por 100, não representará o efeito percentual sobre aquela variável que está sendo explicada (variável dependente).

4.5 Mensuração da estabilidade dos índices

Para aferir o grau de estabilidade nos índices calculados, foi utilizado como medida de dispersão ou variabilidade, o coeficiente de variação (CV), o qual tem por finalidade medir a homogeneidade dos dados em relação à média, motivo que pode ser entendido como uma medida de risco relativo. A expressão é feita da seguinte forma:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\% \quad (13)$$

em que o CV é o coeficiente de variação (%); σ é o desvio padrão e μ é a média.

Sendo assim, o valor obtido será dado em percentual e, caso seja superior a 30%, o conjunto de dados poderá ser considerado heterogêneo. Porém, se for abaixo de 30%, os dados poderão ser considerados homogêneos (FÁVERO *et al.*, 2009).

4.6 Análise do impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB)

Segundo Fávero *et al.* (2009), a regressão linear tem como objetivo estudar a relação entre duas ou mais variáveis explicativas, que se apresentam na forma linear, e uma variável dependente métrica. Logo, um modelo geral de regressão linear pode ser escrito como foi especificado na Equação 10.

Segundo Fávero *et al.* (2009) e Hoffmann (2015), alguns pressupostos devem ser respeitados quando se faz uso da técnica anteriormente citada, os quais são sintetizados da seguinte maneira:

1. a variável dependente (Y) é uma função linear de um conjunto específico de variáveis e do erro. Pode ser violado, caso uma variável explicativa importante não tenha sido considerada no modelo ou relação entre a variável dependente e as explicativas seja não linear;
2. o valor esperado do termo de erro é zero, $E(u_i) = 0$. Se for violado, os estimadores serão viesados;
3. o erro tem distribuição normal e não apresenta autocorrelação ou correlação com qualquer variável X, isto é, $E(u_i u_j) = 0, i \neq j$. Em casos de violações, podem ocorrer problemas de autocorrelação dos resíduos (caso de modelos de regressão no tempo) e heterocedasticidade (quando o erro não possui a mesma variância);
4. as observações das variáveis explicativas podem ser consideradas fixas em amostras repetidas. Se este pressuposto for violado, este fato pode ser ocasionado por haver erros de levantamento ou medida;
5. não há relação linear exata entre as variáveis explicativas e existem mais observações do que variáveis explicativas. Caso contrário, gera problema de multicolinearidade (relação linear entre as variáveis explicativas, gerando um aumento no termo do erro).

É importante frisar que, primeiramente, deve-se estudar a significância estatística do modelo que está sendo proposto no estudo, o qual foi fixado 5% de significância. Nesse caso, o teste F propicia condições que permitem verificação da significância do modelo a ser estimado, respeitando as hipóteses nula e alternativa, a seguir:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

Espera-se que o teste F seja significativo (Sig. $F < 0,05$), para que o modelo seja aceitável e, conseqüente, o beta estimado da variável explicativa (IDEXT) seja diferente de zero ($\beta_1 \neq 0$), para que o teste t (fornece a significância estatística de cada parâmetro a ser

considerado no modelo de regressão) valide a hipótese de que a variável explicativa seja relevante para ser utilizada no modelo do presente trabalho.

Nessa perspectiva, para aferir o impacto do Índice da Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB), optou-se estimar uma regressão linear simples, a qual é especificada na Equação 14. É válido frisar que, para o PIB foi utilizada a técnica de Max-Min ou transformação 0-1 para padronizá-lo em forma de índice.

$$\widehat{PIB} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1(\text{IDEXT}) \quad (14)$$

Em que:

\widehat{PIB} : variável dependente (Produto Interno Bruto);

$\hat{\beta}_0$: coeficiente linear (constante);

$\hat{\beta}_1$: coeficiente angular estimado;

IDEXT: variável independente (Índice de Dependência Externa de Energia).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo está dividido em seções para apresentar de forma organizada os resultados, de acordo com os objetivos propostos pela pesquisa, os quais servirão de base para analisar a evolução da situação energética e, posteriormente, aferir a sustentabilidade da Matriz Energética Brasileira, a partir do conjunto de informações analisadas ao longo do trabalho.

5.1 Trajetória evolutiva da matriz energética brasileira

A ideia de melhorar indicadores responsáveis pelo crescimento econômico e juntamente traçar metas que atinjam o desenvolvimento, levando em consideração os fatores quantitativos e qualitativos, não é apenas objetivo de grandes economias mundiais. O fato é que essa estratégia está sendo almejada pela grande maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou em desenvolvimento, seja pela mudança dos padrões de consumo, pela busca exacerbada por acumulação de riquezas ou mesmo por questões políticas e de poder. Atualmente, essa busca por indicadores eficientes, de curto ou longo prazo, tornou-se mais evidente, principalmente no que diz respeito às questões energéticas.

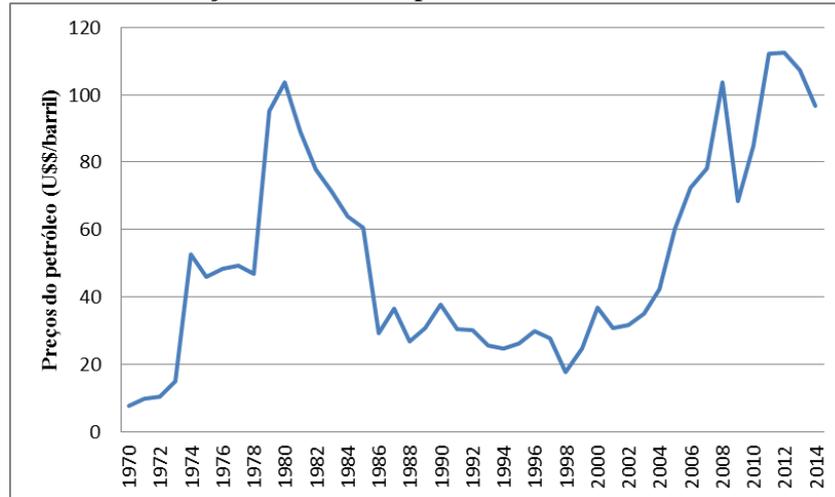
Em se tratando de energia, fonte vital para manutenção das economias mundiais, é relevante afirmar que, quanto mais o país consegue obter crescimento econômico, mais há a necessidade de consumi-la. No entanto, um país que consegue se desenvolver necessita também de programas eficientes para que resulte em benefícios de longo prazo.

Nessa perspectiva, a trajetória evolutiva da produção energética no Brasil, assim como em outros países, seguiu paralelamente à tendência mundial, mesmo que a pequenos passos. O fato é que os impactos causados por questões externas também afetaram a situação do país, seja na produção, oferta, consumo ou dependência externa energética.

Nisso, alguns acontecimentos históricos relacionados às questões energéticas ficaram marcados. Assim, essa temática tornou-se alvo de novas descobertas, inserção de tecnologia, diversificação das fontes e objetivo essencial em planos e programas desenvolvidos, no intuito de modificar os padrões, que até então eram definidos como ideais, até chegar à crise do petróleo (em 1973 e 1979). Devido à restrição de oferta houve um aumento do preço do barril de petróleo, provocando grande instabilidade em função da magnitude e amplitude dos seus efeitos sobre a economia mundial.

O comportamento dos preços do barril de petróleo mostra-se bastante oscilatório, o que torna muito vulnerável em estudos de previsão e planejamento energético, que tenham como base esta fonte não renovável, características bem expressivas utilizadas para sinalizar a necessidade de diversificação das fontes da matriz energética, não só mundial, mas também a brasileira. A trajetória dos preços do petróleo é mostrada no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Preços do barril de petróleo no mundo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da IEA (2015).

Na crise do petróleo, os dois choques iniciais de preços foram em 1973-1974 e 1979-1981, esse impacto pode ser perceptível por meio do comportamento oscilatório exposto no Gráfico 5, evidenciados pela instabilidade da oferta, chegando ao preço de US\$ 103,60/barril em 1980, considerado um dos grandes picos. Porém, a partir desse ano citado, o preço começou a cair, atingindo US\$ 17,83/barril em 1998, para novamente voltar ao seu comportamento ascendente, sendo o ano de 2012 o maior preço atingido desde 1970, em torno de US\$ 112,54/barril.

Atualmente, os mercados globais de petróleo estão passando por uma crise, pela queda drástica no preço do barril de petróleo, tornando inviável sua produção, sobretudo, em países que dependem dessa *commodity* na formação da sua riqueza. Para driblar essa situação a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) sediou uma reunião com os países produtores, no intuito de impulsionar o aumento do preço da *commodity*, sendo uma das iniciativas o congelamento da produção e o enfraquecimento do dólar, fatores que terão como finalidade elevar os preços do barril.

5.1.1 Produção de energias renováveis

Partindo do ponto de partida da crise do petróleo, anteriormente discutida, observa-se que ela também foi responsável pela modificação nos programas energéticos mundiais, pois, a partir do entendimento de que os países estavam substancialmente dependentes de uma fonte energética não renovável, responsável por causar impactos de grande relevância no funcionamento das economias, devido à pressão ocorrente.

Nesta mesma época, começou uma corrida para a diversificação da matriz energética visando uma maior segurança no atendimento à demanda de energia. Com isso, a eficiência energética foi alçada à condição de instrumento privilegiado e, por vezes, um preferencial para a mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases de efeito estufa e destruidores da camada de ozônio. Ao mesmo tempo, ressaltou-se a percepção de que o aumento de eficiência pode constituir uma das formas mais econômica e ambientalmente favoráveis de atendimento de parte dos requisitos de energia.

No início da década de 1970, o Brasil apresentava uma matriz energética renovável composta com maior participação da lenha. Isso fazia com que o país sofresse uma maior pressão relativa ao meio ambiente, no intuito de executar práticas extrativistas, que muitas vezes estavam contidas no grupo da ilegalidade e sem delimitação de limites das próprias espécies que eram devastadas. A Tabela 1 e o Gráfico 6 expõem as principais fontes renováveis, frisando que a evolução das outras fontes renováveis (eólica, solar, biomassa e derivados animais) mostrou crescimento ascendente. A energia hidráulica desde 1970 já era uma das fontes mais produzidas no país, embora o potencial do país não seja totalmente aproveitado.

Tabela 1 – Produção de energia renovável no Brasil, 1970 a 2014

Produção de Energia Primária Renovável (10 ³ tep)					
Ano	Hidráulica	Lenha	Produtos da cana-de-açúcar	Outras renováveis	Produção total renovável
1970	3.421,52	31.851,53	3.600,70	223,24	39.096,99
1971	3.713,63	31.807,22	3.841,81	232,82	39.595,48
1972	4.356,82	32.143,13	4.298,39	301,43	41.099,77
1973	4.976,55	31.897,40	4.644,41	310,58	41.828,93
1974	5.646,13	32.598,65	4.618,65	348,89	43.212,31
1975	6.214,20	33.153,94	4.179,51	362,61	43.910,26
1976	7.127,67	31.881,90	4.748,01	411,64	44.169,22
1977	8.036,06	30.822,13	6.538,73	470,39	45.867,32
1978	8.832,62	29.794,27	7.321,94	560,58	46.509,41
1979	10.021,87	30.374,67	8.254,13	821,72	49.472,38
1980	11.081,57	31.083,35	9.300,96	1.009,94	52.475,82
1981	11.241,29	30.414,95	10.196,41	1.094,36	52.947,01

Continua

Conclusão

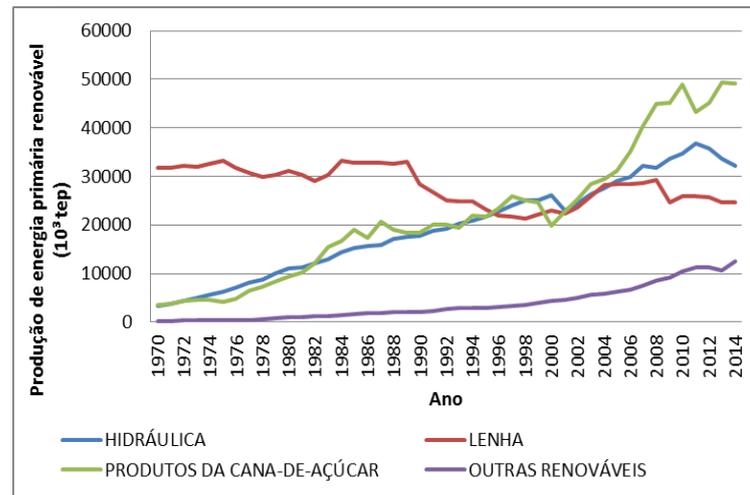
Produção de Energia Primária Renovável (10³ tep)

Ano	Hidráulica	Lenha	Produtos da cana-de-açúcar	Outras renováveis	Produção total renovável
1982	12.132,50	29.108,82	12.139,97	1.168,81	54.550,10
1983	13.021,64	30.233,36	15.455,23	1.194,26	59.904,49
1984	14.321,27	33.339,56	16.792,92	1.425,18	65.878,92
1985	15.334,11	32.924,94	19.107,72	1.583,09	68.949,87
1986	15.681,76	32.765,98	17.256,55	1.769,69	67.473,98
1987	15.955,22	32.776,82	20.771,60	1.861,58	71.365,22
1988	17.115,15	32.565,18	19.031,50	2.001,77	70.713,60
1989	17.596,30	32.953,14	18.479,79	1.997,72	71.026,96
1990	17.769,78	28.536,79	18.451,28	2.126,36	66.884,20
1991	18.721,76	26.701,09	20.093,17	2.338,32	67.854,33
1992	19.199,82	25.089,42	20.063,84	2.745,35	67.098,42
1993	20.207,50	24.803,40	19.377,64	2.984,49	67.373,04
1994	20.864,28	24.857,63	22.009,85	3.004,31	70.736,07
1995	21.827,10	23.261,15	21.778,25	2.923,41	69.789,90
1996	22.846,99	21.969,28	23.397,36	3.087,96	71.301,59
1997	23.982,00	21.663,12	25.939,07	3.283,45	74.867,64
1998	25.056,31	21.260,59	25.155,22	3.449,10	74.921,22
1999	25.187,92	22.126,08	24.575,26	3.969,54	75.858,80
2000	26.168,19	23.054,15	19.894,60	4.438,59	73.555,53
2001	23.028,12	22.437,19	22.800,11	4.630,78	72.896,20
2002	24.495,38	23.541,58	25.271,78	4.954,49	78.263,23
2003	26.282,98	25.965,08	28.356,56	5.662,83	86.267,45
2004	27.588,53	28.187,44	29.385,40	5.860,42	91.021,79
2005	29.021,27	28.419,68	31.094,44	6.319,71	94.855,10
2006	29.997,27	28.495,82	35.133,23	6.753,79	100.380,11
2007	32.165,30	28.618,34	40.458,49	7.472,93	108.715,06
2008	31.781,85	29.226,58	45.018,52	8.475,41	114.502,36
2009	33.624,97	24.609,43	45.251,90	9.236,72	112.723,03
2010	34.682,92	25.997,35	48.852,28	10.439,97	119.972,53
2011	36.836,63	25.996,63	43.269,97	11.219,24	117.322,47
2012	35.719,43	25.682,62	45.116,93	11.374,01	117.892,98
2013	33.625,31	24.579,97	49.303,83	10.586,71	118.095,83
2014	32.115,76	24.728,21	49.231,86	12.637,32	118.713,15

Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

Em complementação à Tabela 1, o comportamento da produção de energia renovável no Brasil pode ser mais bem interpretado quando se verifica o Gráfico 6.

Gráfico 6 - Produção de energia primária renovável no Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

A produção de fontes energéticas renováveis ressalta uma evolução ascendente, com exceção da produção de lenha. Quando comparada sua produção na década de 1970 a 2014, nota-se que há uma disparidade, pois, no momento inicial da análise a mesma possuía uma participação significativa. Porém, ao longo dos anos, essa tendência foi se modificando, o que culminou numa queda drástica da produção ao final do período sob análise. Essa queda se justifica, possivelmente, pelas mudanças nos padrões de uso energético, com a entrada das grandes geradoras, a partir de fontes hidráulicas, principalmente. Deve-se ainda ao forte discurso de preservação das florestas, que se intensificou com a inserção do conceito de desenvolvimento sustentável, em que desmatar passou a ser um ato muito mal visto pela sociedade. Contudo, era no meio rural em que se utilizava mais lenha e carvão, como fonte energética. Essa realidade vem se modificando através do acesso à eletricidade, por meio de programas de incentivo à descentralização da energia elétrica no Brasil, como o Programa Luz para Todos, lançado em 2003, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, operacionalizado pela Eletrobrás e executado pelas concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural, em parceria com os governos estaduais.

Para Pinto Júnior (2007), a lenha que, em 1970, era a principal fonte de energia primária na composição da oferta interna bruta (cerca de 47%), foi progressivamente substituída por outras fontes de energia e sua participação no Balanço Energético Nacional caiu para cerca de 13%, em 2005, seguindo a tendência de queda, chegando a uma participação de 8,1%, em 2014. (EPE, 2015a).

Apesar de haver um aumento no acesso à energia elétrica, tanto no meio urbano quanto no meio rural, o uso de lenha e carvão ainda é comum, pois essas fontes energéticas são responsáveis, principalmente, pelo fornecimento de energia para os setores industrial, serviço, residencial e agropecuário.

A busca por alternativas que viabilizassem a redução da utilização do petróleo como uma das principais fontes geradoras de energia levou o governo brasileiro a incentivar a produção de cana-de-açúcar com o objetivo de produzir etanol para servir como combustível. Nessa perspectiva, surgiu o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Como é possível observar, a produção de produtos da cana-de-açúcar teve um grande incremento a partir da década de 1980, comportamento que corrobora com o que é citado na literatura, chegando ao auge da produção em 2013, com 49.303,83 10^3 tep. Coube à Petrobrás efetuar a compra, transporte, armazenamento, distribuição e realização da mistura do álcool à gasolina. (ANP, 2015).

Entre os anos de 2001 e 2002, houve a crise do apagão, crise nacional ocorrida no Brasil, que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica. Foi causada por uma soma de fatores: baixa incidência de chuvas, sobretudo no Sudeste e Sul do Brasil, além da falta de planejamento e investimentos insuficientes em geração e transmissão de energia. Com a escassez de chuva, o nível de água dos reservatórios das hidroelétricas reduziu e os brasileiros foram obrigados a racionar energia. Esse fato é confirmado pela queda na produção de energia hidráulica do ano 2000 para 2001.

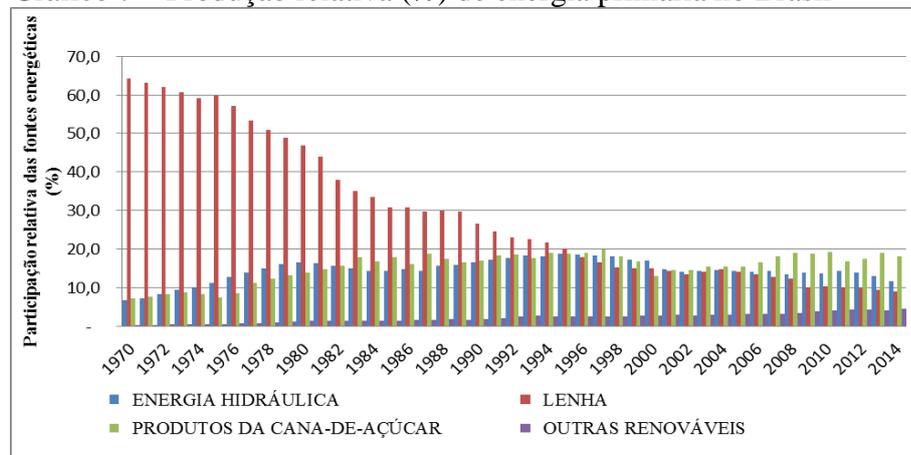
Algumas medidas foram tomadas para evitar que esse problema tivesse continuidade. Uma delas foi a implantação Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), em 2004, que incentivou o aumento da capacidade instalada do país, por meio da inserção da produção de energia eólica e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). No mesmo ano, houve o lançamento do Marco Regulatório que estabeleceu as condições legais para a introdução do biodiesel na Matriz Energética Brasileira de combustíveis líquidos, através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Essa medida possibilitou uma maior inserção de fontes alternativas e proporcionou maior incremento na produção de biomassa. Entretanto, apesar dos incentivos definidos pelo Programa, ainda assim a participação do biodiesel ainda permanece incipiente na matriz energética, tanto que é incluso no grupo de outras fontes renováveis, juntamente com a energia eólica, solar e energia derivada de restos vegetais e animais.

Para além de aspectos econômicos e técnicos, as esferas política e socioambiental da discussão também apontam de forma consistente na direção de energias, como a solar e a

eólica. Em nível global, as fontes renováveis são a principal saída para o desafio das mudanças climáticas, causadas principalmente pela queima de combustíveis fósseis, como o petróleo. (UNICA, 2016). A saída é complementar a matriz energética, com utilização das fontes mais abundantes que as condições naturais possam oferecer.

Em complementação às discussões feitas anteriormente, o comportamento da produção energética renovável brasileira pode ser melhor representada quando se expõe a participação relativa por fonte, como mostrado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Produção relativa (%) de energia primária no Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

É necessário citar que o Gráfico 7 evidencia a mudança nos padrões de uso energético no Brasil ao longo da série analisada (1970 a 2014), com maior atenção para a queda da produção de lenha, elevação da participação da energia hidráulica (devido à construção de um maior número de usinas hidroelétricas e maior aproveitamento do potencial hídrico do país), com um crescimento da produção de produtos da cana-de-açúcar (um dos motivos para esse crescimento foi a implantação do Proálcool para a produção de etanol), assim como as outras fontes renováveis (maiores incentivos à produção de fontes renováveis, como eólica, PCHs, solar e biomassa), mesmo que esta represente apenas uma pequena parcela da produção total. Nota-se que o Brasil ainda possui grande potencial a ser explorado.

5.1.2 Produção de energias não renováveis

Em contrapartida às iniciativas voltadas para as energias renováveis, vale frisar que as descobertas de reservas de petróleo na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro, foram acompanhadas, a partir da segunda metade da década de 1970, das primeiras experimentações

tecnológicas em equipamentos e sistemas de produção de petróleo. Estas viabilizaram o aproveitamento de jazidas situadas a longas distâncias do litoral, dando início ao processo de inovações em sistemas de produção marítima de petróleo no Brasil. Ao longo desse processo foram encontrados reservatórios grandiosos no pré-sal das Bacias de Campos e Santos (São Paulo), a partir de 2006-2007. O período de 2010-2012 é um marco importante à evolução tecnológica e produtiva da Petrobras, ao registrar as primeiras declarações de comercialidade de campos de petróleo do pré-sal, assinalando o início do desenvolvimento da produção comercial naquela área geológica. (MORAIS, 2013).

Dadas as grandes dificuldades, ao longo do tempo, em se encontrar petróleo no Brasil em volumes capazes de reduzir as altas importações, as motivações de encontrar jazidas para a diminuição da dependência das importações e a busca da autossuficiência podem ser consideradas as principais forças motoras que impulsionaram os grandes esforços empreendidos pelo país à procura de fontes de petróleo em suas bacias sedimentares. Na Tabela 2, mostra-se a evolução da produção do petróleo, bem como das outras fontes não renováveis.

Tabela 2 – Produção de energia não renovável no Brasil, 1970 a 2014

Produção de Energia Primária Não Renovável (10³ tep)					
Ano	Petróleo	Gás natural	Carvão vapor	Outras não renováveis	Produção total não renovável
1970	8160,72	1254,65	611,24	503,77	10530,38
1971	8521,00	1169,29	653,75	532,65	10876,69
1972	8313,08	1231,82	656,93	537,14	10738,97
1973	8453,46	1171,27	599,74	529,44	10753,91
1974	8969,47	1476,99	830,33	729,66	12006,45
1975	8727,47	1612,98	743,11	557,67	11641,24
1976	8472,59	1629,85	951,08	643,03	11696,56
1977	8177,13	1794,63	1095,46	769,45	11836,66
1978	8154,34	1918,70	1250,09	845,18	12168,32
1979	8419,00	1884,95	1403,89	922,83	12630,67
1980	9255,90	2188,69	1492,54	991,49	13928,63
1981	10928,31	2456,69	1922,23	726,45	16033,68
1982	13338,14	3007,59	2193,89	3630,71	22170,33
1983	16910,56	3983,32	2355,29	3063,18	26312,34
1984	23711,53	4865,74	2656,61	2235,38	33469,26
1985	28079,55	5426,56	2620,20	1913,80	38040,11
1986	29432,80	5643,94	2491,17	1218,52	38786,43
1987	29103,89	5738,24	2377,32	1787,46	39006,91
1988	28447,67	6005,41	2492,45	971,21	37916,74
1989	30623,41	6059,84	2220,52	1029,98	39933,75
1990	32549,99	6232,55	1594,57	370,93	40748,03
1991	32117,29	6548,20	1954,47	146,96	40766,92
1992	32466,50	6924,40	1794,50	80,86	41266,25
1993	33169,35	7300,59	1783,72	37,22	42290,89
1994	34446,23	7698,63	1942,87	76,37	44164,09
1995	35775,63	7896,16	1966,75	68,02	45706,56

Continua

Conclusão

Produção de Energia Primária Não Renovável (10³ tep)

Ano	Petróleo	Gás natural	Carvão vapor	Outras não renováveis	Produção total não renovável
1996	40521,37	9088,27	1792,01	85,35	51487,00
1997	43589,59	9752,32	2110,79	57,76	55510,46
1998	50512,05	10708,20	2066,61	36,15	63323,01
1999	56612,27	11809,99	2110,12	19,25	70551,63
2000	63848,77	13184,74	2603,33	141,43	79778,27
2001	66742,36	13894,45	2174,59	678,80	83490,21
2002	75123,63	15452,84	1935,22	3398,03	95909,72
2003	77580,24	15681,46	1784,96	2782,81	97829,47
2004	76641,22	16852,20	2015,57	3706,87	99215,87
2005	84300,10	17575,31	2348,44	1443,55	105667,40
2006	89214,49	17582,06	2199,70	2425,25	111421,50
2007	90765,49	18024,59	2257,06	3713,86	114761,01
2008	93999,88	21398,32	2493,65	4117,27	122009,12
2009	101032,89	20987,19	2239,40	4117,26	128376,73
2010	106558,80	22771,00	2104,47	1766,81	133201,08
2011	108976,05	23888,33	2133,84	4208,67	139206,89
2012	107257,93	25573,64	2517,34	3880,89	139229,81
2013	104762,47	27968,68	3298,44	3967,01	139996,60
2014	116704,75	31660,88	3059,11	2494,95	153919,69

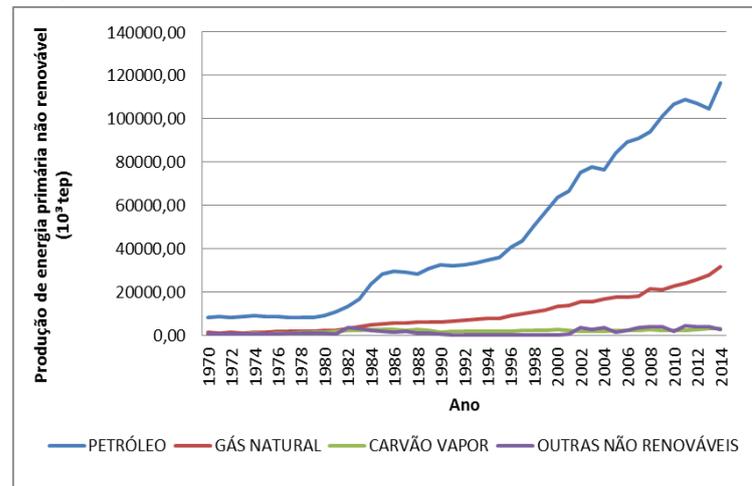
Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

A busca pela autossuficiência passou a constituir o objetivo central para a estatal brasileira de petróleo, e foi insistentemente buscada mesmo com a redução dos preços internacionais do petróleo (vide Gráfico 5), durante quatorze anos, de 1986 a 1999, após o término da segunda crise do petróleo. Na fase atual, as explorações para o aumento das reservas objetivam garantir o abastecimento do mercado interno de petróleo pelas décadas à frente. (ANP, 2015).

As fontes não renováveis que tiveram um maior crescimento na produção foram o petróleo e gás natural. O carvão vapor e outras fontes não renováveis (carvão metalúrgico, Urânio (U₃O₈) e outras) também tiveram um incremento na produção, porém, não muito expressivo. O período compreendido entre 1989 a 1999 foi crítico para as outras fontes não renováveis, passando por constantes quedas na produção, chegando ao seu menor patamar em 1999, com 19,25 10³ tep. O comportamento das principais fontes energéticas não renováveis no Brasil é mostrado no Gráfico 8.

Atualmente, a complementação energética nos meses em que os reservatórios estão com baixos níveis hídricos, época considerada inviável para produção de energia hidráulica, é feita basicamente por termelétricas movidas, principalmente, por fontes energéticas de origens fósseis e biomassa, em menor escala. Porém, essa medida torna-se inviável, pois toda vez que elas são ligadas, o consumidor paga mais caro pela energia. Além disso, elas emitem muitos poluentes e gases do efeito estufa.

Gráfico 8 - Produção de energia primária não renovável no Brasil



Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

No final de 2015, governos de 195 países assinaram o importante Acordo de Paris, assumindo os compromissos de evitar um aquecimento global superior a 1,5°C e, na segunda metade do século, neutralizar emissões de gases de efeito estufa. Em termos práticos, a única forma realista de atingir esses objetivos é zerando o consumo de combustíveis fósseis até 2050. Ou seja, o mundo já assinou o fim da era do petróleo. (UN, 2015).

Essa medida torna mais evidente a continuidade do incentivo às fontes renováveis de energia, uma vez que o Brasil encontra-se numa posição privilegiada em relação às outras nações, o que explica o maior percentual de utilização de energias renováveis na matriz energética, pois conta com recursos naturais abundantes, o que permite a ampliação do percentual de energia gerado a partir de fontes alternativas.

5.2 Análise do fornecimento energético brasileiro

Nesta seção serão apresentadas as estimativas dos 4 (quatro) índices parciais (Índices da Produção de Energia Renovável e Não Renovável e os Índices de Oferta de Energia Renovável e Não Renovável) e 3 (três) índices agregados (Índice de Produção Energética, Índice de Oferta Energética e o Índice de Dependência Externa de Energia), estimados neste trabalho, visando atender o que está estabelecido no segundo objetivo específico. Apresentam-se inicialmente as evidências encontradas nas estimativas utilizando Análise Fatorial, através do método de Decomposição em Componentes Principais.

5.2.1 Resultados da Análise Fatorial

Antes mesmo de realizar a Análise Fatorial, foram feitos alguns testes para validar a possibilidade do uso da técnica multivariada escolhida. Assim, como descrito na metodologia da pesquisa, os testes realizados foram: normalidade e linearidade e análise da matriz de correlações com valores significativos, os quais se mostraram favoráveis à utilização da AF.

Os resultados dos testes Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) e Esfericidade de *Bartlett* estão divididos em: parciais (produção e oferta de energia especificada em dois grupos: renovável e não renovável) e agregados (produção e oferta total de energia e dependência externa de energia), os quais podem ser observados no quadro especificado no Apêndice A.

Para interpretação dos resultados dos testes KMO para a produção e oferta de energia (renovável e não renovável), é válido frisar que valores próximos de 1 (um) indicam que o método de Análise Fatorial é perfeitamente adequado para o tratamento dos dados. Por outro lado, valores menores que 0,5, indicam a inadequação do método (FÁVERO *et al.*, 2009). No caso em estudo, os testes KMO realizados, indicaram que a AF consegue descrever de forma razoável a boa às variações dos dados originais, sendo estes os valores obtidos: Produção de Energia Renovável (0,723), Produção de Energia Não Renovável (0,564), Oferta de Energia Renovável (0,729) e Oferta de Energia Não Renovável (0,777). O mesmo ocorreu para as análises agregadas, sendo que os resultados obtidos foram: Produção Total de Energia (0,678), Oferta Total de Energia (0,857) e Dependência Externa de Energia (0,598).

Os níveis de significância dos testes de esfericidade de *Bartlett* ($p\text{-value} = 0,000$) de todas as análises conduzem à rejeição da hipótese de que a matriz de correlações seja matriz identidade, ou seja, de que as variáveis são não correlacionadas. Como a matriz de correlações não é igual à matriz identidade, evidencia-se, portanto, que há correlações entre as variáveis (Apêndice A).

5.2.2 Extração e rotação dos fatores

A matriz dos componentes apresenta as cargas fatoriais (*loadings*) que correlacionam as variáveis com os fatores, permitindo verificar qual melhor fator explica cada uma das variáveis originais. Após a rotação dos fatores, foram gerados os componentes, escores e comunalidades contidos na Tabela 3. Quase todos os resultados gerados após a rotação pelo método ortogonal *Varimax* sugeriram: 1 (um) componente e 1 (um) escore,

resultando em apenas um fator, com exceção da Produção de Energia Não Renovável e Produção Total de Energia, que resultaram em dois fatores.

As comunalidades, por sua vez, são representadas pela variância total explicada pelos fatores em cada variável. Conforme Fávero *et al.* (2009), os valores da comunalidade variam entre 0 (zero) e 1 (um), mais próximas de 0 quando os fatores comuns explicam baixa ou nenhuma variância da variável e 1, quando todas as variáveis possuem forte relação com os fatores retidos. Para o caso em análise, quase todas as variáveis possuem forte relação com os fatores retidos, com exceção de algumas variáveis, mas que todas apresentam comunalidades acima de 0,5, expressando que mais de 50% da variância de cada variável foi reproduzida pelos pesos fatoriais atribuídos à referida variável, ou seja, alterações no conjunto das variáveis provocam mudanças significativas nos seus resultados individuais. Assim, uma mudança nas fontes energéticas analisadas influenciará nos resultados da análise de forma geral. Conseqüentemente, não houve necessidade de excluir variáveis, pois tanto os resultados da matriz anti-imagem (valores da diagonal principal acima de 0,5), quanto das comunalidades, foram favoráveis.

Tabela 3 – Componentes (cargas fatoriais), escores e comunalidades

Resultados Parciais						
	Fontes energéticas	Componentes		Escores		Comunalidades
		1	2	1	2	
Produção de Energia Renovável	PHIDRAPERC	0,981		0,267		0,963
	PLENPERC	-0,937		-0,255		0,878
	PPCAPERC	0,970		0,264		0,940
	PORENPERC	0,942		0,257		0,888
Produção de Energia Não Renovável	PPETROPERC	0,980	0,118	0,980		0,975
	PGNPERC	0,973	0,152	0,973		0,970
	PCVPERC	-0,013	0,914	-0,013		0,835
	PONRENPERC	0,424	0,640	0,424		0,589
Oferta de Energia Renovável	OHIDRAEPERC	0,980		0,267		0,960
	OLENCVPERC	-0,945		-0,257		0,893
	OPCAPERC	0,972		0,265		0,944
	ORENPERC	0,935		0,255		0,875
Oferta de Energia Não Renovável	OPETROPERC	0,869		0,276		0,755
	OGNPERC	0,943		0,300		0,890
	OCMPERC	0,792		0,251		0,627
	ONRENPERC	0,936		0,297		0,876
Resultados Agregados						
Produção Total de Energia	PPETROPERC	0,967	0,150	0,200	-0,078	0,958
	PGNPERC	0,962	0,181	0,193	-0,051	0,958
	PCVPERC	0,083	0,847	-0,158	0,690	0,725
	PONRENPERC	0,231	0,741	-0,100	0,570	0,602
	PHIDRAPERC	0,927	0,245	0,171	0,010	0,920
	PLENPERC	-0,908	-0,091	-0,198	0,114	0,833
	PPCAPERC	0,915	0,339	0,148	0,091	0,953

Continua

Conclusão

Resultados Parciais						
	Fontes energéticas	Componentes		Escores		Comunalidades
		1	2	1	2	
Oferta Total de Energia	PORENPERC	0,954	0,173	0,192	-0,056	0,939
	OPETROPERC	0,834		0,125		0,695
	OGNPERC	0,918		0,138		0,843
	OCMPERC	0,846		0,127		0,716
	ONRENPERC	0,896		0,135		0,803
	OHIDRAEPERC	0,956		0,144		0,915
	OLENCVPERC	-0,928		-0,139		0,861
	OPCAPERC	0,956		0,144		0,913
	ORENPERC	0,953		0,143		0,908
Dependência Externa de Energia	DEPEXTPETRO	-0,953		-0,323		0,909
	DEPEXTGN	0,728		0,247		0,530
	DEPEXTCM	0,927		0,314		0,859
	DEPEXTE	0,807		0,274		0,651

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Porém, para a Produção de Energia Não Renovável o componente 1 (Fator 1) está positiva e fortemente representado pelos indicadores PPETROPERC (produção de petróleo *per capita*) e PGNPERC (produção de gás natural *per capita*). Isso torna mais evidente que as duas principais fontes energéticas não renováveis do país têm grande impacto na produção de energia não renovável, considerando também o crescimento da população. Já o componente 2 (Fator 2) está relacionado aos indicadores PCVPERC (produção de carvão vapor *per capita*) e PONRENPERC (produção de outras fontes de energias não renováveis *per capita*). É válido frisar que estas fontes apresentam grande importância na produção agregada, pela sua complementariedade.

Na Produção Total de Energia foram extraídos dois componentes (Fator 1 e Fator 2). Assim como foi mostrado nas análises parciais, os resultados agregados seguiram a mesma tendência, pois o Fator 1 está fortemente relacionado aos indicadores PPETROPERC (produção de petróleo *per capita*), PGNPERC (produção de gás natural *per capita*), PHIDRAPERC (produção de energia hidráulica *per capita*), PPCAPER (produção de produtos da cana-de-açúcar *per capita*) e PORENPERC (produção de outras fontes de energias renováveis *per capita*). Todos os indicadores citados estão positivamente relacionados, com exceção do indicador PLENPERC (produção de lenha *per capita*). Esse resultado se explica pelo fato da lenha ter sido, durante décadas, uma das principais fontes energéticas do país, embora seu uso não tenha sido sustentável, diante das práticas extrativistas comumente utilizadas. No entanto, ao longo do período em análise (1970 a 2014), houve uma mudança drástica na produção de lenha no Brasil, o que provocou uma grande queda na participação desta fonte na matriz energética. As outras fontes se mostram

positivas, devido ao seu comportamento ascendente ao longo dos anos. O que contribuiu para isso foi a inserção de novas fontes energéticas, mudanças tecnológicas e alguns programas de incentivo, tanto para as renováveis (eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), solar e biomassa), quanto para as não renováveis (petróleo, gás natural, Urânio - U_3O_8 - e outras).

Já o componente 2 (Fator 2) está forte e positivamente relacionado aos indicadores PCVPERC (produção de carvão vapor *per capita*) e PONRENPERC (produção de outras fontes de energias não renováveis *per capita*). As cargas fatoriais em negrito foram colocadas em evidência para representar os indicadores que mais influenciaram os seus devidos componentes (Fator 1 e Fator 2), sinalização necessária apenas para o caso de mais de um fator extraído.

Em todas as análises (parcial e agregada), a produção de lenha *per capita* mostrou uma relação negativa, assim como a produção de carvão vapor *per capita* na análise parcial e a dependência externa de petróleo.

Para a Oferta de Energia Renovável e Não Renovável, a OHIDRAEPERC, OPCAPERC, ORENPERC, OPETROPERC, OGNPERC, OCMPERC e ONRENPERC, ou seja, todos os indicadores citados apresentaram-se positiva e fortemente relacionados ao componente 1 (Fator 1), gerado para cada grupo da oferta energética (renovável e não renovável), com exceção da OLENCVPERC.

Já no caso da dependência externa de energia, os indicadores DEPEXTGN, DEPEXTCM e DEPEXTE, são positiva e fortemente relacionados ao componente 1 (Fator 1), diferentemente do indicador DEPEXTPETRO. Isso mostra que o comportamento de decréscimo da dependência externa de petróleo no Brasil, ao longo do período analisado, é transmitido através da resposta imposta pelos dados adquiridos. Outro ponto a ser citado é que, mesmo o país possuindo grande potencial para se tornar autossuficiente no abastecimento energético, ainda assim há necessidade de importar fontes energéticas, como: gás natural, carvão mineral e eletricidade.

A diversificação da matriz energética por meio do aumento da participação de recursos energéticos renováveis, disponíveis em território nacional, é um dos objetivos da oferta interna de energia. Portanto, tal objetivo assume um papel fundamental sob a ótica do planejamento, uma vez que contribui para a redução da dependência externa de energia, ao mesmo tempo em que promove o desenvolvimento energético sustentável, ao reduzir a depleção de fontes energéticas não renováveis e, conseqüentemente, colaborar para a mitigação dos impactos ambientais a elas relacionadas.

5.2.3 Elaboração dos índices

Para o cálculo dos pesos dos índices estimados, foram consideradas as variâncias explicadas (%) e as variâncias acumuladas (%), ou seja, cada peso foi estimado pela divisão da variância explicada pelo fator pela variância total acumulada. Assim como foi demonstrado na metodologia da pesquisa, no caso de dois fatores gerados pela Análise Fatorial, foram calculados dois pesos. A Tabela 4 mostra o resultado das estimativas da AF necessárias à estimação dos índices.

Tabela 4 - Variâncias e pesos utilizados na elaboração dos índices

Índices	Variância Explicada (%)		Variância Acumulada (%)	Pesos	
	Componentes			1	2
	1	2			
IOREN	91,79		91,79	1	
IONREN	78,72		78,72	1	
IPREN	91,75		91,75	1	
IPNREN	52,19	32,03	84,22	0,62	0,38
IOE	83,18		83,18	1	
IPE	66,93	19,19	86,12	0,78	0,22
IDEXT	73,71		73,71	1	

Fonte: Valores estimados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

Para os índices parciais: Índice de Oferta da Energia Renovável (IOREN), Índice da Oferta de Energia não renovável (IONREN) e o Índice da Produção de Energia Renovável (IPREN) o fator extraído para cada um deles consegue explicar 91,71%, 78,72 % e 91,75% da variância total explicada pelos dados originais, respectivamente. Com exceção do Índice da Produção de Energia Não renovável (IPNREN), que resultou em dois fatores extraídos, o Fator 1 consegue explicar 52,19% e o Fator 2 corresponde a 32,03% da variância explicada pelos dados originais, totalizando em 84,22% da variância acumulada.

No caso dos índices agregados: Índice da Oferta Energética (IOE) e o Índice da Dependência Externa de Energia (IDEXT), estes apresentaram 83,18% e 73,7% de variância explicada pelas variáveis originais, respectivamente, sendo extraído um fator (Fator 1). Diferentemente do Índice da Produção Energética (IPE), que pôde ser extraídos dois fatores, tendo como resultado da variância explicada: 66,93% e 19,19%, correspondentes aos fatores (Fator 1 e Fator 2), simultaneamente, resultando na variância acumulada em 86,12%.

Após o cálculo dos índices brutos, em seguida foi feita a padronização do índice, de forma que o mesmo pudesse variar entre 0 e 1, resultando nos valores expostos na Tabela 5 e Tabela 6, com os índices parciais e agregados.

Tabela 5 - Índices parciais de Oferta e Produção de Energia (renovável e não renovável), respectivamente

ANO	IOREN	IONREN	IPREN	IPNREN
1970	0,000	0,000	0,000	0,021
1971	0,016	0,020	0,015	0,026
1972	0,039	0,048	0,039	0,020
1973	0,061	0,096	0,063	0,000
1974	0,071	0,128	0,074	0,072
1975	0,073	0,154	0,077	0,031
1976	0,113	0,186	0,122	0,070
1977	0,162	0,210	0,169	0,104
1978	0,199	0,254	0,209	0,133
1979	0,233	0,280	0,242	0,159
1980	0,260	0,270	0,268	0,182
1981	0,277	0,217	0,290	0,232
1982	0,320	0,217	0,333	0,561
1983	0,354	0,205	0,369	0,555
1984	0,364	0,283	0,382	0,562
1985	0,404	0,336	0,425	0,543
1986	0,424	0,313	0,415	0,459
1987	0,457	0,339	0,449	0,478
1988	0,465	0,335	0,453	0,416
1989	0,466	0,348	0,448	0,382
1990	0,504	0,321	0,486	0,244
1991	0,541	0,342	0,529	0,272
1992	0,568	0,336	0,551	0,247
1993	0,586	0,341	0,566	0,246
1994	0,615	0,359	0,593	0,276
1995	0,633	0,434	0,605	0,280
1996	0,662	0,472	0,639	0,290
1997	0,689	0,513	0,675	0,340
1998	0,697	0,533	0,676	0,364
1999	0,697	0,528	0,673	0,396
2000	0,674	0,564	0,647	0,500
2001	0,658	0,661	0,639	0,496
2002	0,683	0,641	0,666	0,694
2003	0,713	0,618	0,705	0,638
2004	0,724	0,641	0,715	0,730
2005	0,753	0,611	0,744	0,648
2006	0,789	0,661	0,788	0,703
2007	0,852	0,672	0,859	0,793
2008	0,902	0,724	0,899	0,892
2009	0,965	0,615	0,952	0,868
2010	1,000	0,760	1,000	0,740
2011	0,998	0,799	0,992	0,906
2012	1,000	0,856	0,997	0,935
2013	0,971	0,947	0,965	1,000
2014	0,997	1,000	0,985	0,967
TGC (% a.a)	6,50	5,34	6,37	6,78
MÉDIA	0,525	0,426	0,520	0,433
CV (%)	58,03	58,34	57,51	67,96

Fonte: Valores estimados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

Para a interpretação dos índices levou-se em consideração a escala de 0 (zero) a 1 (um), ou seja, quanto mais próximo de 0, pior é o índice da produção ou oferta energética

(renovável ou não renovável) no Brasil, considerando a participação das principais fontes, analisando-se também de acordo com o crescimento da população brasileira.

O Índice de Oferta de Energia Renovável (IOREN) e o Índice da Produção de Energia Renovável (IPREN) apresentaram médias de 0,525 e 0,520, respectivamente. Os resultados estimados mostram que, no período de 1970 a 1990, para os dois índices, foram abaixo da média. Isso corresponde a uma deficiência produtiva e, conseqüentemente, na oferta energética renovável brasileira durante esse intervalo. Já de 1991 a 2014, os comportamentos dos índices se mostraram acima da média, correspondendo à inserção de maiores incentivos na área renovável, bem como melhorias na produção e oferta, através da diversificação das fontes. O ano de 1970 foi correspondente a 0,000, o que significa o pior desempenho para ambos os índices. Já 2010 foi o melhor ano para os mesmos, representando maior oferta e produção energética. A Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) acumulada do IOREN ficou em torno de 6,50%, a.a., maior que a TGC de 6,37% para o IPREN. Para esse período, o IPREN ficou menor que o IOREN. Os Coeficientes de Variação de 58,03% e 57,51%, IOREN e IPREN, respectivamente, mostram que há uma alta variação em torno da média, mostrando que há heterogeneidade dos dados, demonstrando instabilidade no comportamento dos índices.

No caso do Índice de Oferta de Energia Não Renovável (IONREN), o período em que os valores permaneceram abaixo da média foi de 1970 a 1994, com uma TGC de 5,34% ao ano, a qual mostra menor crescimento, quando comparado ao do IOREN. Esse resultado colabora com a tendência de maior participação de fontes renováveis na matriz energética no Brasil.

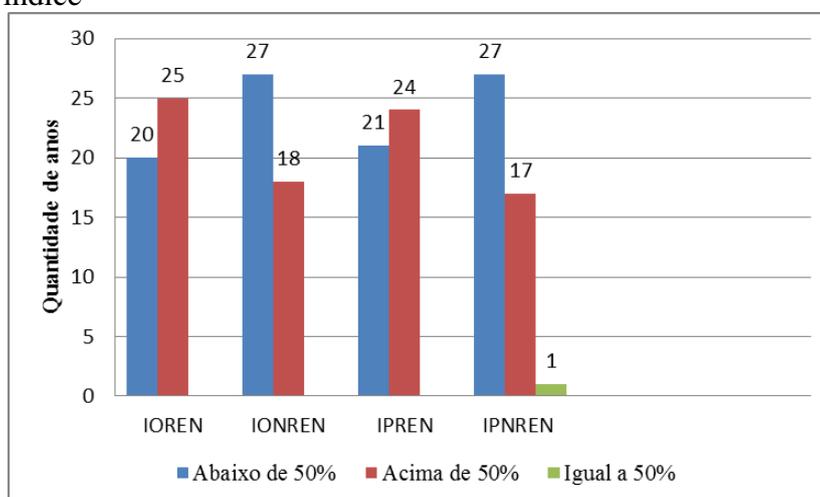
Diferentemente dos outros índices discutidos, o Índice da Produção de Energia Não Renovável (IPNREN) apresentou dois momentos em que permaneceu abaixo da média (0,433), um período que se estende de 1970 a 1981 e outro período de 1988 a 1999. Os outros anos correspondem aos valores acima da média. A TGC foi de 6,78% a.a. Se comparada à do IPREN, ela se mostra com melhor nível, porém, com uma alta variabilidade em torno da média com o CV de 67,96%, considerado muito alto.

Se classificado em grupos quantitativamente, de acordo com o critério estatístico da mediana, grupo 1 (abaixo de 50%), grupo 2 (acima de 50%) e grupo 3 (igual a 50%) para os índices estimados, pode-se afirmar, de acordo com o Gráfico 6.4, que o IOREN permaneceu 20 (vinte) anos abaixo de 0,5, que equivale a 50%, período de 1970-1989. Isto mostra que ficou com o nível menor que o intermediário, e 25 anos acima do nível mediano do índice (1990-2014), lembrando que o mesmo é de 0 a 1. No caso do IONREN, foi o

contrário, foram 27 (vinte e sete) anos abaixo de 0,5 (1970-1986) e 18 (dezoito) anos acima do nível intermediário (1987-2014).

Para o IPREN foram 21 (vinte e um) anos permanecidos no grupo 1 e 24 (vinte e quatro) anos no grupo 2, compreendendo os períodos de 1970-1990 e 1991-2014, respectivamente. Já para o INPREN, apresentou comportamento mais heterogêneo, com 27 (vinte e sete) anos abaixo de 0,5, 17 (dezesete) anos acima de 0,5 e 1 (um) ano igual a 0,5, como mostra o Gráfico 9.

Gráfico 9 – Quantificação dos grupos de acordo com o nível do índice



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da EPE (2015a).

Já os índices agregados, estão apresentados na Tabela 6, onde é feita a junção de produção e oferta (*per capita*) de todas as fontes energéticas utilizadas no Balanço Energético Nacional Brasileiro, as quais são as principais fontes da matriz energética. Além da mensuração da dependência externa de energia.

Tabela 6 - Índices agregados da Oferta e da Produção Energética e o Índice da Dependência Externa de Energia, IOE, IPE e IDEXT, respectivamente

ANO	IOE	IPE	IDEXT
1970	0,000	0,000	0,164
1971	0,018	0,010	0,005
1972	0,043	0,023	0,173
1973	0,077	0,034	0,018
1974	0,098	0,056	0,038
1975	0,113	0,051	0,138
1976	0,149	0,082	0,111
1977	0,186	0,121	0,106
1978	0,227	0,149	0,020
1979	0,257	0,175	0,051

Continua

ANO	Conclusão		
	IOE	IPE	IDEXT
1980	0,266	0,200	0,076
1981	0,247	0,223	0,033
1982	0,269	0,321	0,000
1983	0,280	0,352	0,167
1984	0,326	0,372	0,228
1985	0,373	0,403	0,231
1986	0,372	0,384	0,292
1987	0,401	0,409	0,459
1988	0,404	0,398	0,419
1989	0,410	0,391	0,469
1990	0,413	0,392	0,580
1991	0,443	0,423	0,555
1992	0,453	0,438	0,546
1993	0,465	0,447	0,589
1994	0,488	0,471	0,620
1995	0,535	0,482	0,620
1996	0,568	0,515	0,664
1997	0,602	0,549	0,654
1998	0,615	0,567	0,686
1999	0,613	0,581	0,656
2000	0,620	0,596	0,775
2001	0,661	0,595	0,849
2002	0,663	0,667	0,930
2003	0,667	0,683	0,961
2004	0,684	0,707	0,937
2005	0,683	0,720	0,956
2006	0,725	0,762	0,942
2007	0,762	0,825	0,971
2008	0,813	0,884	1,000
2009	0,786	0,919	0,941
2010	0,879	0,934	0,965
2011	0,899	0,969	0,963
2012	0,928	0,977	0,865
2013	0,959	0,967	0,859
2014	1,000	1,000	0,906
TGC (% a.a)	5,89	7,29	8,35
MÉDIA	0,476	0,471	0,515
CV (%)	57,37	63,68	69,22

Fonte: Valores estimados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

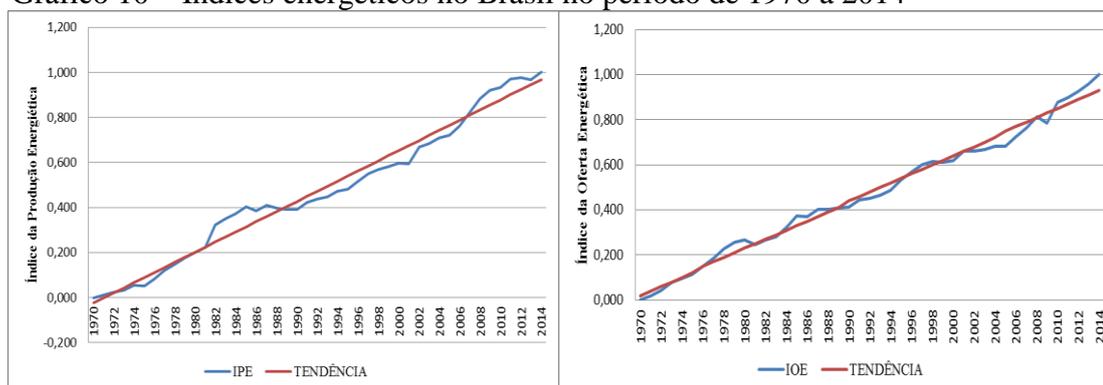
A partir da Tabela 6, observou-se que os resultados agregados dos índices construídos também apresentam a tendência dos índices parciais. Apesar disso faz-se necessário analisar parcialmente os índices elaborados para as fontes energéticas renováveis e não renováveis, no intuito de verificar sua evolução, de acordo com a série de anos analisada separadamente, para que só então seja aferido de forma agregada com todas as fontes.

Diante disso, o Índice de Oferta Energética (IOE) e Índice de Produção Energética (IPE) apresentaram resultados com tendências parecidas, no que diz respeito ao período em que os índices ficaram abaixo da média (0,476 e 0,471, respectivamente), de 1970 a 1993, em contrapartida, de 1994 a 2014, intervalo que apresentou melhor desempenho dos índices

citados mostrando-se acima da média. Nessa perspectiva, o ano que se apresentou como pior resultado dos índices (IOE e IPE) foi 1970 e o melhor desempenho foi em 2014, confirmando o que já era esperado: quanto maior a produção e oferta energética maiores serão os índices estimados. Além disso, verifica-se o impacto do crescimento populacional nos indicadores inclusos nos índices, uma vez que os mesmos são estimados considerando a população. Portanto, não basta haver apenas o crescimento da oferta ou produção de energia, deve-se analisar se esse crescimento acompanha a evolução populacional.

O CV do IPE foi de 63,68%, resultado bastante alto, o que significa que os dados tem alta variação em torno da média (0,471), assim como o CV encontrado para o IOE de 57,37%. Estes resultados sugerem as elevadas instabilidades dos índices estimados, que refletem a instabilidade da produção e oferta de energia no Brasil, no período sob investigação. Como complemento à Tabela 6, pode-se observar a tendência dos índices IPE e IOE no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Índices energéticos no Brasil no período de 1970 a 2014



Fonte: Elaborados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

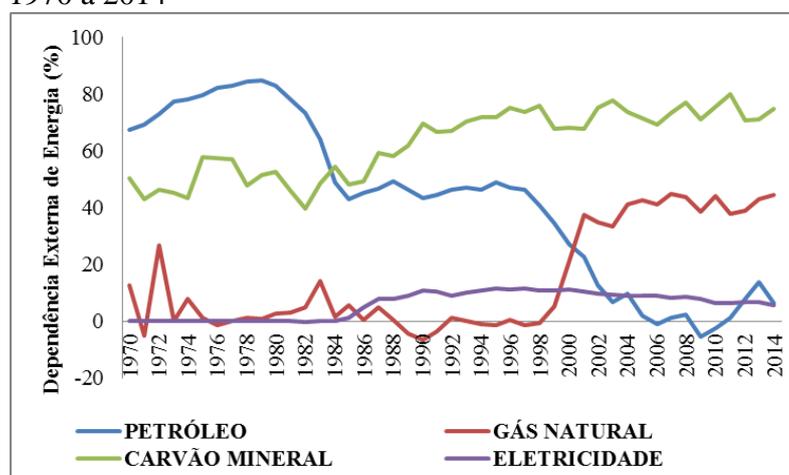
O que se pode inferir, a partir dos resultados encontrados, é que, durante 25 anos (1970-1995) e 24 anos (1970-1994), o Brasil não apresentou um desempenho satisfatório na produção e na oferta *per capita* energética, respectivamente, uma vez que o país permaneceu com patamares abaixo dos 50% dos índices estimados, além de apresentar uma elevada instabilidade ao longo do período.

Apenas ofertar energia num país, por mais abundante que seja em termos de fontes energéticas, não é suficiente. Isto porque esse fornecimento deve acompanhar o crescimento da população, considerando que existem fatores que influenciam nesse desempenho, como: a adoção de políticas energéticas eficientes, investimentos, inserção de tecnologia, aproveitamento das potencialidades naturais de cada região, diminuição das

perdas energéticas na transformação, distribuição e armazenagem, inclusive energia não aproveitada, reinjeção e ajustes. Estes estão dentre os inúmeros fatores a que um país como o Brasil deve se deter, para que a eficiência energética seja alcançada, proporcionando melhores rendimentos e melhoria na distribuição que, conseqüentemente, trarão resultados significativos para a Matriz Energética Brasileira.

O reflexo dessas medidas pode ser observado, seja pela redução do grau de dependência externa de energia, seja pela evolução da Matriz Energética Brasileira, desde o início da década de 80, conforme pode ser verificado no Gráfico 11. No ano de 1970, a dependência externa de energia foi crescente, com destaque para o petróleo (com dependência de 67,57%), seguido pelo carvão mineral (50,21%), gás natural (12,63%) e eletricidade (-0,04%). No caso dos anos em que apresentaram valores negativos, estes correspondem às exportações líquidas de algumas fontes energéticas, assim como ocorreu com o gás natural e eletricidade. Comparativamente, em 2014, essa realidade foi bastante distinta e perceptível pelo comportamento das fontes, tais como: a redução da dependência de petróleo (totalizando uma dependência de 6,33%), eletricidade (5,41%), gás natural (44,26%) e principalmente com maior destaque para o carvão mineral (74,92%). Para as duas últimas fontes citadas, a dependência externa de energia ainda permanece bastante significativa, pois, como o país necessita destas para o funcionamento da economia interna, a saída encontrada para suprir a demanda é importando-as. Assim, o Gráfico 11 mostra o comportamento dessa dependência de importação ao longo do período em análise.

Gráfico 11 – Dependência externa energética brasileira de 1970 a 2014



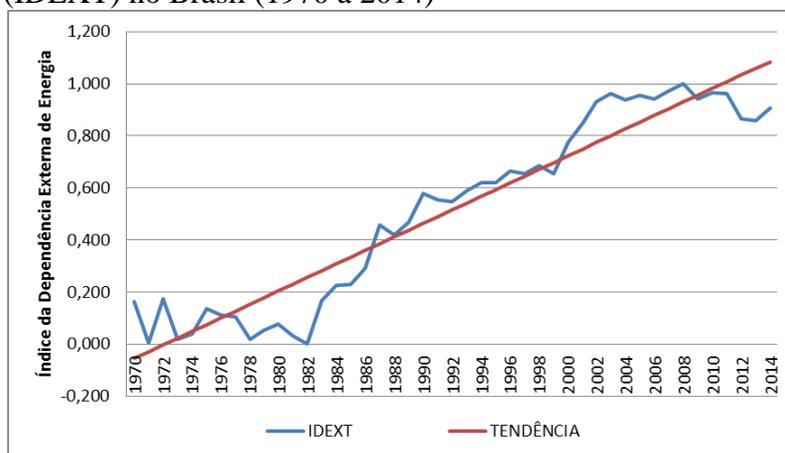
Fonte: Elaborados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

Nota: valores negativos correspondem à exportação líquida.

O valor médio encontrado para o Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) foi de 0,515, ressaltando que, quanto mais próximo de 1, maior a dependência externa de energia e, quanto mais próximo de zero, menor será essa dependência. O período compreendido entre 1970 a 1989 foi aquele em que o IDEXT ficou abaixo da média. Já o período de 1990 a 2014, correspondeu aos anos acima da média. A TGC de 8,35%, estimada para o Índice de Dependência Externa de Energia, que foi superior àquelas estimadas para os índices de produção e de oferta de energia, significa que, mesmo o país produzindo bem a energia, no intuito de melhorar a oferta, ainda assim é dependente de importação de algumas fontes como: petróleo, gás natural, carvão mineral e eletricidade. Para o país ser autossuficiente necessita ter um maior Índice de Produção Energética (IPE) e que seja fundada em fontes renováveis para que a matriz seja sustentável. Somente desta forma pode-se reduzir a dependência externa do fornecimento de energia, a qual demonstra ser crescente a uma taxa muito expressiva. O comportamento do IDEXT e de sua tendência podem ser observados no Gráfico 12.

O que se percebe pelo comportamento do Índice de Dependência Externa de Energia (vide Tabela 6 e Gráfico 12) é que, ao invés de diminuir a carência de importar energia ao longo dos anos, essa realidade foi bem diferente diante do que foi encontrado. Analisando-se o período de 1970 a 2014, verifica-se o contrário, pois a dependência foi só aumentando com o passar dos anos, mesmo com as inúmeras mudanças e iniciativas para melhorar a produção no país. Outro fator a ser citado é a alta instabilidade do índice aferido por um coeficiente de variação na magnitude de 69,22%. Uma das fontes mais dependentes do mercado externo é o carvão mineral (ver Tabela 6).

Gráfico 12 - Índice da Dependência Externa de Energia (IDEXT) no Brasil (1970 a 2014)



Fonte: Resultados estimados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).

Deste modo, de acordo com os resultados discutidos nesta seção, pode-se afirmar que o Brasil possui uma tendência ascendente de crescimento, no que se refere à dependência externa de energia. Assim como mostrado na Tabela 6 e o Gráfico 12, e a partir dessa concepção é válido afirmar que o país possui insustentabilidade econômica na matriz energética, devido ao fato de a produção não acompanhar a demanda energética, tornando necessário o país recorrer ao mercado internacional, com a finalidade de suprir a Matriz Energética Brasileira. Nesse contexto, é válido frisar que essa dependência está relacionada, principalmente, às fontes energéticas de origem fóssil. Deve-se ressaltar que o país necessita de uma diminuição no uso de energia não renovável.

Nessa perspectiva, a Matriz Energética Brasileira possui, historicamente, uma participação considerável das fontes renováveis na oferta interna de energia. Entretanto, o rápido crescimento econômico, juntamente com o intenso processo de industrialização, pelo qual passou a economia brasileira nas últimas décadas, contribuiu para o aumento da dependência por combustíveis fósseis não renováveis. Com isso, a crescente dependência trouxe consigo graves consequências para o processo de desenvolvimento energético do país, como do ponto de vista econômico, com o aumento da intensidade energética.

Para Schaeffer *et al.* (2003), a elevada dependência hidráulica do sistema elétrico brasileiro, cuja capacidade de armazenamento de energia (água armazenada nos reservatórios) é de natureza estocástica, introduz certo risco na capacidade de suprimento ininterrupto de energia no Brasil. Esse risco pode ser minimizado através da entrada de novas fontes energéticas na matriz de suprimento de energia elétrica, como a energia eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Outras fontes mais descentralizadas, como a energia fotovoltaica, também podem contribuir para a diversificação, especialmente em relação a comunidades isoladas, que não possuem acesso à rede de energia elétrica.

Assim como foi mostrado na literatura, o planejamento energético teve uma participação importante na tomada decisão no processo de evolução da Matriz Energética Brasileira, pois, assim como ocorreu com a realidade mundial, o Brasil conseguiu adotar políticas que viabilizassem a redução da dependência de petróleo e maior diversificação das fontes utilizadas. Neste sentido, a busca por maior eficiência energética, redução das perdas na transmissão, aumento da produtividade, redução da intensidade e intensificação dos esforços no processo de conservação de energia, foram algumas das medidas adotadas entre os anos de 1970 e 1980, não somente nesse período, pois, até os dias atuais, a busca por políticas energéticas que viabilizem um melhor planejamento dos recursos utilizados para a produção de energia no país, é o foco crucial para o andamento de novas possibilidades.

Como mostrado na tese de Carvalho (2009), a qual visou demonstrar que o Brasil dispõe de fontes renováveis de energia que lhe permitirão chegar à sustentabilidade, considerando o papel que os combustíveis não renováveis têm a desempenhar durante a transição da matriz insustentável para uma sustentável. Deste modo, não se pode esperar que o mercado, sem forte controle estatal, crie condições para que a oferta de energia e a demanda da economia respeitem a uma política energético-industrial integrada, que conduza a um desligamento entre o crescimento econômico e o uso dos recursos naturais.

5.3 Impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro

Para mensurar o impacto do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) sobre a evolução do Produto Interno Bruto (PIB), optou-se pela análise de regressão linear simples, na forma funcional logarítmica, da qual foi possível obter os resultados ao longo desta seção.

Inicialmente, é válido analisar o ajustamento do modelo, bem como interpretar os coeficientes estimados, os quais são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7- Coeficientes de ajuste do modelo

Variáveis		Coeficientes de ajuste do modelo		
Dependente	Independente	R	R ²	R ² ajustado
PIB	IDEXT	0,627	0,393	0,379

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

De acordo com as evidências mostradas na Tabela 7, o coeficiente de determinação (R²) indica aproximadamente que 39,3% da variação do PIB pode ser explicada pelo IDEXT, variável inserida no modelo. Para o coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2), indica que 37,9% da variação do PIB pode ser explicada pelo IDEXT. Para Fávero *et al.* (2009), alguns pesquisadores destacam o quão bons são seus modelos, ao obterem altos percentuais para o R². Porém, essa medida somente captura a relação entre as variáveis utilizadas no modelo. Wooldridge (2003) enfatiza que é mais importante não dar ênfase demais para o valor do R² na análise de modelos econométricos. Entretanto, se uma única variável conseguir capturar toda essa relação em uma situação de existência de inúmeros outros fatores, o modelo poderá ser satisfatório.

Os testes que mostram a significância do modelo estimado podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Significância do modelo – ANOVA

Teste F	Sig.	Coeficientes estimados		Teste t	Sig.
		Modelo	Betas		
27,882	0,000 ^b	Intercepto (β_0)	0,436	6,764	0,000
		IDEXT (β_1)	-0,545	-5,280	0,000

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

A Tabela 8, ANOVA (Análise de Variância) apresenta o resultado da significância do modelo estimado, por meio do Sig. $F = 0,000 < 0,05$, sendo rejeitada a hipótese nula de não significância conjunta dos parâmetros da equação a 5%, ou seja, aceita a hipótese alternativa de que o β_1 é diferente de zero ($\beta_1 \neq 0$), o qual afirma a significância do modelo. Isso confirma que a variável colocada do lado direito da equação de definição é relevante daquela que está do lado esquerdo dos níveis de significância, normalmente utilizado neste tipo de estudo.

O teste t apresentou o Sig. t (p -value) para o intercepto (β_0) = 0,000 < 0,05 e Sig. t para o coeficiente angular (β_1) = 0,000 < 0,05. Rejeita-se a hipótese nula de não significância dos parâmetros ao nível de significância de 5%.

Segundo Fávero *et al.* (2009), há uma relação direta para modelos de regressão simples, sendo o valor de $t^2 = F$ ($(-5,280)^2 = 27,88$) e que o Sig. F deverá ser igual ao Sig. t , como foi mostrado (Sig. F (0,000) = Sig. t (0,000)).

Em sequência, o modelo final estimado pela regressão linear é especificado na Equação 15:

$$\widehat{PIB} = 0,436 - 0,545 (IDEXT) \quad (15)$$

A partir do modelo final apresentado (Equação 15), pode-se afirmar que o aumento de 0,1 unidade do Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT) tende a provocar, em média, uma redução de 0,545 unidade do índice do Produto Interno Bruto (PIB), com a probabilidade de 0,000 de erro.

Logo, estes resultados demonstram que, no período analisado (1970-2014), o Índice de Dependência Externa de Energia se mostrou como importante indicador da situação do fornecimento energético, pois, em curto prazo, se a produção energética for menor que a demanda interna, essa diferença só será abastecida pela importação de energia. Para isso é

necessário que o Brasil disponha de reservas cambiais suficientes para suprir a oferta interna, com parte da energia sendo importada em moeda conversível.

Nessa perspectiva, é válido frisar que o preço do petróleo, foi um dos fatores determinantes, durante os anos 1970, para o planejamento de maiores esforços no Brasil, em termos da redução da dependência externa deste combustível, por meio da canalização de investimentos para exploração, produção nacional e maior uso de hidroeletricidade. Com isso, os Programas de substituição de combustíveis, como o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), foram iniciados com o objetivo de aumentar a produção doméstica de combustível como uma mercadoria estratégica. (JANNUZZI; SWISHER, 1997). Em consequência disso, o Brasil investiu em planejamento e programas que buscassem uma maior eficiência energética, que produzisse mais com menos recursos possíveis. Entretanto, essas medidas não foram suficientes para transformar o país totalmente independente de recursos externos, como ficou demonstrado neste estudo.

6 CONCLUSÕES

A presente dissertação tem como resultado a constatação de que, no período de 1970 a 2014, várias transformações ocorreram no percurso do desenvolvimento da matriz energética. Nessa trajetória, um dos fatores para esta mudança foi a crise do petróleo (1973 e 1979), provocada pela escassez de oferta, resultando no aumento do preço do barril, que impulsionou o Brasil, bem como as economias mundiais, a repensar no modelo energético atuante. Este fato, possivelmente, provocou uma maior inserção de programas de incentivo às fontes de energias renováveis (como o aumento do potencial hidrelétrico, biomassa, eólico e solar) e mudanças no direcionamento do planejamento energético, com uma grande redução do uso da lenha como fonte energética, que há algumas décadas era a principal fonte utilizada.

Entretanto, as fontes de energias não renováveis, principalmente o petróleo e o gás natural, se mostraram com produções crescentes, contribuindo para o avanço na participação da Matriz Energética Brasileira, permitindo afirmar que há uma disparidade na afirmativa de que o país possui maior participação de fontes renováveis em seu sistema energético.

Os índices estimados para mensurar a sustentabilidade econômica do fornecimento de energia, tanto os parciais (IPREN, IPNREN, IOREN e IONREN) quanto os agregados (IPE, IOE e IDEXT), mostraram-se com comportamento ascendente, indicando que houve um crescimento da produção e oferta energética (renovável e não renovável) no Brasil ao longo do período analisado, verificando-se o efeito do crescimento populacional, com exceção do IDEXT, que analisou apenas as importações, sem o efeito da população. Com isso, conclui-se que, no Brasil, apesar de os investimentos na melhoria das condições do fornecimento energético, buscarem suprir uma demanda crescente, o país ainda necessita importar energia para complementar a produção nacional e disponibilizá-la por meio da oferta interna energética. Essa medida de curto prazo mostrou-se com comportamento ascendente, o que sinaliza a necessidade de um planejamento de longo prazo, para que haja uma diminuição da dependência externa de energia, principalmente de origem fóssil.

A partir dos índices estimados, tanto os parciais quanto os agregados, observou-se um comportamento de grande instabilidade, mensurado por meio do coeficiente de variação, com Taxa Geométrica de Crescimento positiva e crescimento ascendente para todos os índices.

Nos últimos 25 anos a política energética no Brasil se concentrou na redução da dependência externa e no estímulo ao desenvolvimento de fontes de energia. Em contrapartida, os resultados estimados levaram a concluir que a Matriz Energética Brasileira

possui impacto no fornecimento de energia, dando atenção à produção interna e disponibilidade da oferta para os setores econômicos. No entanto, observou-se que o Índice de Dependência Externa de Energia (IDEXT), o qual avalia a evolução da importação de energia, tende a provocar impactos negativos no Produto Interno Bruto brasileiro, ou seja, é necessária uma maior reserva cambial para arcar com a crescente importação energética.

Diante do que foi exposto neste trabalho, observou-se que a Matriz Energética Brasileira apresenta insustentabilidade na dimensão econômica, corroborando com as especificações discutidas na literatura, no que concerne ao fornecimento energético.

Deste modo, um país com uma população que cresce exponencialmente, com ampla extensão territorial e peso econômico como o Brasil, não deve esperar que os problemas se agravem, para só então adotar medidas destinadas a ajustar sua matriz energética ao cenário de escassez de fontes não renováveis, cenário que possivelmente será agravado pelas mudanças climáticas, devido aos gases de efeito estufa, como é bastante enfatizado em conferências internacionais.

Em contrapartida, é válido salientar que o problema efetivo de aferir a sustentabilidade energética e, por consequência, a própria sustentabilidade, pela amplitude e multidimensionalidade que abrange seu conceito, faz com que haja uma maior complexidade na busca e escolha de indicadores que consigam transparecer e evidenciar o cenário energético, o que o presente trabalho se dispôs a analisar.

Esta pesquisa atendeu às premissas de utilizar uma metodologia aceita internacionalmente, com possibilidade de estabelecer comparações entre países e com uma base de indicadores padronizados, características essenciais para o desenvolvimento de pesquisas com indicadores energéticos. Em contrapartida, sugere-se para trabalhos futuros a inserção de outras dimensões e indicadores energéticos que especifiquem as peculiaridades.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. **Sustentabilidade: Caminho ou Utopia?**. São Paulo: Annablume, 2006. 72 p.
- AZEVEDO, D. B.; MALAFAIA, G. C.; CAMARGO, M. E. Análise do comportamento do consumo energético no setor agropecuário. **Revista Política Agrícola**, Brasília, v. 16, n. 3, p. 49-57, jul./ago./set., 2007.
- ANTHONY, D.; TELEGIN, D.Y.; BROWN, D. **The Origin of Horseback Riding**, Scientific American, december, p. 44 – 48, 1991.
- ANTONY, G.M.; VISWESWARA RAO, K. A composite index to explain variations in poverty, health, nutritional status and standard of living: Use of multivariate statistical methods. **Public Health**, v. 121, issue 8, pages 578–587, 2007.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: Rio de Janeiro: ANP, 2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=78135>>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- BAJAY, S. V. Evolução do planejamento energético no Brasil na última década e desafios pendentes. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 19, n. 1, 1º sem., p. 255-266, 2013.
- BARGHINI, A. **Le origini del motore a vapore**. Roma: Le Scienze, 1971.
- BARTELMUS, P. Dematerialization and capital maintenance: two sides of the sustainability coin. **Ecological Economics**, v.46, n.1, p.61-81, 2003.
- BARRETO FILHO, A. A. **Proposta metodológica para avaliação da matriz energética brasileira em prol do equilíbrio**: competitividade e sustentabilidade. 2012. 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/106396>>. Acesso em: 10 nov. 2015.
- BARROS, E. V. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Revista ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 47-56, jun., 2007.
- BENNETTI, L. B. **Avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) do Município de Lages/SC através do Método de Painel de Sustentabilidade**. 2006. 215 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em: http://professor-ruas.yolasite.com/resources/Tese_Luciana_PGEOA0261.pdf. Acesso em: 11 nov. 2015.
- BOWMAN, D. *et al.* Fire in the Earth System. **Science**, New York, v. 324, issue 5926, apr., p. 481 – 482, 2009.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. Comissão de Defesa do Consumidor, Meio Ambiente e Minorias. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21**. Brasília, DF, 1995. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.

BRÜSEKE, F. J. O Problema do Desenvolvimento Sustentável. *In*: CAVALCANTI, C.(org.). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

CARVALHO, J. F. **O Declínio da Era do Petróleo e a Transição da Matriz Energética Brasileira para um Modelo Sustentável**. 2009. 146 p. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10062011-163905/en.php>. Acesso em: 10 nov. 2015.

CARMINATI, J. G. O.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 19, n. 2, 2º sem. p. 355-374, 2013.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. 369 p.

CIMA, F. M. **Utilização de Indicadores Energéticos no Planejamento Energético Integrado**. 2006, 195 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/fmcima.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

COSTA, R. C. Do model structures affect findings? Two energy consumption and CO2 emission scenarios for Brazil in 2010. **Energy Policy**, v. 29, p. 777-785, 2001.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; MOURA, L. R. C. Degradação ambiental nos estados de Goiás e Tocantins. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 53, 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005, p. 1-15.

DE MASI, Domênico. **O ócio criativo**. Rio de Janeiro: Sextante, 2000.

DOVERS, S.R.; HANDMER, J.W. Uncertainty, sustainability and change. **Global Environmental Change**, v.2, n.4, p.262-276, 1992.

DUTRA, R. M. **Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica Face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro**. 2001, 309 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rmdutra.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2015.

ECODESENVOLVIMENTO. **EcoD Básico: O que é Sustentabilidade** (2013). Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/ecod-basico-sustentabilidade#ixzz2IzpFOOoU>. Acesso em: 05 out. 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 408 p., 2007.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional – Séries Completas**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>. Acesso em: 10 out. 2015a.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2015b.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FARIAS, L. M.; SELITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun., 2011.

FERNANDEZ, B. P. M. Ecodesenvolvimento, Desenvolvimento Sustentável e Economia Ecológica: em que sentido representam alternativas ao paradigma de desenvolvimento tradicional?. Editora UFPR, **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, n. 23, p. 109-120, jan./jun. 2011.

FIORINO, D.J. Explaining national environmental performance: Approaches, evidence, and implications. **Policy Sciences**, v.44, n.4, p.367-389, 2011.

FAUCHEUX, S.; NOËL, J. F. **Economia dos recursos naturais e do meio ambiente**. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

FREITAS, G. S. **As modificações na matriz energética brasileira e as implicações para o desenvolvimento sócio-econômico e ambiental**. 2011, 232 p. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/40251/000822367.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 out. 2015.

GELLER, H. **Energy Revolution: Policies for a Sustainable Future**. 2 ed. Washington, D.C.: Island Press, 2003.

GUERRA, J. B. S. O. A.; YOUSSEF, Y. A. **As energias renováveis no Brasil: entre o mercado e a universidade**. Palhoça: Ed. Unisul, 2011. Disponível em: http://www.jelare-project.eu/Downloads/Energias_Renovaveis_no_Brasil.pdf. Acesso em: 5 out. 2015.

HARDI, P.; ZDAN, T. J. **Assessing sustainable development: Principles in practice**. IISD - International Institute for Sustainable Development Winnipeg, Canada, 1997 175p. Disponível em: <https://www.iisd.org/pdf/bellagio.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2015.

HEINBERG, R. **Five axioms of sustainability**. (2007). Disponível em: <http://richardheinberg.com/178-five-axioms-of-sustainability>. Acesso em: 16 dez. 2015.

HÉMERY, D.; DEBEIR, J. C.; DÉLEAGE, J. P. **Uma história da energia**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1991.

HOVE, H. Critiquing Sustainable Development: A Meaningful Way of Mediating the Development Impasse?. **Undercurrent**, Canadian, v.1, n.1, pp 48-54, 2004.

HOFFMANN, R. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. Departamento de Economia, Administração e Sociologia - ESALQ/LES, Universidade de São Paulo – USP. 2015. Disponível em: <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/48616>. Acesso em: 10 set. 2015.

IAEA. International Atomic Energy Agency. **Indicators for Sustainable Energy Development - ISED**. AIEA, Austria. 2003.

_____. International Atomic Energy Agency. **Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies**. Vienna, Austria: United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), Eurostat and the European Environment Agency (EEA). 2005. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222_web.pdf. Acesso em: 12 out. 2015.

_____. International Atomic Energy Agency. **Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand**. United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2007. Disponível em: https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/07-23753_energyindic_small.pdf. Acesso em: 12 set. 2015.

IEA. International Energy Agency. **Energy Policies and Programmes of IEA Countries**. AIE, Paris, 1981.

_____. International Energy Agency. **Energy Prices and Taxes**, Vol. 2015, ed. 4, OECD Publishing, Paris, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial Brasileira**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm. Acesso em: 20 jan. 2016a.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Posição e extensão**. Disponível em: <http://teen.ibge.gov.br/mao-na-roda/posicao-e-extensao.html>. Acesso em: 20 jan. 2016b.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto valores correntes**. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=1&vcodigo=SCN52&t=produto-interno-bruto-br-valores-correntes>. Acesso em: 10 jan. 2016.

IISD. International Institute for Sustainable Development. **Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications**. A Report to the Balaton Group. Canadian: Hartmut Bossel, 1999. Disponível em: <https://www.iisd.org/pdf/balatonreport.pdf>. Acesso em: 4 out. 2015.

IUCN; UNEP; WWF. **The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development**. International Union for Conservation of Nature (IUCN), United

Nations Environment Programme (UNEP) and World Wide Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland, 1980.

JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. **Planejamento Integrado de Recursos: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis**. 1. ed. Campinas: Editora Autores Associados, 1997, 246p.

JACOMY, B. **Une histoire des techniques**, Éditions du Seuil, 1990, p. 24 – 83.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6 ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2007.

JORGENSEN, U.; DALGAARDA, T.; KRISTENSEN, S. E. Biomass energy in organic farming: the potential role of short rotation coppice. **Biomass and Bioenergy**, Tjele, v. 28 n. 2 p. 237–248, fev. 2005.

KELLY, R.; SIRR, L.; RATCLIFFE, R. Futures thinking to achieve sustainable development at local level in Ireland . **Foresight**, v.6, n.2, p.80-90, 2004.

KUNSTLER, J.H., **La fin du pétrole – Le vrai défi du XXIe siècle**, PLON, 2005, p. 22– 31.

LANDES, D. S. **Prometeu Desacorrentado: Transformação Tecnológica e Desenvolvimento Industrial na Europa Ocidental desde 1750 até a nossa Época**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1969.

LÉLÉ, S. M. Sustainable development: A critical review. **World Development**, v.19, n.6, p.607-621, 1991.

LEHTONEN, M. The environmental–social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions. **Ecological Economics**, v.49, n.2, p.199-214, 2004.

LEMOS, J. J. S. **Mapa da exclusão social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre**. 3. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012. 256 p

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI**. Porto: CITCEM, 2012, p. 201-2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/26503>. Acesso em: 10 jul. 2015.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v.25, n.0, p.14-26, 2012.

LOPES, D. G. **O Impacto da Energia Elétrica Proveniente do Reformador de Etanol e Célula a Combustível: Cenário para a Promoção do Desenvolvimento Socioambiental da Comunidade "Pico do Amor"/MT**. 2009, 96 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/152572>. Acesso em: 10 out. 2015.

MAIMON, D. **Ensaio sobre Economia do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Aped - Associação de Pesquisa e Ensino em Ecologia e Desenvolvimento, 1992, 149 p.

MARTIN, J. M. **A Economia Mundial da Energia**. São Paulo: UNESP, 1992.

MARTINS, J. M. C. **Estudo dos principais mecanismos de incentivo às fontes renováveis alternativas de energia no setor elétrico**. 2010, 114 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000770696&fd=y>. Acesso em: 22 nov. 2015.

MAROCO, J. **Análise estatística com utilização do SPSS**. 3 ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2007.

MELO, C. O. **Caracterização do desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: uma análise com base na estatística multivariada**. 2006. 113p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

MELO, C. O.; PARRÉ, J. L. Caracterização do desenvolvimento rural dos municípios paranaenses. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA RURAL, 54, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006.

_____. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v.45, n.2, p.329-365, jun., 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032007000200005. Acesso em: 10 dez. 2015.

MORAIS, J. M. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea: Petrobras, 2013. 424 p.

MORAES, M. L.; BACCHI, M. R. P. Etanol Do início às fases atuais de produção. **Revista Política Agrícola**, Brasília, v. 23, n. 4, out./nov./dez. 2014.

MOLDAN, B.; JANOUAKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v.17, p. 4-13, 2012.

NEUMAYER, E. The determinants of aid allocation by regional multilateral development banks and United Nations agencies. **International Studies Quarterly**, London, v.47, n.1, p.101-122, 2003.

ONU. Organização das Nações Unidas. **ONU esclarece dúvidas a respeito do novo acordo climático adotado pelos Estados-membros na COP21**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-esclarece-duvidas-a-respeito-do-novo-acordo-climatico-adotado-pelos-estados-membros-na-cop21/>. Acesso em 25 dez. 2015.

PINTO JÚNIOR, H. Q. (Org.) *et al.* **Economia da Energia – Fundamentos Econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PROJETO ÁRIDAS. **A strategy for sustainable development in Brazil's Northeast**. Brasília: IESEA, 1995. 220 p.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2014 - Sustentar o progresso humano: reduzir as vulnerabilidades e reforçar a resiliência.** Plaza, New York, NY, USA . 2014.

RUTHERFORD, I. Use of Models to link Indicators of Sustainable Dvelopment. *In: Moldan, B.; Bilharz, S. (Eds.). Sustainability Indicators: Report of the project on Indicators of Sustainable Development.* Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997.

SACHS, I. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento.** São Paulo: Vértice, 1981.

_____. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** 2. ed. Rio de Janeiro: Garamond., 2002, 96p.

_____. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável.** 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

_____. **Rumo a Ecosioeconomia.** São Paulo: Cortez, 2007.

SANTOS, F. C. B. **Desenvolvimento e Análise de um Índice de Sustentabilidade Energética utilizando Lógica Fuzzy.** 2010. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-04082011-103327/pt-br.php>. Acesso em: 9 nov. 2015.

SARTORI, F.; LATRÔNICO, S.; CAMPOS, L. M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: Uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade.** São Paulo, v. 17, n. 1, p. 1-22, jan./mar., 2014.

SILVA, M. A. C. **Factores de sustentabilidade em energias renováveis.** 2012. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2409/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 29 out. 2015.

SCHAEFFER, R.; COHEN, C.; ALMEIDA, M.; ACHÃO, C.; CIMA, F. **Energia e pobreza: problemas de desenvolvimento energético e grupos sociais marginais em áreas rurais e urbanas do Brasil.** Relatório Técnico preparado para División de Recursos Naturales e Infraestructura – CEPAL, Santiago do Chile, Chile, 77 pp. 2003.

SCHIPPER L.; UNANDER F.; MARIE-LILLIU C. **The IEA energy indicators effort.** Paris, IEA, 2000.

SIMIONI, C. A. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis.** 2006, 314 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em : <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5080/Carlos%20j;jsessionid=EEF6B9AFE35E26CC9220E0097395C6D8?sequence=1>. Acesso em: 24 out. 2015.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Itierciência, 2001. 271 p.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos**. - **CEBRAP**, São Paulo, n. 79, p. 47-69, nov. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 dez. 2015.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Mais tecnologia, energias renováveis competirão com o petróleo**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/namidia/3102159920310621254/com-mais-tecnologia-por-cento2C-energias-renovaveis-competirao-com-o-petroleo/>. Acesso em: 23 fev. 2016.

UN. United Nations. **Adoption of the Paris Agreement**. Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties Twenty - first session, Paris. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2015.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade**: Uma análise comparativa. 2002, 235p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84033/189898.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 nov. 2015.

WCED. World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometrics analysis of cross-section and panel data**. Cambridge: MIT Press, 2002.

ANEXO

ANEXO - MODELO FATORIAL EXPRESSO EM NOTAÇÃO MATRICIAL

$$X - \mu = \Lambda F + \varepsilon$$

Onde:

$$(X - \mu)_{p \times 1} = \begin{pmatrix} X_1 - \mu_1 \\ X_2 - \mu_2 \\ \vdots \\ X_p - \mu_p \end{pmatrix} \quad \text{representa o vetor das } p \text{ variáveis padronizadas;}$$

$$F_{p \times 1} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_p \end{pmatrix} \quad \text{representa o vetor de fatores comuns;}$$

$$\varepsilon_{p \times 1} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{pmatrix} \quad \text{representa o vetor dos fatores específicos;}$$

e

$$\Lambda_{p \times m} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{p1} & \alpha_{p2} & \dots & \alpha_{pm} \end{pmatrix} \quad \text{representa a matriz dos pesos fatoriais.}$$

APÊNDICE

APÊNDICE - ANÁLISE FATORIAL: TESTES KMO E DE ESFERICIDADE

Resultados parciais	
Produção de Energia Renovável	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,723
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	276,662
Graus de liberdade Significância	6 0,000
Produção de Energia Não Renovável	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,564
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	159,239
Graus de liberdade Significância	6 0,000
Oferta de Energia Renovável	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,729
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	281,454
Graus de liberdade Significância	6 0,000
Oferta de Energia Não Renovável	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,777
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	151,922
Graus de liberdade Significância	6 0,000
Resultados Agregados	
Produção Total de Energia	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,678
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	645,967
Graus de liberdade Significância	28 0,000
Oferta Total de Energia	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,857
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	656,001
Graus de liberdade Significância	28 0,000

Dependência Externa de Energia	
Kaiser-Meyer-Olkin (Medida de adequação da amostra)	0,598
Teste de esfericidade de Bartlett Qui-quadrado	154,004
Graus de liberdade	6
Significância	0,000

Fonte: Resultados estimados a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a).