



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA  
MESTRADO EM ECONOMIA**

**HUGO LEONARDO CARVALHO SOARES**

**ECONOMIA E MEIO AMBIENTE: UMA APRECIÇÃO DE CENÁRIOS PARA OS  
SETORES DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS E METALURGIA**

**SALVADOR**

**2017**

**HUGO LEONARDO CARVALHO SOARES**

**ECONOMIA E MEIO AMBIENTE: UMA APRECIÇÃO DE CENÁRIOS PARA OS  
SETORES DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS E METALURGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Área de concentração: Meio Ambiente  
Orientador: Prof. Dr. Henrique Tomé da Costa  
Mata

**SALVADOR**

**2017**



**Universidade Federal da Bahia**  
Faculdade de Economia  
Programa de Pós-Graduação em Economia  
Mestrado e Doutorado em Economia

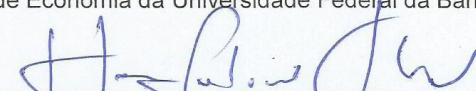
---

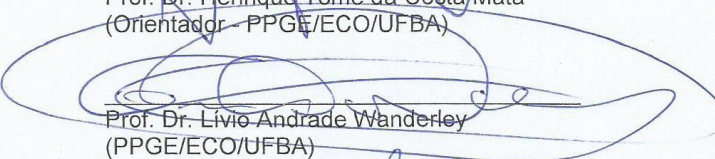
### TERMO DE APROVAÇÃO

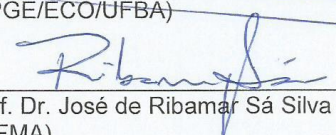
HUGO LEONARDO CARVALHO SOARES

“ECONOMIA E MEIO AMBIENTE: UMA APRECIÇÃO DE CENÁRIOS PARA OS  
SETORES DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS E METALURGIA”

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Economia no Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Henrique Tomé da Costa/Mata  
(Orientador - PPGE/ECO/UFBA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Lívio Andrade Wanderley  
(PPGE/ECO/UFBA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José de Ribamar Sá Silva  
(UFMA)

Aprovada em 31 de maio de 2017.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família por toda a dedicação, carinho e compreensão. Principalmente aos meus pais, Angela e Tomaz, e meus irmãos, Paulo e Eduardo, por apoiarem meus objetivos. Em especial ao avô Antônio, que ao completar sua jornada na terra deixou seu exemplo de perseverança como legado.

Ao professor Henrique Tomé por toda a dedicação e disponibilidade durante todo o curso, e que com suas contribuições essenciais viabilizaram o desenvolvimento do trabalho.

A todos os integrantes da banca por gentilmente acrescentarem com suas intervenções.

Ao corpo docente e aos funcionários da Faculdade de Economia da UFBA, fundamentais para o amadurecimento pessoal e acadêmico durante essa etapa.

A todos os mestres que passaram em minha vida, foram e continuam sendo o alicerce, em especial aos professores Ribamar Sá Silva e Benjamin Alvino, os primeiros a me instigar a enfrentar a pós-graduação.

A todos os colegas que fiz durante o mestrado que tornaram essa caminhada mais agradável, mesmo com todas as obrigações.

À Fapesb, sem a qual seria impossível a minha dedicação integral ao mestrado.

## RESUMO

As fontes energéticas são fundamentais em qualquer sociedade. Por isso, estão diretamente ligadas aos diferentes estágios de desenvolvimento. A energia está sendo estudada pela economia por mais de um século, contudo foi a partir dos choques de petróleo nos anos 1970 que o ramo ganhou notoriedade, os primeiros estudos relacionavam o consumo de energia com a variação do PIB. Por sua vez, a obtenção de energia é uma das atividades que mais impactam o meio ambiente, nas últimas décadas o debate sobre os recursos naturais ganha cada vez mais relevância, uma vez que o meio ambiente provém os recursos para a atividade econômica e também é o depositário dos resíduos resultantes desse processo. Muitos alertas dados por diversas instituições têm mostrado que o planeta está chegando a uma fase onde as modificações realizadas pelos seres humanos serão irreversíveis. A pesquisa tem por objetivo, em termos gerais, discutir o trade off entre crescimento econômico, consumo energético e impactos ambientais. O estudo baseou-se em trabalhos que analisam a energia do ponto de vista físico e econômico, assim como, bibliografias de ramos da economia que tratam do meio ambiente. Os aspectos abordados incluem uma visão geral sobre energia, a matriz energética mundial e brasileira, estudos sobre energia e meio ambiente por parte da economia e projeção de consumo energético e emissões de gases do efeito estufa estimados para o país na variação do produto dos setores minerais não-metálicos e da metalurgia. O Brasil, como qualquer outro país no mundo, enfrenta o dilema entre crescimento econômico e intensidade do consumo dos recursos naturais e geração de resíduos. Para ilustrar esse dilema foram destacados dois setores de grande consumo energético e emissão de CO<sub>2</sub>, os resultados obtidos mostraram que a variação do produto impactaria de forma mais direta os montantes de consumo de recursos energéticos e na emissão de poluentes, enquanto teria pouca diferença no número de empregos gerados.

Palavras-chave: Economia da Energia. Meio Ambiente. Insumo-Produto. Cenários.

## **ABSTRACT**

Energy sources are fundamental in any society. Therefore, they are directly linked to the different stages of development. Energy has been studied by the economy for more than a century, yet it was from the oil shocks of the 1970s that the industry gained notoriety, the earliest studies related energy consumption to GDP variation. In turn, obtaining energy is one of the activities that most impact the environment, in the last decades the debate on natural resources is becoming more relevant, since the environment provides the resources for economic activity and is also The depositary of the waste resulting from that process. Many warnings given by various institutions have shown that the planet is reaching a stage where the modifications made by humans will be irreversible. The research aims to, in general terms, discuss the tradeoff between economic growth, energy consumption and environmental impacts. The study was based on works that analyze energy from a physical and economic point of view, as well as bibliographies of branches of the economy that deal with the environment. The aspects covered include an overview of energy, the world and Brazilian energy matrix, studies on energy and environment by the economy and projection of energy consumption and greenhouse gas emissions estimated for the country in the variation of the product of the mineral sectors Nonmetals and metallurgy. Brazil, like any other country in the world, faces the dilemma between economic growth and the intensity of consumption of natural resources and generation of waste. To illustrate this dilemma were highlighted two sectors of high energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, the results obtained showed that the variation of the product would impact more directly the amounts of energy resources consumption and the emission of pollutants, while it would have little difference in the number generated jobs.

Keywords: Energy Economics. Environment. Input-Output. Scenarios.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço energético em sistema fechado, sem fluxos de massa. ....	18
Figura 2 - Ciclo de vida de um sistema energético .....	20
Figura 3 - Fluxo de energia descrito pelo balanço energético .....	26
Figura 4 – Consumo de energia primária Mundial por fonte para o ano de 2015.....	27
Figura 5 - Energia não-renovável x renovável na produção energética primária nacional .....	29
Figura 6 - Consumo final por fonte .....	32
Figura 7 -Atlas de Intensidade Energética (tep/mil dólares americanos de 2005) ano 2014 ...	37
Figura 8 - Curva Kuznets ambiental.....	43
Figura 9 - Emissão de Dióxido de Carbono entre 1965 a 2015.....	45
Figura 10 - Índices de ligação dos setores da economia brasileira – 2010.....	70
Figura 11 - PIB, empregos, emissão e consumo energético (% a.a.), Brasil 2001 - 2015 .....	73
Figura 12 - Número de empregos formais (em mil) por ano, Brasil 1985-2015.....	74
Figura 13 -Evolução do consumo final energético, Brasil 1970-2015 .....	76
Figura 14 - Emissão de CO <sub>2</sub> eq GWP-AR5, Brasil 1970-2015 .....	78

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	A RELEVÂNCIA DO PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVOS	14
1.3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	14
<b>2</b>	<b>PERSPECTIVA FÍSICA E ECONÔMICA DA ENERGIA</b>	<b>16</b>
2.1	CONCEITO, FORMAÇÃO E ESTOQUES DE RECURSOS ENERGÉTICOS	16
2.2	COMPOSIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E BRASILEIRA	25
2.3	DESCRIÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO ENERGÉTICO	33
<b>3</b>	<b>CONFLUÊNCIA ENTRE QUESTÕES ECONÔMICAS E AMBIENTAIS</b>	<b>39</b>
3.1	ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA PERSPECTIVA DO USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	39
3.2	O TRIPÉ ENERGIA, ECONOMIA E MEIO AMBIENTE	42
3.3	EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO ECONÔMICO E ECOLOGIA	46
3.4	ATIVIDADE ECONÔMICA E ENTROPIA	49
<b>4</b>	<b>DIMENSÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL EM NÍVEL SETORIAL: ATIVIDADES MINERAL NÃO-METÁLICOS E METALÚRGICO</b>	<b>58</b>
4.1	RELEVÂNCIA DA COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS PARA ANÁLISES CONJUNTURAIS E ENERGÉTICAS	58
4.2	APLICAÇÃO DO INSUMO-PRODUTO PARA ANÁLISE DE QUESTÕES ENERGÉTICAS E AMBIENTAIS	61
4.3	METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS DE IMPACTO ENERGÉTICO-AMBIENTAL	65
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA OS CENÁRIOS DELINEADOS	69
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>94</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, os estágios de desenvolvimento da sociedade estão relacionados à quantidade de energia consumida. Para satisfazer as crescentes necessidades dos seres humanos, um considerável aumento no consumo de energia foi necessário. Assim, a capacidade de geração, transmissão e distribuição de energia para o desenvolvimento da produção em condições de competitividade e de maneiras sustentáveis tornou-se um dos fundamentos para qualquer país sustentar sua atividade econômica. Nesse contexto as economias que melhor se posicionarem quanto ao acesso de recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obterão importantes vantagens comparativas.

Os autores Carminati e Scalco (2013) argumentam que a energia é tão importante quanto outras infraestruturas, como estradas, ferrovias, portos e aeroportos, para os processos produtivos. Paul e Bhattacharya (2004 apud CARMINATI; SCALCO, 2013) destacam a necessidade da energia como insumo essencial para a produção e o consumo. Por outro lado, o crescimento econômico, a crescente industrialização e a urbanização induzem ao maior uso de energia. Investimento em energia afeta diretamente a produtividade da economia, aumentando o retorno do investimento dos agentes econômicos, de tal forma que a normalidade da oferta energética é essencial para manter a atividade econômica e para fornecer serviços vitais ao sistema.

O uso final da energia é realizado em diversos setores, dentre eles o transporte, a industrial, o residencial, o comercial e o de serviços públicos. Uma das primeiras formas de gerar energia foi através da queima da lenha das árvores usadas para aquecimento; durante a Idade Média os moinhos também foram utilizados como forma de gerar energia, usando os cursos dos rios e a força dos ventos; contudo a quantidade não era suficiente para suprir as necessidades de populações em crescimento, principalmente nas cidades. O advento da Revolução Industrial aumentou fortemente a demanda por energia e a solução foi à intensificação do uso de recursos como o carvão, petróleo e gás.

As fontes de energia são classificadas em primárias e secundárias, as primárias são objeto de transformações a fim de serem usadas. São formas de energia primária, a solar, as marés, geotérmica, a energia potencial hidráulica, a eólica e a biomassa (lenha, carvão, resíduos orgânicos, produtos agrícolas). A energia secundária é o resultado do processo de transformação da energia primária, é a forma consumida pelos seres humanos. Alguns exemplos de energias

secundárias são a eletricidade, a biomassa moderna (aterros e biocombustíveis) e os derivados do petróleo, como o óleo diesel, óleo combustível, gasolina, querosene e gás liquefeito de petróleo (GLP).

A energia é um insumo básico para qualquer atividade, pois falhas no seu fornecimento trazem efeitos nocivos para toda a economia. Atualmente, as discussões sobre o tema somam-se às abordagens sobre o sistema ambiental, na busca de diferentes fontes alternativas que supram a demanda por energia, com a diversificação da matriz energética, tendo por objetivo a garantia de segurança aos países e a diminuição da pressão sobre os preços dos insumos e as adversidades climáticas. Segundo Rovere, Rosa e Rodrigues (1985), até a década de 1970 a energia era um fator de produção abundante, barato e de preço decrescente. A forma de energia essencialmente usada era o petróleo, recurso que ainda é o alicerce da atividade produtiva industrial.

As elevações do preço do petróleo em 1973/74 e 1979/80 trouxeram grande preocupação em relação à escassez relativa dessa fonte de energia. As diversas consequências econômicas da chamada crise de energia reafirmaram a importância do planejamento na gestão de recursos energéticos. A partir de 1973, foi reforçada a noção de um único mercado energético, formado por diversas fontes de energia com diferentes aplicações finais, por vezes complementares e competidoras entre si. O Planejamento Energético assumiu então um pleno significado agrupando petróleo, eletricidade, gás e fontes alternativas, como a fonte solar e eólica, ou novas fontes como o biodiesel ou biomassa, numa base ampla de oferta e demanda de energia.

Calabi, *et al.* (1983) sugerem que foi na Grécia antiga um dos primeiros locais observados com sistemas de moinhos d'água e estavam associados à utilização da energia hidráulica para fins industriais. Entretanto, como essa sociedade fazia uso da mão-de-obra escrava como força motriz principal, isso inibiu a generalização e o desenvolvimento da técnica de produção mais eficiente. Durante a Idade Média avanços foram percebidos em matéria de progresso energético, e graças às inovações técnicas, o rendimento melhorou de tal forma que a sociedade medieval pôde substituir parte do trabalho manual pelo trabalho das máquinas. O uso mais intensivo do moinho d'água tornou mais eficiente a produção de papel, serragem de madeiras, moagem de cereais, dentre outras formas de produção.

A Revolução Industrial caracterizou o momento de mudanças de paradigmas. Na manufatura o artesão tinha a habilidade e as ferramentas para realizar seu trabalho usando sua força física, enquanto seus pés faziam girar a roda de fiar, suas mãos realizavam o trabalho. Na Revolução Industrial as máquinas realizavam o trabalho do artesão e essas transformações na forma de produzir levaram a uma revolução energética numa segunda etapa, primeiramente com a introdução do carvão, largamente usado na máquina à vapor, seguido do aparecimento do motor a gás e depois a gasolina, esse último motivado pela incapacidade das máquinas à vapor em suprir a escala das necessidades energéticas de pequenas empresas e dos consumidores (CALABI, *et al.*, 1983).

A busca de alternativas para a questão da energia requer a escolha de opções que possibilitem o desenvolvimento econômico, social e ambiental, pois essas escolhas afetam o padrão de consumo e a qualidade de vida das pessoas. Atualmente a oferta de energia baseia-se em fontes fósseis que trazem como consequência a geração de poluentes que colocam em risco os recursos de longo prazo do planeta. A mudança desse cenário é necessária e o estímulo à mudança desses padrões passa pela inserção das energias renováveis, principalmente no âmbito das discussões sobre a questão energética em torno da escassez do petróleo e das mudanças climáticas.

## 1.1 A RELEVÂNCIA DO PROBLEMA

O contexto dessa introdução mostrou-nos que a questão energética tem gerado preocupações em âmbito mundial e ganha cada vez mais importância por causa de seus impactos ambientais, demandando a necessidade de reduções na emissão dos gases poluentes e conseqüentemente, a diminuição de consumo de combustíveis fósseis que são bens finitos e, sozinhos, dificilmente acompanharão as necessidades de energia dentro dos padrões de sustentabilidade exigidos atualmente. Em vista disso, surge a necessidade de alocação de energias renováveis, que segundo Pacheco (2006), é entendido como:

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas (PACHECO, 2006, p. 05).

Atualmente, busca-se utilizar formas mais eficientes de energias renováveis e as energias alternativas, para diferenciar o conceito das formas de energia com os ciclos renováveis naturais, como a energia solar e eólica. Estas formas de energias renováveis são cada vez mais utilizadas com objetivo de minimizar o impacto ao meio ambiente. O desenvolvimento tecnológico permite o aproveitamento de combustíveis alternativos, como o álcool combustível e o biodiesel, e geração de eletricidade através da força dos ventos, do sol, da biomassa ou ainda pela alocação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Essas fontes de energia conquistam paulatinamente o espaço antes ocupado por fontes fósseis e isso foi realizado graças ao desenvolvimento tecnológico que permitiu o aproveitamento de fontes renováveis de combustíveis alternativos, que podem ser captadas e integradas ao sistema de abastecimento de centros urbanos e regiões. Uma dificuldade associada a inserção dessas fontes é o seu caráter intermitente, pois a produção pode variar bastante no tempo, caso da eólica, ou variar sazonalmente, à exemplo da biomassa.

No tocante às fontes renováveis, o Brasil encontra-se numa situação de destaque. O país detém uma imensa biodiversidade e isso lhe permite a geração de energia por vários meios, podendo fazer uso dessa diversidade, com a implantação de uma rede de transmissão para deslocar eventuais excessos de produção de um local ao outro. Diante das dificuldades para atender a demanda futura, o uso consciente da matriz energética se apresenta como oportunidade e desafio ao desenvolvimento econômico. O país é dotado de vastas áreas com potencial hídrico, contudo, dado que grande proporção de energia elétrica advém das hidrelétricas, a sua geração é altamente dependente de ciclos hidrológicos, além dos desequilíbrios regionais na disponibilidade de água.

Os cinco grandes produtores de hidroeletricidade no mundo são a China, Canadá, Brasil, Estados Unidos e Rússia. Com base nos dados da Agência Internacional de Energia para o ano de 2014, apenas a China respondeu por mais de um quarto da produção de energia através de hidrelétricas (26,7%), o que correspondem a 1.064 TWh, o segundo país que mais produziu energia elétrica por meio hidráulico foi o Canadá que produziu 383 TWh em 2014, quase três vezes menos que a produção chinesa.

Em economias marcadas por imperfeições de mercado, a ação do Estado é de fundamental importância para melhorar a alocação dos recursos. O planejamento e a integração do

gerenciamento de diferentes recursos são fatores essenciais para o desenvolvimento regional sustentável. Dado o predomínio dos sistemas de usinas hidrelétricas na geração de eletricidade, a questão da crise hídrica e seus desdobramentos em termos do desenvolvimento levanta a necessidade de adoção de métodos científicos de planejamento energético.

Os recursos hídricos, nomeadamente em sua forma líquida, a água, apresentam uma série de características, dentre elas a mobilidade que é típico de um ciclo hidrológico, ou seja, ele não está limitado por qualquer fronteira geográfica, seja política ou administrativa. Outra característica marcante dos hídricos é a diversidade de usos que pode causar a rivalidade nas diferentes formas de aproveitamento, além da interdependência entre usuários, conforme a localização do demandante.

Para Martín e Justo (2015), o desenvolvimento e a localização dos empreendimentos produtivos, especialmente os de grande envergadura e extrativos, impactam o meio ambiente e a sociedade em geral, devido, principalmente, às formas de uso intensivas dos recursos, a exemplo dos recursos hídricos. O aproveitamento, manejo e proteção dos recursos hídricos fazem parte de vários conflitos, motivados por interesses muitas vezes antagônicos em torno da quantidade, qualidade e oportunidade aos diferentes consumidores.

O antagonismo surge de forma cada vez mais perceptível com a expansão das indústrias extrativas, da agricultura intensiva e urbana descontrolada, quando os recursos hídricos deixam de atender parâmetros de qualidade e quantidade, segundo diferentes fontes de demandas da água. Surgem conflitos entre usuários com fins de irrigação, abastecimento, geração de energia elétrica, mineração e para armazenamento futuro. A insuficiência agrava o sistema de gestão porque os direitos de propriedade e as permissões de uso não estão devidamente definidos (MARTÍN; JUSTO, 2015).

O tema Energia tem forte relação com os recursos hídricos e está ligado também com o conceito da Física. Por outro lado, há necessidade de se analisar as características técnicas de diferentes cadeias de produção do setor de energia pela ótica econômica. Rovere, Rosa e Rodrigues (1985) destacam que o objetivo da análise econômica do sistema energético consiste no estudo dessas commodities que em princípio são bastante heterogêneas e com características físicas distintas, algumas vezes sólidas (lenha e carvão mineral), líquidas (petróleo bruto e álcool), gasosas (gás natural) e, particularmente, com características singulares como a eletricidade.

De acordo com Pinto Jr, *et al.* (2007), o primeiro trabalho que trata da relação entre consumo de energia e crescimento econômico foi o estudo de E. Mason realizado em 1955. O estudo levou em consideração dados plotados num gráfico renda nacional e consumo de energia, ambas variáveis em logaritmo, para 42 países em 1952, neste trabalho o resultado mostrou forte correlação entre as duas variáveis. Outro trabalho destacado por Pinto Jr, *et al.* (2007) foi o de Mainguy em 1967, esse trabalho mostrou que o consumo de energia e renda nacional variavam proporcionalmente, indicando uma elasticidade de consumo de energia próxima a unidade para a maioria dos países, reforçando a percepção dominante do final dos anos 60 de que havia forte correlação entre o consumo de energia de uma nação e sua renda, nessa trajetória os países aumentariam o uso energético na mesma proporção (ou de forma muito próxima) ao crescimento da renda.

Trabalhos realizados na década de 70 buscaram construir modelos econométricos para analisar a relação entre consumo de energia e PIB. J. Darmstadler estudou a relação entre log do consumo de energia per capita e renda per capita, e apurou que essa relação mesmo sendo estreita, não era próxima à unidade, além de verificar distorções significativas entre diferentes grupos de países. Já Janosi e Grayson adotaram um modelo onde regrediram logaritmo do consumo de energia sobre o PIB de 30 países entre os anos de 1953 a 1965. O trabalho mostrou uma forte relação entre crescimento econômico e consumo de energia (PINTO JR, *et al.*, 2007).

Na conjuntura atual, a continuidade do processo de crescimento e desenvolvimento econômico depende da segurança na oferta energética, considerada um fator chave para promover a geração de serviços vitais para o bem-estar social, similarmente a outros fatores de infraestrutura. Entretanto, a sustentabilidade do sistema econômico deve levar em consideração os limites impostos pela natureza, pelo menos no curto prazo onde a estrutura produtiva apresenta rigidez e resulta num custo de oportunidade no conflito de escolhas, a opção de maior dinâmica na produção e crescimento econômico com maior consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Desse modo, surge o questionamento de como a economia deve lidar com o trade-off entre a expansão e produção de bens e serviços econômicos e as restrições impostas pelo ambiente. É nesta linha de problematização que se delinea a presente dissertação, considerando os objetivos a seguir descritos.

## 1.2 OBJETIVOS

O estudo propõe, em termos gerais, analisar e ilustrar o trade-off entre crescimento econômico e o consumo energético, considerando cenários de impactos ambientais dentro da abordagem de insumo-produto.

Em termos específicos, objetiva-se:

- Contextualizar a importância, o panorama atual de consumo de energia e verificar como alguns estudos econômicos examinaram as questões energéticas no plano de crescimento econômico;
- Analisar a dimensão ambiental e discorrer sobre as principais correntes da economia dentro da abordagem do meio ambiente;
- Analisar a estrutura produtiva e os setores-chave da economia brasileira segundo agregados minerais não-metálicos e da metalurgia, destacando a relevância econômica desses setores em relação ao uso de energia e emissão de poluentes;
- Construir cenários hipotéticos para a análise da dinâmica econômica e a variação do consumo de energia, emissão de poluentes e nível de emprego setorial.

## 1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Segundo Gil (2002), pesquisas podem ser definidas segundo seus objetivos gerais. Assim é possível classificar três grupos de pesquisas: exploratórias, descritivas e explicativas. Parte do trabalho envolverá o levantamento bibliográfico e a análise das teorias e referências mais usadas dentro da abordagem delineada. Um instrumento auxiliar importante reside na construção de uma matriz de relação intersetorial na agregação específica com vistas a verificação da relação entre consumo de energia e emissão de poluentes.

Montoya e Pasqual (2015) argumentam que o modelo de insumo-produto tem a capacidade de retratar as relações econômicas em diferentes níveis de complexidade. Nesse contexto, um sistema econômico de tipo insumo-produto é formado por um conjunto de  $n$  equações lineares, com  $n$  incógnitas em que a demanda de dado setor  $j$  por insumos originados de outros setores está relacionada ao montante de bens produzidos por esse mesmo setor  $j$ , e a demanda final. Assim, a matriz de insumo-produto é uma estrutura útil para delinear a estrutura produtiva e os

setores-chave da economia brasileira, destacando as ligações para frente e para trás de todo o sistema levando em consideração a agregação que atenda à repercussão ambiental em termos do consumo de energia e a geração de empregos, esse último aspecto, uma das principais finalidades da política econômica.

Para realizar os objetivos propostos, o trabalho segue dividido em cinco partes, a primeira compreende a introdução, onde se descreve a ideia geral do problema da pesquisa e a importância do tema. Na segunda parte, faz-se a análise da importância da energia para o crescimento, além do panorama da matriz energética mundial e brasileira. A terceira parte consta de elementos do debate sobre a questão ambiental e suas implicações no âmbito da teoria econômica. A penúltima parte destaca a importância econômica dos setores de minerais não-metálicos e da metalurgia, além de abordar como esses setores repercutem sobre o meio ambiental, consumo de energia e nível de emprego segundo cenários hipotéticos definidos. Finalmente, na última parte, apresentam-se as considerações finais do presente trabalho, destacando que os cenários propostos reforçam a ligação entre atividade econômica, consumo energético e emissão de poluentes.



## 2 PERSPECTIVA FÍSICA E ECONÔMICA DA ENERGIA

Esse tópico busca realizar uma breve discussão sobre o conceito de energia no âmbito físico, destacando que nem todas as formas de energia podem ser transformadas em energia útil e as implicações dessa limitação traduzidas nas leis da termodinâmica. Será apresentado a situação das reservas das fontes de energia mais usadas pelo atual sistema econômico, assim como, a matriz energética mundial e do Brasil. A seção será finalizada com uma contextualização resumida a respeito como a economia contribui e quais os principais objetivos ao estudar questões energéticas.

### 2.1 CONCEITO, FORMAÇÃO E ESTOQUES DE RECURSOS ENERGÉTICOS

Para Rovere, Rosa e Rodrigues (1985), a primeira observação que pode ser feita sobre energia é que se trata de um conceito de múltiplas dimensões. Para os físicos, o conceito está relacionado a um princípio tão abstrato quanto o da homogeneidade do tempo. As propriedades de simetria do espaço-tempo, lugar onde ocorrem os eventos físicos, são a homogeneidade do tempo e a isotropia do espaço; a homogeneidade do tempo significa que todos os pontos do espaço são equivalentes entre si, enquanto a isotropia do espaço é a equivalência de todas as direções entre si.

O termo energia é usado para diferentes conceituações no âmbito científico. No senso comum se diz que um indivíduo tem bastante energia quando é mais ativo e vigoroso, capaz de realizar trabalho, enquanto uma pessoa é dita enérgica quando é firme em suas atitudes. Essa adjetivação também se aplica para sistemas impessoais como um governo, partido ou movimento político ou social. No senso comum energia está frequentemente relacionada com força e potência, contudo, para a física esses dois conceitos são bem diferenciados do significado de energia.

Rovere, Rosa e Rodrigues (1985) argumentam que a ideia sobre energia é extremamente importante para o estudo das aplicações práticas dos fenômenos físicos. A palavra energia deriva do grego e, segundo sua origem seria quase um sinônimo de trabalho. De fato, uma das definições mais frequentes a descreve como a capacidade de produzir trabalho. Há uma variedade de forças na natureza foi denominada como força qualquer agente capaz de causar movimento num corpo e a relação que determina um montante de força necessária para causar um certo movimento é dada pela equação 01, em que,  $F$  = força;  $m$  = massa; e  $a$  = aceleração:

$$F = m \cdot a \quad (01)$$

De acordo com Goldemberg (2012), força é medida em newtons (N). A força gravitacional é o resultado de um quilograma (kg) de matéria e corresponde a 9,8 N. Normalmente, essa força não é suficiente para fazer um corpo movimentar-se. Quando um objeto cai de uma altura acima da superfície da Terra essa força é chamada de gravidade, o mesmo montante de energia será necessário para colocar o objeto da altura em que originalmente caiu, e resulta da quantidade de trabalho ( $\tau$ ), definido pelo produto da força pela distância que o objeto percorre ( $d$ ) e a unidade comumente usada para trabalho é dada em Joule (J), tal que:

$$\tau = F \cdot d \quad (02)$$

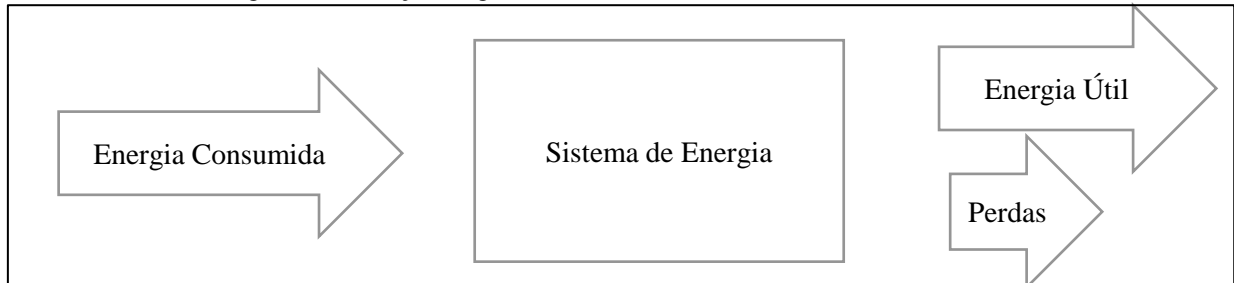
A energia pode ser definida como a capacidade de produzir trabalho. Dessa forma, a energia pode ser cinética, gravitacional, elétrica, química, térmica, radiante e nuclear, algumas formas são úteis e outras necessitam de alguma transformação. A habilidade de mover objetos é essencial para a nossa sobrevivência e a quantidade de trabalho necessário depende muito do que nós fazemos e de quanto de energia gastamos. Para Rovere, Rosa e Rodrigues (1985), a relevância da energia de um sistema repousa na possibilidade de gerar calor ou trabalho para produzir deslocamento de determinada massa.

Dessa forma, uma corrente de água que produz trabalho ao mover uma turbina, o calor proveniente da combustão do carvão ou de derivados de petróleo que faz mover o êmbolo de uma máquina a vapor ou uma turbina, e uma corrente elétrica que passa por um fio condutor, são todos casos de transformações da energia de uma forma para outra. A transformação de uma forma de energia para outra e suas variantes são, em geral, os problemas enfrentados quando o potencial energético da forma hidráulica (da corrente de água) passa para a energia cinética das turbinas, da forma química do carvão para a térmica e mecânica-cinética dos êmbolos.

Uma questão fundamental é que nem todas as formas de energia podem ser sempre transformadas, pois sempre haverá perdas, como por exemplo, as geradas pelo atrito em qualquer tipo de máquina. Essas perdas não são sinônimo de desaparecimento da energia em questão, uma vez que o total é sempre conservado. Nesse caso as perdas se manifestam no aquecimento das partes que se movimentam provocado pelo atrito. A variação total de energia

contida num sistema fechado é resultado do efeito das interações entre a energia útil e as perdas com o ambiente. A figura 1 ilustra o balanço energético de um sistema fechado.

Figura 1 - Balanço energético em sistema fechado, sem fluxos de massa.



Fonte: Goldemberg (2010)

Mesmo podendo minimizar os desperdícios, não podemos converter toda a energia em trabalho. Como ressalta Rovere, Rosa e Rodrigues (1985), essa restrição é imposta pela 2ª Lei da Termodinâmica. Goldemberg e Lucon (2010) destacam que a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a variação total de energia contida num sistema fechado é igual ao efeito (líquido) das interações de calor e trabalho que o sistema sofre com o meio ambiente, a energia não pode ser criada ou destruída. No caso de sistemas abertos, para analisar a variação de energia antes deve ser verificada a conservação da massa e o balanço energético pode ser representado pelos fluxos de calor ( $Q$ ), trabalho ( $\tau$ ) e entalpia ( $H$ ).

Goldemberg e Lucon (2010) prosseguem ressaltando que a Segunda Lei da Termodinâmica (também chamada de Lei da Entropia) estabelece a impossibilidade de usar todas as formas de energia com a mesma eficiência, sempre haverá perdas na conservação de energia e nenhum processo é 100% reversível, exemplificando, as máquinas térmicas têm rendimento muito inferior às elétricas. A Segunda Lei da Termodinâmica define a entropia como uma medida da indisponibilidade de energia num sistema para realizar trabalho. Por esse conceito o universo, dada sua expansão e subsequente perda de energia do sistema, tende a desacelerar e, por isso, a necessidade de suporte de energia é crescente, induzindo a inexistência de movimento perpétuo.

Embora existam uma multiplicidade de formas de energia, há três tipos de forças consideradas fundamentais: gravitacional, eletromagnética e nuclear. A força Gravitacional existe entre os corpos devido às suas massas. A lei universal gravitacional mostra a força de atração entre dois pontos de massa que ocorre, de forma proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Essa força é parte do dia a dia e nos ensina a

razão porque os objetos caem, porque a Lua gira em torno da Terra ou porque a Terra gira em torno do Sol. Portanto, é a ação da gravidade responsável pelas quedas d'água, a atração entre a Terra e a Lua dão origem ao movimento das marés e o movimento de rotação do planeta que origina os ventos, que podem ser usadas como fontes de energia.

O eletromagnetismo é outro tipo de energia considerada fundamental. Essa força existe devido a cargas elétricas, as forças são atraídas quando há diferença de sinal, positivo ou negativo, ou se repelem quando os sinais são iguais. As forças magnéticas são conhecidas desde o século 5º antes de Cristo. Os Gregos já estavam familiarizados com as forças de atração e repulsão de certos minerais e os Chineses usaram para construir bússolas para auxiliar na navegação. Heinrich Hertz descobriu que a rápida oscilação das cargas elétricas gera ondas eletromagnéticas que são propagadas no espaço e tem um componente elétrico e um magnético, descoberta que abriu o caminho para a comunicação via a rádio e posteriormente da televisão.

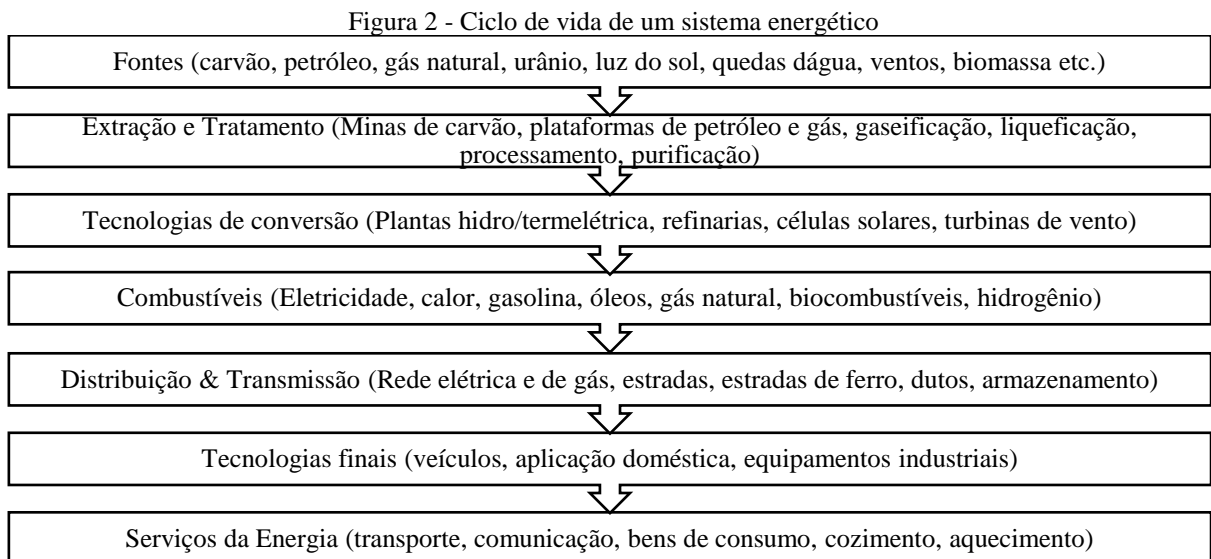
Já a força Nuclear existe entre as partículas que constituem o núcleo dos átomos (prótons e nêutrons) quando eles são separados por uma distância menor do que  $10^{-13}$ cm. O elemento básico da matéria é o átomo que tem uma estrutura similar ao sistema solar, os elétrons (com cargas negativas) são atraídos e se movem ao redor do núcleo dos átomos que contém cargas positivas de prótons, no todo os átomos são eletricamente neutros. As moléculas são o resultado da combinação de átomos e os elementos químicos são caracterizados de acordo com o número de elétrons que circulam seu núcleo.

As fontes de energia são classificadas como primárias e secundárias, ou ainda, como fósseis, renováveis ou nuclear, as energias primárias são objeto de transformação gerando as secundárias. Goldemberg (2012) afirma que a origem das energias primárias é proveniente do Sol (responsável pelos ventos, energias fotovoltaicas e solar térmica, biomassa e combustíveis fósseis - carvão, petróleo e gás), da Energia Geotérmica (originada do calor gerado no núcleo da Terra), das Marés (resultado da atração gravitacional da Lua), e da Energia Nuclear, originada nos núcleos dos átomos.

As fontes de energias renováveis são aquelas produzidas por forças de origem geofísica ou biológica que são naturalmente repostas na proporção que são extraídos, são exemplos desse tipo de energia a biomassa, hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, geotérmica e energia dos oceanos, nas formas de ondas ou marés. A energia nuclear, da forma como foi definido acima,

não é estritamente uma fonte renovável, pois, mesmo sendo capaz de produzir energia em larga escala, as reservas de urânio são finitas, embora possam durar por muito tempo à taxa de consumo atual, além da questão de segurança sobre possíveis acidentes e dos resíduos produzidos.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2010) as fontes de energia não-renováveis são aquelas às quais a natureza é incapaz de repor num espaço de tempo compatível com o consumo dos seres humanos. Energias não-renováveis são o carvão, petróleo, gás natural. Essa classificação em renovável e não renovável pode ser considerada elementar, pois não separa os aspectos teóricos das renováveis com a realidade prática de sustentabilidade ambiental. Por exemplo, há muita lenha obtida por desmatamento e se continuar nesse mesmo ritmo, o meio ambiente será incapaz de repor os estoques; outro exemplo são as grandes hidrelétricas que provocam o alagamento de grandes áreas, destroem florestas e outros importantes ecossistemas. Dessa forma, a compreensão da sustentabilidade possibilita o melhor entendimento dos limites e impactos derivados do ciclo de vida dos sistemas energéticos, os estágios que compreendem a produção, consumo e pós-consumo de energia, representado pela figura 2.



Fonte: Adaptado de Goldemberg e Lucon (2010, p. 49)

Dentre aquelas fontes que dão origem à energia primária, os raios emitidos pelo Sol é o que tem a maior potência, com uma força estimada em  $174.000 \times 10^{12}$  W, a energia geotérmica tem capacidade de gerar  $32 \times 10^{12}$  W e a energia gravitacional  $3 \times 10^{12}$  W. Mesmo com toda essa potência uma pequena parte dessa energia é efetivamente usada, tomando como base a energia solar todos os raios que incidem no planeta, apenas  $40 \times 10^{12}$  W são captados por fotossíntese.

Parte dos recursos estão na forma de reservas, que é o montante de energia natural estimada e depositada num dado local, baseado na prospecção e dados de engenharia. Considera-se também a disponibilidade para a extração corrente e as tecnologias de produção e custos.

Conforme destacado por Goldemberg e Lucon (2010) as reservas podem ser:

- Provadas (também chamadas de 1P), as quais podem ser exploradas economicamente com razoável certeza (em torno de 90%);
- Prováveis (incluem as provadas e são chamadas de 2P), essas reservas podem ser exploradas com 50% de probabilidade com as tecnologias comerciais correntes ou num estágio avançado de desenvolvimento pré-comercial;
- Possíveis (incluem as provadas e as prováveis e são denominadas de 3P), essas reservas tem em torno de 10% de probabilidade de exploração, em circunstâncias favoráveis.

Os autores prosseguem argumentando que a definição exata das reservas provadas varia entre países e entre empresas no processo de exploração. O anúncio de uma nova descoberta (ou especulação nesse sentido) tem repercussões sobre os preços das ações e no posicionamento estratégico e geopolítico, por essas razões vários países não informam os dados sobre suas reservas, havendo um grande esforço internacional para padronizar as definições e gerar informações adequadas sobre as descobertas. Esses dados devem ser expressos em anos, na taxa reserva/produção (exploração) (R/P).

Pinto Jr, *et al.* (2007) afirmam que a indústria mundial do petróleo tem características especiais, de um lado pela organização industrial desse setor e por outro pela relevância dos fatores geopolíticos. Desde o fim da Segunda Guerra Mundial a indústria de petróleo tem sido a fonte de energia primária relevante dentro da matriz energética mundial. O petróleo é uma das principais *commodities* negociadas no mercado internacional, contudo, as condições de oferta e demanda desse recurso não renovável são fortemente influenciadas pelo cenário geopolítico. Além disso, variações nos preços do petróleo sempre produzem desdobramentos significativos em toda economia, influenciando não apenas as estratégias de sustentação das empresas que operam no setor, como também, a trajetória de crescimento de outras fontes de energia, tanto convencionais quanto alternativas.

Assim como outras fontes, o petróleo não pode ser fabricado, encontra-se e extrai das reservas preexistentes que precisam ser descobertas, tais reservas estão distribuídas em quantidade e

qualidade desigual no planeta, dando origem às diferenças nos custos de produção e na formação e apropriação de rendas econômicas. O que denominamos “petróleo” são acumulações de hidrocarbonetos líquidos em rochas que levaram milhões de anos a se formar, entretanto, é importante ressaltar o fato de que nem todo óleo existente nas reservas pode ser extraído, pois há restrições técnicas que podem limitar a extração do óleo a cerca de 30% a 40% do volume total dos reservatórios.

Da extração ao consumo, o petróleo e seus derivados passam por um longo processo, é necessário um sistema industrial estruturado por diferentes segmentos e várias atividades em cadeia, começando da exploração e produção, incluindo a prospecção geofísica, a identificação das jazidas, a produção e o armazenamento do óleo extraído, passando pela rede de transporte das áreas de exploração até refinarias e daí à rede de transporte de produtos derivados do refino para as áreas consumidoras e à comercialização. Por suas características e pela vasta cadeia necessária à comercialização faz do setor de petróleo uma atividade de grande complexidade tecnológica, que envolve a multidisciplinariedade de conhecimentos (desde geofísica, sismologia, modelagem e processamento de dados) e ampla pluralidade de tecnologias empregadas (perfuração e sondagem por exemplo).

Pinto Jr, *et al.* (2007) explicam que existem cerca de 200 tipos de óleo cru, classificados em níveis de qualidades diferentes em função do grau API (*American Petroleum Institute*), que estabelece as especificidades físico-químicas do óleo e o divide em leve, médio, pesado e extrapesado. O petróleo com grau API superior a 300 são considerados leves, isso significa que permite a produção de derivados mais leves ou nobres como a gasolina, o diesel, a nafta e o gás liquefeito de petróleo (GLP). O refino é uma atividade econômica fundamental na cadeia do petrolífera, a função tecnológica das refinarias é separar, por aquecimento progressivo, os componentes mais leves dos mais pesados, resultando num vasto número de combustíveis e matérias-primas.

O petróleo é extremamente versátil, de fácil transporte e estocagem, a mais importante e estratégica fonte de energia do planeta, de acordo com dados da empresa BP o total de reservas provadas do petróleo alcançou 1,7 trilhões de barris no fim do ano de 2014, esse montante é suficiente para sustentar 52,5 anos de consumo mundial. Maior adição às reservas provadas veio da Arábia Saudita com 1,1 bilhões de barris e o maior declínio foi observado na Rússia, onde as reservas caíram em 1,9 bilhões de barris. Países da Organização dos Países

Exportadores de Petróleo (OPEP) são os maiores detentores das reservas mundiais de petróleo, contabilizando 71,6% do total global, já as Américas Central e do Sul são as regiões onde se encontra a maior taxa Reserva/Produção (R/P), mais de 100 anos. Na década passada as reservas provadas globais de Petróleo cresceram em 330 bilhões de barris.

Segundo dados da Agencia Internacional de Energia (AIE), a produção mundial de petróleo em 2015 alcançou 4,5 bilhões de toneladas, um aumento de 3% em relação a 2014, um montante de acréscimo de 130 milhões de toneladas (Mt), com crescimento estável dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e da OPEP, mais 4,2% e 3,7% respectivamente, em quantidade de toneladas, os países que mais contribuíram para o aumento de produção foram os Estados Unidos (mais 45 Mt), Arábia Saudita (31 Mt), Iraque (21 Mt) e Brasil (11 Mt). 46 Mt foi o aumento da produção mundial das refinarias em 2014, maior aumento anual desde 2010. O crescimento da produção no refino foi originado dos três países com maior capacidade de refino (Estados Unidos, China e Rússia) e da Arábia Saudita.

O gás natural é retirado de poros de formações rochosas predominantemente compostos de arenito, o componente inflamável do gás é o metano ( $\text{CH}_4$ ), outros componentes relevantes energéticos do gás natural incluem butano, etano, e propano, o gás natural também contém pequenas quantidades de componentes não-inflamáveis que incluem nitrogênio, dióxido de carbono, e sulfato de hidrogênio. Através dos tempos geológicos quase todo gás natural migra através da crosta da Terra e eventualmente escapa para a atmosfera, frequentemente essa migração é bloqueada por formações rochosas dando origem aos reservatórios onde grandes quantidades de gás são acumulados (Goldemberg, Energy: What Everyone Needs To Know, 2012).

Como destacado por Pinto Jr, *et al.*, (2007) o gás natural comercial é derivado, geralmente, de plantas terrestres ou marinhas, encontrados junto ao petróleo. A indústria do gás natural tem especificidades tecnológicas com implicações importantes do ponto de vista econômico, suas atividades de exploração e produção estão vinculadas às atividades da indústria do petróleo. O transporte e a distribuição do gás natural são realizados, em parte, através de dutos de baixa e alta pressão, assim, a indústria do gás natural é classificada como uma indústria em rede, o poder calorífico dessa fonte em particular dispensa a estocagem no local de consumo, sendo consumido imediatamente quando entregue ao consumidor final.



Uma característica muito interessante do gás natural é a possibilidade de substituição de diversas outras fontes de energia, possuindo múltiplos usos energéticos e não energéticos, na indústria ela pode ser usada como redutor siderúrgico ou para produzir calor substituindo o óleo combustível, o carvão mineral ou vegetal, no setor de transporte usado como combustível, uma alternativa ao óleo diesel e a gasolina, na geração elétrica concorre com todas as demais tecnologias de geração, em particular, o carvão, o óleo combustível e o diesel, já no setor petroquímico como material não energético, como opção ao nafta. A desvantagem básica do gás natural é sua baixa densidade calórica, assim, a mesma quantidade de energia na forma de gás natural equivale a um volume 1.000 vezes superior ao petróleo.

Segundo dados da empresa *British Petroleum* (BP) a reserva provada de gás natural em 2014 alcançou o volume de 187,1 trilhões de metros cúbicos, esse total é o suficiente para manter 54,1 anos de produção global. Desse total 42,7% se localiza no Oriente Médio e 31% na Europa & Eurásia, em razão principalmente, das grandes reservas localizadas na Rússia e no Turquemenistão que respondem por 49,8 do total de 57,5 trilhões de metros cúbicos da Eurásia. As reservas provadas aumentaram em 0,3% em relação a 2013, nesses dois anos houve crescimento de 0,4 trilhões de metros cúbicos na Rússia, 0,3 no Azerbaijão, e 0,2 nos Estados Unidos. No Irã e na Rússia localizam as maiores reservas provadas, com respectivamente, 34 e 32,6 trilhões de metros cúbicos.

Dados compilados da AIE para o ano de 2015 mostram que a produção mundial do gás natural alcançou o recorde de 3.590 bilhões de metros cúbicos, um acréscimo de 1,6% em relação ao ano anterior, desde 1994 a parcela da produção do gás natural do grupo de países fora da OCDE quase dobrou, alcançando 40%, aproximadamente. Nos países da OCDE, a produção foi de 1.270 para 1.304 bilhões de metros cúbicos (2,7%) na comparação entre 2014-15, com destaque para o crescimento de 5,5% dos Estados Unidos. Durante esse mesmo período, nos países integrantes do Fórum de Países Exportadores de Gás<sup>1</sup>, o incremento foi de 1,6%, com grande parte dessa expansão, 9,3 bilhões de metros cúbicos (5,3%) originada do Irã, enquanto no restante do mundo a produção de gás natural alcançou os 960 bilhões de metros cúbicos pela primeira vez em 2015.

---

<sup>1</sup> Organização intergovernamental que reúne grandes exportadores de gás natural, esse grupo reuni países como Argélia, Bolívia, Egito, Irã, Nigéria, Qatar, Rússia e Venezuela.

O carvão é o nome genérico que é atribuído ao material resultante do depósito no subsolo de plantas terrestres durante milhões de anos. Trata-se de processos químicos e geológicos que dão origem à turfa, linhito, hulha, antracito, sendo a turfa o menos carbonificado e o antracito o mais carbonificado, ou seja, teor de carbono na sua concepção durante o processo de transformação da matéria vegetal. A fração do carbono encontrado na cadeia de materiais aumenta gradualmente da madeira (49,65%), turfa (44-55%), linhito (72,95%), hulha ou carvão betuminoso (84,24%) ao antracito (93,50%), de maneira que o calor contido nesses diferentes tipos de combustíveis aumenta com a taxa de carbono neles contido.

Tolmasquim (2016) afirma que os depósitos de carvão são encontrados em bacias sedimentares e/ou depressões preenchidas por sedimentos resultado da movimentação das placas tectônicas. Através dos processos de compactação e transformações devido a pressão e temperatura permite a concentração de carbono e hidrogênio (carbonificação), com o carbono sendo o principal elemento químico do carvão por causa do seu elevado teor. “Grade” e “rank” são os dois critérios principais de avaliação das propriedades químicas e físicas do carvão, o “grade” do carvão está relacionado ao teor da matéria mineral (cinzas), sendo fator de depreciação da qualidade. Já o “rank” é o indicador do grau de maturidade ou metamorfismo ao qual o carvão foi submetido durante a evolução natural de linhitos a antracitos.

No caso do carvão mineral, conforme dados da companhia de petróleo *British Petroleum* (BP), as maiores reservas encontram-se na Europa & Eurásia (34,8%) e Ásia Pacífico (32,3%) do total mundial de 891 bilhões de toneladas, as reservas provadas em 2014 são suficientes para sustentar 110 anos de produção global, a maior taxa R/P entre as energias fósseis, mesmo com redução nas reservas de 148 toneladas de carvão entre os anos de 1994 a 2014. Por região, a Europa e Eurásia mantém a maior taxa R/P, 268 anos, na América do Norte essa taxa alcança 248 anos. A Rússia pode manter a produção no mesmo nível atual por 441 anos, já o Uzbequistão sustentaria a produção por 432 anos, com esses dados reforçando a relevância dos países da antiga União Soviética como fornecedores de energia.

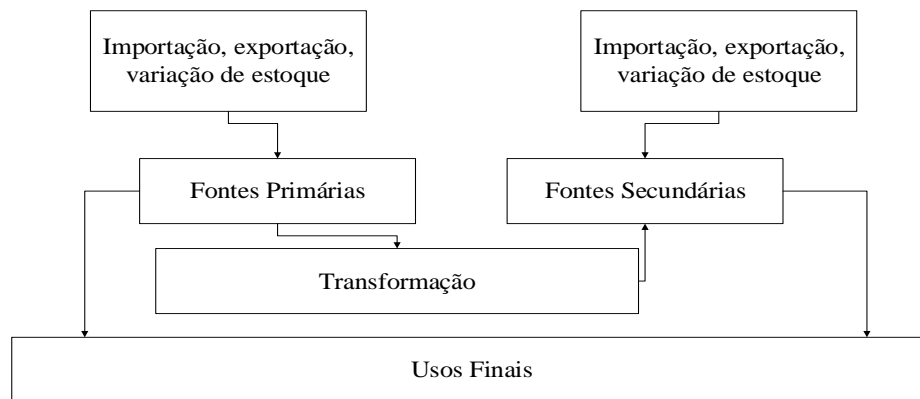
## 2.2 COMPOSIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E BRASILEIRA

Como defendido por Bhattacharyya (2011), a informação é algo crucial para qualquer tomada de decisão, sua disponibilidade e qualidade aprimora o processo de decisão, pois esse processo leva em consideração o comportamento passado e presente do setor, dos subsetores ou de áreas

específicas. Nas projeções sobre o futuro, esses dados incluem o uso da energia em atividades econômicas, considerando as cadeias de produção, transformação, transmissão, a operação das instalações, financiamento e custo e informação sobre a própria conjuntura macroeconômica. Os dados são usados para a análise de preços, e mesmo com a liberalização dos mercados de energia, a sua precificação continua a ser algo sensível e controverso em função das implicações sociais e políticas.

A estrutura de contabilidade da energia possibilita acompanhar o fluxo do lado da oferta de cada fonte, controlar os processos de conversão e a demanda final. O balanço energético (BE) representa os fluxos, resumidamente descrito pela figura 3, em termos de uma unidade comum de energia (como Joule, Btu, dentre outros) eles fornecem informações valiosas sobre a situação energética do país. O BE é organizado por setores de oferta, transformação e uso e a quantidade de energia primária requerida pela demanda final e as transformações necessárias na dinâmica econômica. Assim, o BE possibilita que se levantem questões sobre a eficiência técnica do setor ao longo do tempo, melhorando o entendimento dos padrões de uso de diferentes fontes de energia.

Figura 3 - Fluxo de energia descrito pelo balanço energético



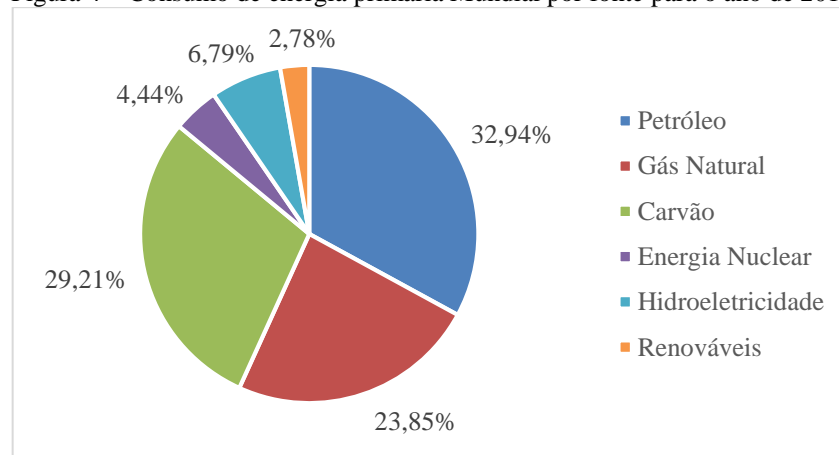
Fonte: Bhattacharyya (2011)

Os balanços energéticos são portanto, importantes ferramentas para analisar o padrão de desenvolvimento de dada região em dado período. A AIE e a BP são fontes valiosas de dados mundiais sobre balanços energéticos. Os dados da BP mostram a quantidade de energia necessária para manter o sistema econômico, tendo em 2015 atingido um total de 13,2 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) consumida. Grande parte da demanda vem de países não integrantes da OCDE, destacadamente a participação do grande consumo energético da

China que sozinha atingiu aproximadamente 3 bilhões de tep, ou 22,9% do consumo mundial. Países da OCDE o consumo alcançou 5,5 bilhões de tep em 2015.

O predomínio de fontes fósseis é uma característica marcante da matriz energética mundial e como mostrado pela figura 4 em 2015 a fonte mais utilizada foi o petróleo, com mais de 4 bilhões de toneladas, enquanto o gás natural alcançou 3,1 bilhões e o carvão 3,8 bilhões de tep, dessa forma, essas fontes representam 86% do consumo mundial. Além de grande domínio dos combustíveis fósseis, destaca-se a diferença nos padrões de consumo regional, enquanto na Ásia-Pacífico e na Europa & Eurásia o consumo do petróleo ficou em torno de 30%. A utilização dessa fonte foi quase de 50% no Oriente Médio, 46% nas Américas Central e do Sul, e 37% na América do Norte.

Figura 4 – Consumo de energia primária Mundial por fonte para o ano de 2015



Fonte: BP

Em quase todas as regiões grande parte do petróleo bruto é usado em destilados leves e médios. Os destilados leves consistem de produtos como a gasolina, e o combustível usado nos aviões, enquanto os médios compreendem querosene e óleo diesel. Por exemplo, em média, 32,5% usados nos destilados leves e 36,4% nos médios, a exceção do Oriente Médio, onde o óleo bruto é utilizado principalmente para obtenção de destilados médios e outros subprodutos, como o gás liquefeito de petróleo, gás refinado, solventes, lubrificantes e outros produtos e combustíveis refinados. Pelos dados da AIE o consumo mundial de energia quase dobrou entre os anos de 1973 e 2014, passando de 4,6 para 9,4 bilhões de tep. Dados da BP mostram que o consumo de energia mundial alcançará 18 bilhões de tep em 2035, desse total a previsão de demanda por petróleo, biodiesel e outros líquidos alcançará 112 milhões de barris/dia.

No caso do carvão, a região que mais faz uso desse recurso é a Ásia-Pacífico, um pouco mais da metade da energia desses países provém do carvão, tendo em países como a China, Austrália e Índia, os maiores consumidores dessa fonte. Nas outras regiões apenas a África usou mais de 20% do carvão em 2015, segundo dados da BP. Ligada a revolução industrial, o carvão tem perdido participação na matriz energética mundial, passando de 13,5% em 1973 para 11,4% em 2014 (AIE, 2015). A projeção da BP é que essa tendência tende a aprofundar-se, explicado pela maior emissão dessa fonte e as novas exigências ambientais impostas para os países.

O uso do gás natural foi expressivo no Oriente Médio, junto ao petróleo representam quase a totalidade da energia consumida, refletindo as grandes reservas disponíveis dessas fontes. O principal mercado do gás dessa região localiza-se na Ásia, principalmente na China, Coreia do Sul e Japão, tendo no Qatar o grande exportador com 106,4 bilhões de metros cúbicos em 2015, na forma de gás natural liquefeito. Outro grande consumidor é a Europa & Eurásia, que compreende países da Europa Ocidental e da antiga União Soviética, onde essa fonte foi a mais consumida em 2015, com 903,1 milhões de tep de gás natural, ou seja, 32% do total de energia consumida nesses países, suprida principalmente através de gasodutos que pertencem a Rússia.

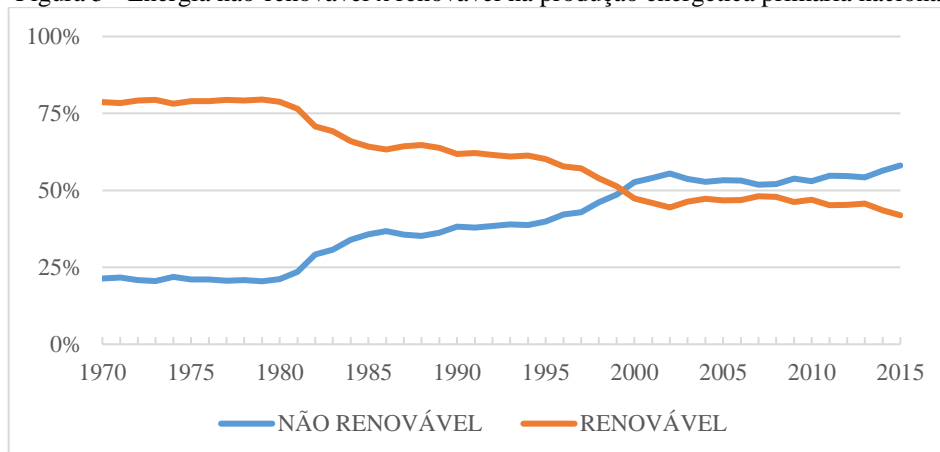
A eletricidade quase dobrou a participação entre os anos de 1973 e 2014, passando de quinta fonte mais consumida no mundo para a segunda posição. Em 1973, não passava dos 10% chegando a 18,1% em 2014. Na indústria elétrica grande parte da energia é produzida através de recursos fósseis, destacadamente carvão (40,8%) e gás natural (21,6%). Apenas a China responde por 42,4% do total de energia gerada através do carvão, com 4.115 de terawatts hora (TWh) produzidos em 2015, logo em seguida tem-se a hidroeletricidade, a nuclear e outras fontes. Em 2014 os maiores produtores de eletricidade através de hidrelétricas foram a China, o Canadá e o Brasil. Mesmo sendo os maiores produtores e contar com a maior capacidade instalada, a hidroeletricidade compreende apenas 18,7% da geração elétrica doméstica na China.

A região de maior consumo de hidroeletricidade é a Ásia-Pacífico, com grande incremento a partir dos anos 2000. O uso da hidroeletricidade também é importante na Europa & Eurásia e nas Américas. Por outro lado, a produção nuclear é majoritariamente realizada em países da OCDE, onde houve grande crescimento na produção de eletricidade por essa fonte, dos 203 TWh gerados em 1973, atingiu 2.535 TWh em 2014. Os Estados Unidos e a França são os maiores produtores de eletricidade nuclear, sendo os franceses os mais dependentes dessa fonte,

78,4% de sua geração elétrica doméstica é oriunda da fissão nuclear. Segundo a BP, a previsão de crescimento de energia nuclear será de 1,9% ao ano até 2035 no mundo.

Por sua vez, o Brasil vem incentivando a produção de micro e mini geração elétrica distribuída, com a possibilidade de compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte. Dados do Balanço Energético Nacional (BEN) em 2015, mostraram que essa modalidade de geração alcançou 34,9 Gwh, resultado da capacidade instalada de 16,5 MW, sendo 13,3 MW referente à energia solar fotovoltaica. A produção interna de energia primária no Brasil foi dominada por fontes não-renováveis, destacadamente pelo crescimento da produção do petróleo e gás natural na matriz nacional, que praticamente dobrou entre 2006 e 2015, passando de 17,6 para 34,9 milhões de tep.

Figura 5 - Energia não-renovável x renovável na produção energética primária nacional



Fonte: EPE-BEN

Como mostrado pela figura 5, de 1970 até o início do século 20, as fontes renováveis constituíam a maior parcela da produção primária de energia do Brasil, a porcentagem das renováveis já alcançou 78,7% em 1970, nesse período a lenha constituía a maior produção de energia primária brasileira, no início dos anos setenta a produção era de 31,8 milhões de tep, 64% de toda a produção do país e mesmo com as transformações econômicas do país a lenha figurou como maior produção de energia primária até o ano de 1990, a partir de então vem perdendo espaço para o petróleo, a energia hidráulica e produtos da cana-de-açu, de acordo com os dados do BEN disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável pelos estudos do setor energético nacional.

Em 2015, apenas a produção de petróleo superou toda a produção energética primária das fontes renováveis, com o total de 126,1 milhões de tep (44%). Sendo assim, a dependência externa dessa fonte que já fora de 84,8% em 1979, transformou-se num cenário de exportação líquida de 230 barris equivalentes de petróleo (bep) no ano de 2015. O petróleo e seus derivados e o gás natural representaram a maior parcela da oferta interna de energia. No tocante ao consumo final, os derivados de petróleo foram os mais utilizados, notadamente o óleo combustível e a gasolina. Para o setor de transporte é destinado mais da metade do consumo dos derivados do petróleo, principalmente o rodoviário, podendo-se destacar o diesel, com produção de 49 milhões de m<sup>3</sup> em 2015 e a gasolina com 27,9 milhões de m<sup>3</sup>.

Dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) indicam que até o fim de 2015, as áreas sob contratos eram 790. Desse total, 348 blocos estavam na fase de exploração, 71 campos na fase de desenvolvimento da produção e 371 campos se encontram na etapa de produção, com a distribuição nesta última fase de 274 localizados em terra e 97 em mar. Todavia, a produção é majoritariamente marinha, correspondendo a 93,4% do total, sendo o estado do Rio de Janeiro o principal produtor (67,1%). Em 2015 a produção nacional atingiu 889,7 milhões de barris (bbl), um crescimento de 8,1% em relação ao ano. No tocante a relação reserva/produção, atingiu-se o tempo de 14,6 anos. A produção do Brasil reverteu os déficits no comércio internacional de petróleo e derivados em 2013 e 2014 e registrando superávit de 32,1 mil m<sup>3</sup>/dia em 2015.

Em relação aos derivados de petróleo, a produção de 2015 foi de 122,1 milhões de m<sup>3</sup>, desse montante 106,7 milhões de m<sup>3</sup> corresponderam aos derivados energéticos, com grande destaque para o óleo diesel (46,3% dos energéticos), os não energéticos respondem por 14,4% e as produções de maior destaque são o coque, com 4,9 milhões de m<sup>3</sup>, produto sólido utilizado pela indústria do alumínio; e o nafta 4,6 milhões de m<sup>3</sup>, esse usado como matéria-prima da indústria petroquímica na produção de eteno e propeno, que originam materiais plásticos. Durante o ano de 2016 a produção média diária foi de 2,5 milhões de bbl/dia, chegando ao seu máximo em dezembro do ano passado com 2.730 mil bbl/dia.

O Gás Natural era um produto de consumo final quase que inexistente nas décadas de 70, e na década seguinte o seu consumo cresce, passando de 127 milhões de m<sup>3</sup> para 42.761 milhões de m<sup>3</sup> em 2015, superando o uso de carvão e lenha. Grande parte do total consumido, 18.400 milhões de m<sup>3</sup>, é destinado à geração de energia elétrica (43%) e outros 20.225 milhões de m<sup>3</sup>

foram destinados para consumo final energético. A previsão da EPE é que em 2050, o consumo dessa fonte atinja 11,2%, refletindo a crescente penetração do gás natural na matriz energética brasileira. Na década que se estendeu entre 2006 e 2015, a produção nacional de gás natural cresceu em média 7,9% ao ano, alcançando 35,1 bilhões de m<sup>3</sup> nesse último ano, desse total 10,6 bilhões de m<sup>3</sup> da região do pré-sal, sendo que a relação reserva/produção (R/P) de gás natural ficou em 12,2 anos.

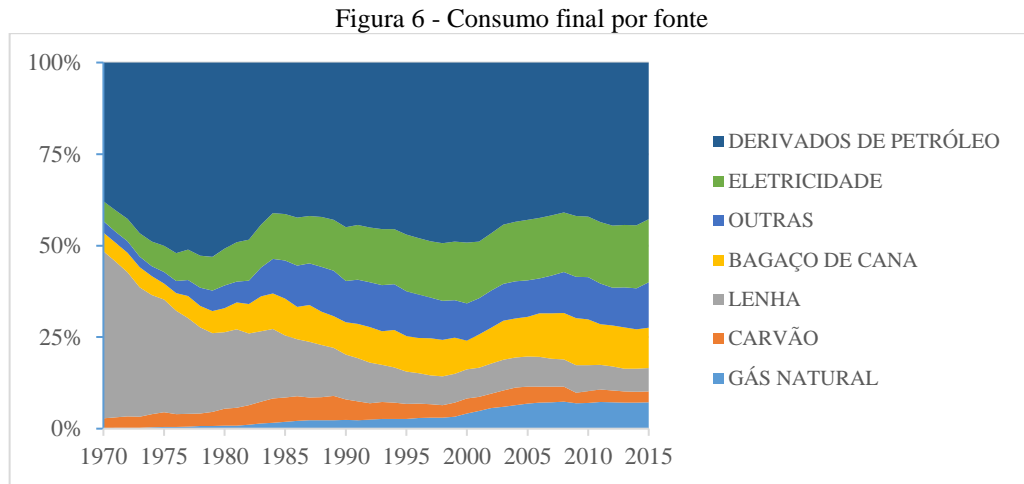
Em 2015 o total de gás natural processado foi de 21 bilhões de m<sup>3</sup>, com consumo de 57,5 milhões de m<sup>3</sup>/dia em média, o que equivale a utilização de 60,3% de capacidade total instalada. Aproximadamente 67,5% do processamento total do gás natural do país foi realizado em 04 polos produtores, Cabiúnas (RJ), Urucu (AM), Caraguatatuba (SP) e Cacimbas (ES). Como resultado do processamento do gás natural produziu-se 2,7 milhões de m<sup>3</sup> de GLP, 1,3 milhões de m<sup>3</sup> de C<sub>8</sub> (gasolina natural, que pode ser reprocessada ou adicionada à corrente do petróleo), 214 mil m<sup>3</sup> de etano, 663 mil m<sup>3</sup> de propano e 19,4 bilhões de m<sup>3</sup> de gelo seco. Em 2016, a média diária de produção do gás natural foi de 103,5 milhões de m<sup>3</sup>/dia.

O carvão é outra fonte que se destaca pela trajetória de elevação do seu uso na geração de eletricidade nos últimos anos. Entre 2011 e 2015, a geração proveniente do uso do carvão quase triplicou, principalmente entre 2012 e 2013, quando se verificou um crescimento de 75%, Tolmasquim (2016) afirma que essa fonte pode se tornar importante opção no mix energético do país, por causa do possível esgotamento do potencial hidrelétrico econômica e ambientalmente viável nos próximos anos. Em contrapartida, o carvão conta com preços estáveis e relativamente baixos, havendo grande disponibilidade de carvão no sul do país, com a ressalva para a necessidade do desenvolvimento de tecnologias para a geração térmica com emissões reduzidas a preços competitivos.

A figura 6 ilustra o consumo final de energia por fonte e demonstra o crescente papel da eletricidade ao longo dos anos. Segundo a EPE, o consumo final de eletricidade em 2015 foi de 17,2% de energia e representará 23,1% da demanda total de energia até 2050. O setor industrial é o maior consumidor de eletricidade, contudo, entre 2006 e 2015 a indústria diminuiu em 10 pontos percentuais a proporção do consumo de eletricidade, de 47% para 37,6%. Segmentos industriais que mais fizeram uso da energia elétrica em 2015 foram os de não-ferrosos e outros ramos da metalurgia, como o cobre, latão, bronze e alumínio (26.929 GWh), seguido pelo setor de alimentos e bebidas (26.081 GWh), químico (22.562 GWh), papel e celulose (21.684 GWh)



e ferro-gusa e aço (18.714 Gwh). Depois da indústria o setor residencial com 25,1% de consumo total de eletricidade, enquanto o setor comercial deteve 17,5% do consumo.



Segundo o Boletim de Informações Gerenciais (BIG) da Aneel, o país possui 4.649 de empreendimentos em operação, o que representa 151.630.241 kW de potência instalada, com a previsão de 24.847.151 kW adicionais. Essa geração extra será orientada pela provisão de 209 empreendimentos em construção e outros 608 previstos, desses empreendimentos 40,35% correspondem a usinas termelétrica. Um percentual de 61,07% da potência gerada pelos empreendimentos em operação é oriundo de 219 usinas hidrelétricas e outros 41.122.599 kW são gerados por 2.945 usinas termelétricas, o que representa 27,12% do total. Dos empreendimentos em construção, 22,74% é formado por centrais eólicas.

Houve grande evolução das usinas eólicas no âmbito da capacidade instalada dos empreendimentos de geração no período de 2011 a 2015, os megawatts gerados por esse tipo de empreendimento cresceram em torno de cinco vezes, passando de 1,22% a 5,44%. As usinas eólicas passam a ser a terceira com maior capacidade instalada em 2015, 7.630 MW, contudo essa ordem de grandeza está muito longe da capacidade das hidrelétricas (61,31%) e das usinas térmicas (28,08%). A energia hidráulica é a principal fonte da geração elétrica no Brasil, contudo, entre 2011 e 2015, a eletricidade dessa fonte caiu 16%, por sua vez o Gás Natural ganhou importância, tendo triplicada a produção de energia elétrica proveniente dessa fonte.

Finalmente, a bioeletricidade é obtida principalmente da cogeração em unidades industriais, e o bagaço de cana é a principal biomassa usada como fonte de energia, em menor escala nas

indústrias de papel e celulose é usada a lixívia, um resíduo produzido através do tratamento da celulose. Por biomassa, se considera também a lenha, que representa 8,2% das fontes usadas na geração de eletricidade. A participação da geração elétrica através da fonte nuclear caiu de 15.659 GWh em 2011 para 14.734 GWh em 2015, o que representou 2,5% do total de eletricidade gerada no ano, participação pequena, uma vez que o Brasil é um dos poucos países que domina o ciclo do combustível nuclear, além de possuir uma das maiores reservas de urânio do mundo.

### 2.3 DESCRIÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO ENERGÉTICO

Goldemberg e Lucon (2010) indicam que, aproximadamente, 1.000 kcal ( $10^6$  cal) é o mínimo de energia para manter vivo um indivíduo adulto. Ao longo da história a sociedade avançou tecnologicamente e a necessidade de energia também aumentou. Nos primórdios a humanidade ainda não dominava o fogo e ele obtinha a energia que consumia dos alimentos ingeridos. Na Inglaterra em 1875, o homem industrial desenvolveu a máquina a vapor, impulsionando o comércio e o transporte, e nesse mesmo período, o consumo de energia cresceu substancialmente. Já no século 20, o homem tecnológico melhorou as qualidades técnicas da máquina a vapor e desenvolveu o motor de combustão interna, motores elétricos e a energia nuclear. Isso fez com que, o consumo per capita de energia em países industrializados ultrapassasse em mais de 100 vezes o consumo verificado a milhões de anos atrás.

Os estágios de desenvolvimento da humanidade estão correlacionados com a evolução de energia consumida. Para Common e Stagl (2005) a história humana se divide em três fases. A primeira corresponde ao homem caçador-coletor e levou aproximadamente 90.000 anos, no fim dessa etapa, a população humana era estimada em 4 milhões, e as atividades econômicas predominantes envolvia a provisão de alimentos e vestuários básicos. De forma geral, esse sistema econômico teve pouco impacto ambiental e persistiu por um longo período de tempo. A fase agrícola persistiu em torno de 12.000 anos, e a população humana cresceu em torno de 900 milhões, prevalecia ainda na sociedade agrícola, a produção de alimentos, vestuários básicos, o impacto ambiental nesta fase foi muito maior que o observado na fase anterior.

Na fase industrial, que começou a pouco mais de 200 anos, as tecnologias avançaram substancialmente e o uso total de energia é muito superior que nas fases anteriores. Segundo

Pinto Jr, *et al.* (2007), a partir da Revolução Industrial a disponibilidade de recursos energéticos suprem as necessidades da atividade econômica, e no centro dessa revolução ocorreram diversas mudanças tecnológicas inter-relacionadas, especialmente com a transformação do calor em trabalho e a substituição das matérias-primas. Os recursos energéticos passaram a se tornar condicionantes do desenvolvimento econômico e social. A energia tem múltiplas dimensões econômicas interdependentes e as decisões estratégicas sobre seu uso dependem da articulação dessas dimensões econômicas.

Assim, a economia busca contribuir com a análise dos atributos de flexibilidade e substitutibilidade que dependem fundamentalmente de condições econômicas do lado da oferta e da demanda de energia, pois mesmo com características físicas distintas, podem ser tratados como uma rede, pois as suas diversas formas podem ser consideradas, teoricamente, como substitutas entre si, permitindo a conversibilidade que deriva do plano econômico, e dos preços relativos das fontes energéticas. Dessa forma, a produção, o transporte, a distribuição e a comercialização de energia formam um conjunto único de atividades econômicas, cujo mercado apresenta algumas especificações, como a distribuição desigual de recursos energéticos entre os países e o conseqüente desequilíbrio na realização dos objetivos de crescimento e desenvolvimento econômico e social (PINTO JR, *et al.*, 2007).

Para Bhattacharyya (2011), problemas relacionados à energia são analisados na ótica econômica há mais de um século, mas a economia da energia como um ramo especializado ganhou notoriedade a partir do choque do petróleo que ocorreu nos anos de 1970. O crescimento acelerado dos preços na época despertou a importância da energia para o desenvolvimento econômico dos países. Como os outros ramos da ciência econômica, a economia da energia preocupa-se com a alocação de recursos escassos no processo produtivo. Entretanto, ao longo dos anos os temas tratados no âmbito da indústria da energia mudaram, nos anos 70 o foco se concentrava na compreensão da indústria da energia (especialmente do petróleo), em análise sobre energias alternativas substitutas e renováveis, para além de estudos de planos integrados de sistemas energéticos, destacadamente nos países em desenvolvimento.

Preocupações ambientais em relação ao uso e o desenvolvimento econômico tornaram-se agenda principal e a dimensão ambiental domina o debate político, constituindo-se na maior mudança de foco nos estudos sobre a energia. O efeito do uso da energia sobre o meio ambiente passou a fazer parte integrante da análise. Nos anos 90, a reestruturação e a liberalização dos

mercados se transformaram em temas centrais, além das mudanças climáticas e outras agendas ambientais globais. Nos anos mais recentes o foco mudou para temas como a volatilidade dos preços do petróleo, a escassez de energia e o debate sobre a intervenção estatal no setor, esse movimento pendular no debate é atribuído às preocupações sobre segurança da oferta num mundo com restrições de emissões de poluentes (BHATTACHARYYA, 2011).

O setor energético, além de usar insumos de vários segmentos econômicos, também é um insumo básico para todos os setores. Pinto Jr, *et al.* (2007) e Bhattacharyya (2011) destacam as principais dimensões dessas interações, na dimensão macroeconômica enfatiza-se a relação elasticidade-renda da demanda de energia, descrito na relação energia-crescimento econômico, fator fundamental para o planejamento da oferta e segurança do abastecimento energético e sua relevância para a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF). A preocupação com a variação dos preços da energia se dá em variáveis macroeconômicas, como o produto total da economia, as balanças de pagamentos e da balança comercial, inflação, taxas de juros, dentre outras.

Por conseguinte, o setor energético é composto de diferentes indústrias e subsetores de atividades econômicas, cada qual com diferentes características econômicas e produtivas. Todavia, cada ramo enfrenta desafios de valoração de custos e definição de critérios de formação dos preços energéticos, aspectos delicados, tanto para a indústria de derivados, influenciada pelas flutuações dos preços do petróleo, quanto para as indústrias de eletricidade e gás natural, atividades cujas condições de transporte e distribuição são sensíveis à regulação de tarifas. As diferentes estruturas de mercado e a organização industrial são fundamentais para a análise da composição, expansão, planos de investimentos e mecanismos de financiamento da indústria de energia.

A operação nesse ramo deve ser equilibrada, considerando demanda, investimento, preços, oferta e ambiente institucional, enfrentando questões de curto, médio e longo prazos. Por causa de suas características específicas de investimentos intensivos em capital, escala e tamanho de plantas, e longos períodos na implantação dos projetos, as decisões de produção devem ser tomadas com antecedência para moldar os resultados presentes e futuros, diante do elevado grau de incertezas.

Na dimensão microeconômica, uma característica essencial consiste da tecnologia, pois o aproveitamento econômico da energia está diretamente ligado ao processo de inovações

tecnológicas, técnicas e alocação de equipamentos necessários à produção e à utilização das diferentes fontes de energia. Por exemplo, depois dos choques do petróleo, as opções adotadas no Brasil e na França, foram diferentes, pois, enquanto o primeiro investiu em componentes hidrelétricas, o segundo incentivou a produção e o consumo de energia nuclear.

Por fim, deve-se destacar a questão ambiental, que é fundamental para o desenvolvimento e uso sustentável dos recursos energéticos, pois não há fonte de energia que não provoque algum impacto sobre o meio ambiente, quer devido à elevação das emissões de CO<sub>2</sub> ou pelas inundações de áreas para a construção de barragens hidroelétricas. Desse modo, qualquer mudança na matriz energética ou alterações em sua composição tem repercussão sobre o meio ambiente. Por outro, restrições a fontes de energia poluentes e a adoção de tecnologias limpas impactam no custo de produção e nos preços da energia, por isso, a interrelação entre diferentes dimensões econômicas e ambiental determina a agenda da política energética atual.

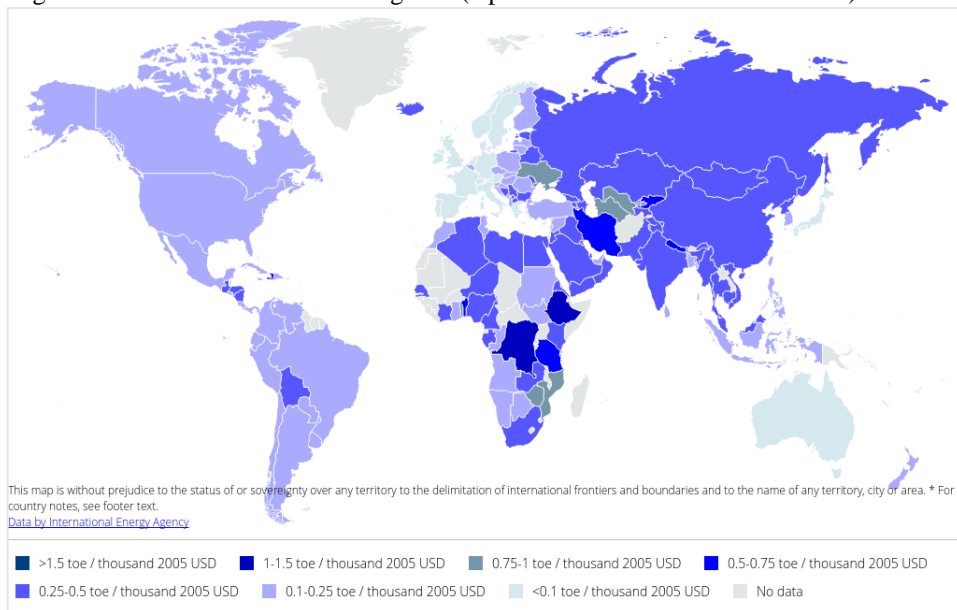
De acordo com Pinto Jr, *et al.* (2007) vários trabalhos abordaram a relação entre consumo de energia e crescimento econômico na base de modelos econométricos, para os autores o primeiro que trata do tema foi o de E. Mason em 1955. Esse estudo mostra a existência de correlação forte entre a variação da renda nacional e o consumo de energia *per capita*, possibilitando assim, estimativas sobre a elasticidade renda de energia. Em 1967 destaca-se o trabalho de Mainguy que mostrou também haver relação entre variações no consumo de energia e na renda. Assim, até o final dos anos 60, houve a percepção de que existe correlação forte entre consumo de energia e crescimento econômico e essa relação tenderia ser a mesma entre os países. Desse modo, os países ampliaram o consumo de energia à medida que havia o incentivo ao crescimento e ao desenvolvimento.

Pinto Jr, *et al.* (2007) prosseguem afirmando que na década de 70, J. Darmstadter constatou novamente correlação entre consumo de energia e PIB, contudo, essa não se mostrou unitária como havia sido defendido na década anterior, e ainda apresentou dispersões que mostraram a heterogeneidade na relação. Em 1972 Janosi e Grayson encontraram forte correlação entre consumo-PIB, entretanto, constataram coeficientes de elasticidade diferenciados em relação ao PIB. Em países com PIB *per capita* maior a elasticidade era quase sempre inferior a unidade, e em países mais pobres, a elasticidade era quase sempre superior a 1, quanto à estrutura econômica, a elasticidade de consumo de energia em relação ao PIB era tanto maior, quanto maior fosse o crescimento da indústria, no caso duma economia predominantemente agrícola, essa

tendência se mostrava inversa à medida que a participação da indústria aumentasse em relação ao PIB.

A partir dos choques dos preços petróleo ocorrido na década de 70, os trabalhos concluíram que as trajetórias do consumo de energia não eram totalmente explicáveis pelo nível de atividade econômica, restando observar tendências de longo prazo, pois as técnicas utilizadas à época não captavam devidamente a relação e as regularidades empíricas. Como já observado, para Pinto Jr, *et al.* (2007), a comparação internacional entre o consumo de energia e PIB revela disparidades entre os países. Um dos indicadores usados para medir essa relação é o Indicador de Intensidade Energética (IIE), expressos em unidades energéticas (como tep) e o valor do PIB.

Figura 7 -Atlas de Intensidade Energética (tep/mil dólares americanos de 2005) ano 2014



Fonte: Agência Internacional de Energia (AIE)

Em dólares americanos, de forma geral, o IIE expressa o montante de energia necessária para produzir uma unidade monetária do PIB. O IIE também pode ser interpretado como um indicador de eficiência energética, pois um indicador muito alto aponta grande necessidade do uso de energia para gerar cada unidade do PIB. A figura 7 busca ilustrar o atlas de intensidade energética para o ano de 2014 para os países, resultado da razão do consumo energético em tep pelo PIB expresso em dólares americanos de 2005, quanto maior for a tonalidade do azul maior será o IIE.

Sendo uma razão simples, o IIE não contempla uma série de outros elementos explicativos, mas dá uma noção sobre eficiência energética entre países, pois a busca da utilização eficiente dos recursos energéticos é uma das questões centrais na atualidade, ou seja, realizar um serviço e/ou produto com quantidade de energia mínima, eficiência que pode ser obtida por meio de melhorias nas técnicas produtivas, alteração nas estruturas setoriais da economia e nas preferências sociais. A disparidade internacional na comparação do IIE deve ser analisada de forma cautelosa, já que diversos países têm diferentes dotações de recursos energéticos, hábitos no consumo de energia, clima, e diferentes graus de desenvolvimento produtivo e tecnológico que afetam diretamente o rendimento energético e a forma de produzir.

### **3 CONFLUÊNCIA ENTRE QUESTÕES ECONÔMICAS E AMBIENTAIS**

Nesta seção será tratado como o meio ambiente é estudado pela perspectiva da economia, primeiramente, observando relações econômicas e ambientais com o uso da energia. Em seguida articula-se nível de atividade econômica e impactos ambientais. Continuando com a reflexão de pensadores econômicos selecionados sobre o tema da energia e meio ambiente e fazendo um paralelo com o desenvolvimento histórico da ecologia. Por fim, serão destacadas as críticas realizadas por Georgescu-Roegen e as implicações das leis da termodinâmica, principalmente da Entropia, para o sistema econômico.

#### **3.1 ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA PERSPECTIVA DO USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS**

De acordo com Goldemberg e Lucon (2010), a diferença nos padrões de consumo de energia é uma característica intrínseca às sociedades em desenvolvimento, enquanto sociedades com classe de renda mais elevadas reproduzem os padrões de consumo de países industrializados e sociedades mais pobres fazem uso da energia para satisfazer seus requerimentos básicos. Grande parte da energia necessária para atividades como agricultura, transporte e utilidades domésticas nos países em desenvolvimento advém do esforço físico humano, animal e de fontes que incluem a biomassa na forma de lenha e resíduos agrícolas. A lenha é uma fonte primária ainda muito utilizada em zonas rurais, principalmente para a cocção de alimentos.

Em pesquisa realizada por Almeida e Oliveira (1995 apud GOLDEMBERG E LUCON, 2010, p. 39) mostrou que, famílias brasileiras com renda de mais de 10 salários mínimos em 1988, os produtos derivados do petróleo representavam 65% do montante de energia consumida, enquanto o consumo desses mesmos produtos correspondia a 35% entre famílias com renda entre 0 e 2 salários mínimos. Por outro lado, o consumo de carvão e lenha por famílias de alta renda representava apenas 8%, enquanto em famílias mais pobres esse consumo representava 40%. Neri (2001) analisou as principais fontes usadas na iluminação dos domicílios no início do século XXI e constatou que dos 20% mais ricos, 99,27% da iluminação era obtida da eletricidade, enquanto os 20% mais pobres 78% da iluminação era elétrica, com a participação ainda forte da utilização de lâmpões (21,27%).



Para Pinto Jr, *et al.* (2007), historicamente as nações que no início século XX estavam dotadas de uma elevada intensidade energética eram aquelas que desenvolveram de forma destacada os setores de siderurgia, metalúrgica, química e de materiais de construção, recorrendo ao uso de fontes de energia abundante e barata, como o carvão. Nessa descrição podemos considerar países como o Reino Unido, Bélgica, Luxemburgo, Alemanha e Estados Unidos. Casos como a França e a Itália, a intensidade foi menor devido a dotação de recursos naturais, o preço da tonelada de carvão chegou a ser duas vezes superior em comparação a outros países. Entretanto, após a Segunda Guerra a maior inserção do petróleo, devido os custos de transporte mais baixos, possibilitou o aparecimento de indústrias intensivas em energia em quase todo o mundo.

A tendência de ampliação das indústrias intensivas em energia nos países industrializados diminuiu e até se inverteu com o advento dos choques do petróleo. Países como o Japão transformaram as suas estruturas produtivas, tornando-as muito mais flexíveis, esforço que foi alcançado com a substituição da produção interna de produtos como fertilizantes, plásticos e alumínio por importações. Na Europa Ocidental a indústria química foi um dos exemplos dessas transformações, esse setor reestruturou-se em favor de bens com alto valor agregado através da utilização de matérias-primas importadas de países exportadores de hidrocarbonetos, como Argélia, Arábia Saudita, Venezuela, México e Indonésia (PINTO JR, et al., 2007, p. 39).

Padrões ambientais rígidos exigidos nos países industrializados também ajudaram a explicar o deslocamento da produção industrial primária intensiva em poluentes para o exterior. Países que contavam com recursos facilitadores de produção hidroelétrica abundante e barata tornaram-se atrativos para as indústrias eletroquímica e eletrometalúrgica, a exemplo de Noruega, Canadá e Brasil. Entretanto, esse novo tipo de organização industrial não restrita às fronteiras nacionais não foi a única forma de explicar reduções significativas que foram observadas na intensidade energética nos países industrializados. A mudança de técnicas utilizadas na produção foi outro fator fundamental nessa direção, traduzida pelo aumento da eficiência na utilização dos recursos energéticos.

Pinto Jr, *et al.* (2007) afirmam que a diminuição do consumo de insumos energéticos pode ser obtida do aperfeiçoamento ou da substituição de processos. Essas duas possibilidades só devem ser alcançadas com a incorporação de novos investimentos na produção pois, quanto maior a elevação do preço da energia em relação aos preços dos equipamentos, mais eficientes, maior será o incentivo para a realização de investimentos para estimular a eficiência. De forma geral,

o novo processo utilizado deve ser mais intensivo em capital, pois é possível observar a diminuição da parcela energética sem a substituição do processo, como ocorreu com a substituição do carvão pelo gás natural e petróleo nos anos 50.

A transformação dos sistemas de obtenção de força motriz é outra forma de conseguir elevar a eficiência energética, como a substituição das máquinas hidráulicas pelas movidas a vapor e, posteriormente, à eletricidade. A trajetória de redução da intensidade energética tornou possível o fracionamento da potência e introduziu flexibilidade e eficiência maiores no uso de energia, possibilitando a substituição de uma grande máquina a vapor que atendia toda fábrica por motores individuais para ferramentas ou máquinas. Além disso, a indústria da eletricidade foi muito beneficiada por ganhos de escala e produtividade, uma vez que, essa fonte de energia era produzida através de grandes centrais e distribuída para várias regiões simultaneamente.

Na atualidade as rápidas transformações observadas nos setores de informática e informação estão alicerçadas na eletricidade. Por outro lado, essas revoluções representam aumento significativo no monitoramento e gerência dos fluxos de energia ao longo dos sistemas tornando o uso dos recursos energéticos mais eficaz. Dessa forma, conclui-se que o rumo da evolução tecnológica em curso privilegiará o uso mais eficiente de energia, sendo um meio de atenuar as restrições impostas pelos recursos naturais e o meio ambiente. Contudo, essa evolução está longe de ser uniforme, ocorrendo por meio de avanços provocados ou acelerados por eventos extremos, esse desenvolvimento é mais rápido em nações localizadas na fronteira tecnológica. Assim, o estudo da energia é um assunto bastante complexo, e as tentativas de explicação das tendências de longo prazo do setor energético têm reforçado o papel relevante da tecnologia, este aspecto intermedeia a necessidade energética da sociedade e a disponibilidade dos recursos.

Decisões de investimento no setor energético têm grande repercussão econômica e ambiental por causa do montante de recursos envolvidos. Essas decisões influenciam todo o sistema de gerenciamento de energia no tocante às atividades de pesquisa e desenvolvimento, os planos de contingenciamento e o planejamento de longo prazo. De acordo com Andrade e Mattei (2012), as discussões relacionadas ao impacto do sistema econômico sobre o meio ambiente vêm sinalizando que o uso intensivo da energia fóssil é uma das principais agendas do debate sobre os planos do desenvolvimento ambientalmente sustentável. Assim, para compreender a relação entre o uso de energia e o sistema econômico, bem como, os impactos sobre o meio ambiente, é necessário um debate amplo sobre as suas implicações em termos do desenvolvimento.

### 3.2 O TRIPÉ ENERGIA, ECONOMIA E MEIO AMBIENTE

O meio em que vivemos está em constante mudança, devido em parte, às causas naturais totalmente fora de controle das pessoas. A passagem das estações do ano, as manchas solares, erupções vulcânicas, terremotos, tsunamis, furacões são exemplos de mudanças que não são influenciadas pelo ser humano. Diante de todos esses eventos a vida na terra demonstra enorme capacidade de superar adversidades naturais, pois grande parte das transformações ocorridas em nosso meio ambiente são lentas, ao longo de períodos de tempo. Contudo, em se tratando de mudanças ambientais recentes, estas foram causadas potencialmente pela ação humana, mostrando que os impactos, que eram quase insignificantes até o advento da Revolução Industrial no século 19, transformaram-se na causa de grande preocupação em decorrência do uso predatório dos recursos naturais.

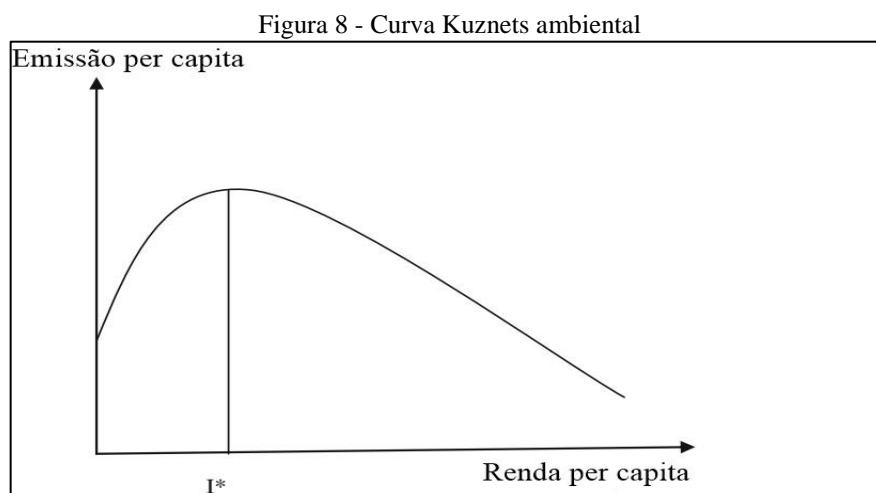
A presença humana na terra é relativamente recente, levando em consideração as fases geológicas do planeta, e a vida no planeta depende de condições ambientais específicas de temperatura, clima, existência de água e outras formas de vida, que situados além de alguns limites faz diminuir perigosamente a capacidade de adaptação ao meio. Do ponto de vista da economia, a natureza dota os recursos necessários para a produção, entretanto, também ela é usada como depósito de resíduos do processo de produção e consumo. A natureza sustenta as atividades econômicas com os recursos usados na produção e todo o sistema que suporta a vida, a pressão por maior demanda faz aumentar os riscos de deterioração da qualidade do meio ambiente, além de superar a capacidade de absorção dos rejeitos produzidos.

Os danos ambientais podem ser observados em diferentes meios e causar os mais diversos problemas a todo o sistema ecológico natural. Os efeitos sobre o meio ambiente ultrapassam a dimensão regional, pois, os poluentes são emitidos através da água ou do ar, causando impactos regionais (como a chuva ácida) e globais. A poluição pode ser gerada por meio de fontes móveis e estáticas, ou de maneira contínua e descontínua, de maneira que as emissões podem ser originadas de uma planta industrial ou através de um incêndio florestal, podendo ser em alguns casos, perigosos e venenosos, ou mesmo danosos com diferentes níveis de externalidades negativas.

Goldemberg e Lucon (2010) apontam que o consumo de energia é provavelmente a maior fonte de impacto ambiental em todos os níveis. Na escala micro tais impactos causam doenças, como

as respiratórias, e no nível macro, a intensidade das mudanças climáticas e a redução da biodiversidade. Em alguns casos, a energia não é a causa central, contudo, tem importante papel, por exemplo, na degradação de recursos marinhos devido a vazamentos residuais. A degradação ambiental ocorre em diversos meios e dimensões, localmente a poluição do ar urbano é uma das grandes preocupações, causada pela emissão de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), assim como, o uso de fertilizantes na agricultura, o depósito de lixo e a poluição das águas.

Regionalmente a chuva ácida é um dos impactos mais destacados, resultado da reação da água com o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio, além da poluição dos aquíferos subterrâneos e dos oceanos e águas internacionais, transformando os impactos isolados em globais, resultando em mudanças nos oceanos e áreas de desertificação. De modo geral todos esses impactos têm diversas causas, desde o aumento populacional, atividades industriais, o transporte, a agricultura ou turismo. A manifestação desses impactos causa mudanças nos padrões socioeconômicos, levando a percepção que deve haver a necessidade de se priorizar o meio ambiente ou o crescimento econômico. Como explica Bhattacharyya (2011, p. 535), a lógica econômica por trás dessa escolha é conhecida como Curva de Kuznets Ambiental, no qual se sugere uma relação de U invertido entre poluição per capita e renda per capita.



Fonte: Adaptado de Bhattacharyya (2011)

A figura 8 mostra a relação sugerida pela curva de Kuznets Ambiental, na fase inicial de crescimento da renda per capita a sociedade está disposta a aceitar pior qualidade ambiental, contudo, na medida em que aumenta a renda, causa uma maior demanda por qualidade ambiental. Outra interpretação mostra que elevações no nível de riqueza leva a maior redução

na poluição ambiental. Assim, se esta relação se mantiver no tempo, o crescimento econômico induzirá na diminuição dos impactos ambientais.

De acordo com Bhattacharyya (2011), os apoiadores da curva de Kuznets Ambiental argumentam que o crescimento econômico ocorre normalmente em estágios, inicialmente as atividades agrícolas dominam o cenário econômico, o próximo estágio é a industrialização e, por fim, segue a etapa em que predominam as atividades, serviços e informação. Essa transformação estrutural, aliada a ampliação da consciência social e ambiental, e a mudanças tecnológicas, permitem a melhor gestão do meio ambiente.

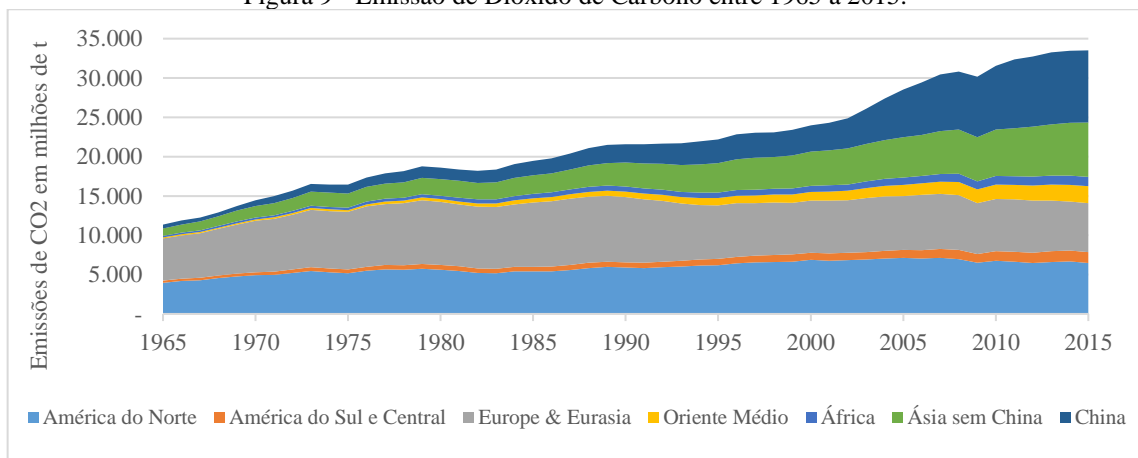
Todavia, há várias críticas sobre a ideia representada pela curva de Kuznets Ambiental, pois, não há padrão ou relação válida para todas as regiões. Diferentes pesquisadores identificam resultados distintos para o mesmo problema ambiental, há poucas explicações de como a trajetória ocorre e as estimativas frequentemente não consideram o efeito dos danos ambientais à atividade econômica. Se os danos ao ambiente forem suficientemente grandes, provavelmente isso afetará a atividade econômica e, dessa forma, será problemático concluir que os países seguem uma trajetória comum dada em forma de “U” invertido relacionando danos ambientais à elevação da renda, por isso, as políticas econômicas devem buscar mitigar os efeitos sobre o meio ambiente.

A análise dos efeitos ambientais sobre a economia se baseia na teoria das externalidades. Alguns autores usam essa designação para indicar as falhas de mercado, enquanto outros tendem a dar uma conotação mais específica, no sentido de que externalidades ocorrem quando a ação de um agente econômico afeta o bem-estar de outro agente. As externalidades ambientais refletem custos não internalizados como consequência da atividade de certos agentes privados ou públicos em termos de saúde, que dificilmente são capturados em análises econômicas (BHATTACHARYYA, 2011).

O Painel Intergovernamental para a Mudança Climática (IPCC) observa que a ação humana interfere no sistema climático global colocando em risco outros sistemas naturais. O IPCC é um grupo de trabalho criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) com a finalidade de buscar referências e informações científicas em matéria de mudanças climáticas, tendo nas Convenções das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, o principal instrumento de política.

Conforme apontado pelo IPCC, as mudanças climáticas envolvem complexas interações, com diversos impactos nos mais distintos contextos da vida humana, devendo ressaltar as repercussões nos setores-chaves da economia como resultado de mudanças de temperatura, precipitação, aumento do nível do mar e outros eventos críticos, efeitos que impactam diretamente em vários setores econômicos, nomeadamente no de energia ou na agricultura que dependem de padrões de precipitação e temperatura. O setor de turismo é outro exemplo, assim como no de recreação, sujeitos também as condições climáticas.

Figura 9 - Emissão de Dióxido de Carbono entre 1965 a 2015.



Fonte: BP Statistical Review of World Energy

Por outro lado, as atividades econômicas têm implicações sobre o meio ambiente. As emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, como mostrado na figura 9, implicam que somente a China é responsável pela maior parte das emissões dos países da Ásia. Esses impactos causados pelas emissões retornam na condução dos setores da economia, na esfera energética as repercussões são sentidas nos lados da oferta e da demanda, num mundo de crescente aquecimento a demanda por resfriamento dos ambientes tenderá a aumentar, resultando em elevação no consumo energético e, conseqüente, na necessidade de maior oferta de eletricidade, entretanto, fatores tecnológicos, geográficos e socioeconômicos influenciam essa tendência.

Como explicado pelo IPCC, diferentes fontes de energia são afetadas de maneiras distintas, as mudanças climáticas causam impactos nas operações das instalações de energias, no caso da geração térmica, os maiores riscos incidem nas emissões, que a depender do tipo, podem causar elevadas perdas ambientais. No tocante a hidroeletricidade a utilização de grandes reservatórios e o alagamento de grandes áreas com a modificação dos cursos dos rios têm grande efeito em termos ambientais, uma vez que, a força motriz da água é a principal forma de geração de

energia no Brasil e também é insumo essencial em inúmeros requerimentos de produção e consumo na produção industrial e agrícola. Já no caso da energia nuclear, tem como principal perigo, o resíduo de lixo radioativo com elevados custos de segurança ambiental.

### 3.3 EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO ECONÔMICO E ECOLOGIA

Costanza, *et al* (1997) afirmam que a corrente econômica dos Fisiocratas acreditava que as leis da física se estenderiam às regras da ordem social e natural. Para os fisiocratas, a atividade econômica real consistia simplesmente do trabalho da terra, era crença de que as leis naturais determinavam a ordem social do sistema sob variadas formas. Nas palavras de Petty (1983) fica muito representativo a importância dada ao setor agrícola com a afirmação desse autor de que o trabalho é o pai e o princípio ativo da riqueza, como a terra é a mãe. Outro grande expoente dos Fisiocratas Quesnay (1983) defendia que tudo desfavorável à agricultura é prejudicial à nação e ao Estado e tudo favorável à agricultura é útil ao Estado e à nação.

Por outro lado, Thomas Malthus (1996) argumentava que a população humana crescia exponencialmente e essa trajetória de crescimento causaria desequilíbrio em termos da oferta de alimentos que crescia aritmeticamente, contrapondo a possibilidade de assegurar a segurança alimentar que levaria a humanidade a sucumbir em razão de doenças e fome. Thomas Malthus defendia que o desequilíbrio entre os meios de subsistência faria os mais desafortunados a viverem em piores condições, por isso o trabalho tenderia a decrescer, enquanto o preço dos alimentos subiria. O autor continua a explanação argumentando que por outro lado os agricultores aplicariam mais trabalho nas terras até os meios de sobrevivência estivessem no mesmo nível da população, com as restrições flexibilizadas repetem-se os movimentos em direção ao desequilíbrio, dando início a um novo ciclo.

David Ricardo foi outro clássico que introduziu um modelo de como a atividade econômica tem relação com o meio ambiente, não por estar preocupado com a degradação ambiental ou a sobrevivência humana, mas por justificar uma teoria de renda da terra. Ricardo (1996) argumenta com base na produtividade da terra, com o desenvolvimento da sociedade as terras de fertilidade secundária são utilizadas para cultivo e daí surgiria a renda sobre as terras de primeira qualidade, concluindo com a construção da teoria da lei dos rendimentos marginais decrescentes do fator terra. Trata-se de uma lei fundamental na economia de produção e que tem relação com o meio ambiente. Como o fator terra não é ilimitada em quantidade nem em

qualidade, de acordo com esse modelo, a magnitude da renda dependerá da diferença de qualidade das faixas de terra usadas para o cultivo.

John Stuart Mill foi um dos primeiros economistas a defender a conservação da biodiversidade, posição contrário à conversão do capital natural em capital realizado pelo homem. John Stuart Mill visionava as economias se tornando maduras e alcançando um estado estacionário onde o sistema econômico aproveitaria o resultado das poupanças necessárias à acumulação do capital industrial. Para Mill (1996) os economistas políticos, em menor ou maior grau, perceberam que o aumento da riqueza não é ilimitado, depois de um período de crescimento, chamado pelo autor de condição progressista, está a condição estacionária. Para o autor defende que a torrente da atividade humana ao final desembocar em um mar aparentemente estagnado e cada passo para a frente ou o aumento de riqueza aproxima-se da condição estacionária.

William Stanley Jevons contribuiu em várias frentes, desde meteorologia, a lógica, indução e estatística, enquanto dava contribuições à economia. O seu interesse na questão ambiental está no reconhecimento da importância crítica da energia, que na época consistia basicamente no uso de carvão, ele destacou a dependência econômica do sistema econômico no uso de recursos naturais energéticos. Para Jevons (1866) o fator que agia favoravelmente ao aumento de riquezas na Inglaterra em meio à Revolução Industrial era o preço baixo do carvão, contudo, a exaustão das reservas dessa fonte é um fator de risco para a manutenção desse crescimento, devido à sua supremacia para a produção de calor e energia e de não possuir um substituto próximo na época, por outro lado já haviam estudos apontando as potencialidades do petróleo.

Harold Hotelling (1931) desenvolveu um modelo de eficiência do uso de recursos que contribuiu para o entendimento da exploração dos recursos ao longo do tempo. Ele estabelece que o proprietário de recursos naturais tem duas opções: extrair os recursos e aplicar os dividendos num banco, onde lhe rende juros; ou deixar os recursos na forma de estoque para elevar o seu valor no tempo. Assim, o proprietário deve escolher a primeira opção, a não ser que as taxas de lucros potenciais que espera auferir com a extração do recurso no futuro cresça mais rapidamente em valor que o rendimento em juros. Hotelling então concluiu que, sob condições especiais, uma indústria de extração composta de proprietários competitivos se comportaria de acordo com a variação entre o valor do estoque futuro e o valor da renda presente, essa seria a condição sob a qual os proprietários seriam indiferentes entre extrair ou



não, daí que as expectativas sobre o futuro caracterizam o modelo de Hotelling, na qual as taxas de juros futuras e o preço esperado tornam-se papel fundamental.

De acordo com Costanza; *et al* (1997) o desenvolvimento histórico da Ecologia como um campo teórico independente está diretamente relacionado com a evolução dos estudos das ciências naturais e físicas. Das diversas raízes teóricas das ciências naturais do século 19 sobre à Ecologia moderna os autores apontam como estudos iniciais os de Sadi Carnot que construiu a tese da termodinâmica através de estudos sobre eficiência das máquinas à vapor. Ele foi o primeiro a reconhecer que a quantidade de trabalho que pode ser obtido do sistema é decrescente e depende da temperatura do gradiente entre a fonte. Assim começa a formalização do que foi chamada de lei da termodinâmica idealizada por Rudolf Clausius.

Com base na primeira lei da termodinâmica, a energia não pode ser criada ou destruída, ou seja, ela define o princípio de conservação da energia. A segunda lei estabelece que a energia disponível para realizar uma quantidade de trabalho em dado sistema fechado decresce com o uso, como se vê, a segunda lei é particularmente importante para a economia, particularmente, para a gestão de recursos naturais. Charles Darwin (1859), influenciado pelos argumentos econômicos de Malthus, observava a razão porque havia tantas espécies de plantas e animais, tendo concluído que a explicação plausível para isso era de que as espécies evoluíam por um processo de adaptação e seleção natural, ideias relevantes para a biologia moderna e da ecologia.

Segundo Costanza; *et al* (1997) o conceito de ecologia por vezes é ligado à Grécia Antiga ou ao Século 18 com os trabalhos de história natural de Linnaeus (1735) e Buffon (1749), em Darwin (1859) ou na biologia evolucionária de Wallace (1858). Contudo, a ecologia como ciência independente somente aparece com Ernst Heinrich Haeckel, o primeiro a usar a palavra *oecologie* em 1866; Haeckel elaborou a primeira definição de ecologia em 1870, que significava o conhecimento relativo à economia da natureza, a investigação das relações totais dos animais em seus ambientes inorgânico e orgânico, incluindo as relações amigáveis e hostis entre animais e plantas. No início do século 20 Alfred J. Lotka sintetizou conhecimentos nos campos da física, química, biologia e economia no âmbito da termodinâmica. No livro *Elements of Physical Biology* de 1925, Lotka fez a integração da ecologia com sistemas econômicos em termos quantitativos, e ele anteviu as interações dos componentes bióticos e abióticos.

A economia e a ecologia foram tratadas como campos separados durante quase todo o Século 20. Contudo, no ano de 1971, dois livros influentes foram publicados, um de natureza ecológica e outro de natureza econômica. Esses dois livros versavam sobre energia, entropia, poder, sistemas e sociedade, e ambos foram apontados como ponto de partida para o estabelecimento dos fundamentos da economia ecológica. O livro *Environment, Power, and Society* era de autoria de Howard T. Odum e o outro, de Georgescu-Roegen e intitulava-se de *The Entropy Law and the Economic Process*. Esses dois trabalhos abriram o caminho para se entender a importância da energia nas modernas economias (COSTANZA; et al., 1997).

Howard T. Odum (1924 - 2002) preocupou-se com os fluxos materiais e energéticos no ecossistema, e ele produziu uma das primeiras descrições sobre o fluxo de energia de um sistema completo, contribuindo também com Eugene P. Odum na autoria do livro texto *Fundamentals of Ecology* publicado em 1953. Nicholas Georgescu-Roegen (1906–1994) argumentou que todo o processo econômico faz uso de energia e que, com base na segunda lei da termodinâmica, também designada de lei da entropia, a disponibilidade de energia num sistema fechado declina, como antes se destacava, permitindo o estabelecimento da relação entre escassez de recursos e a degradação do estado dos materiais.

### 3.4 ATIVIDADE ECONÔMICA E ENTROPIA

Andrade e Mattei (2012) afirmam que até meados da década de 1960 a teoria econômica dispensava tratamentos aos impactos ambientais resultado das atividades produtivas. Em análises de crescimento de longo prazo não havia a percepção de que o sistema ambiental possuía limitações físicas que restringissem o desempenho econômico. A partir de então, começaram a surgir abordagens relacionadas aos impactos das restrições do meio ambiente no processo de crescimento econômico. O debate ambiental que se seguiu deu origem as duas principais correntes dentro das ciências econômicas: a economia do meio ambiente, com características neoclássicas, e a economia ecológica, que recebeu contribuições de pesquisadores de diferentes áreas e destaca a limitações de natureza para o modelo de crescimento econômico vigente.

Harris e Roach (2015) mostram que a abordagem tradicional de avaliação dos recursos naturais usa o mesmo arcabouço analítico aplicado à fatores de produção, bens e serviços, e que essa análise visa estimar preços para os insumos usualmente não incluídos nas transações de

mercado, como ar limpo e água. Os autores continuam explicando a extensão das aplicações da economia tradicional a questões ambientais, pois as técnicas analíticas da microeconomia incluem a mensuração dos custos e benefícios externos, valoração de recursos e do meio ambiente como ativos, e a elaboração de regras do direito de propriedade.

Costanza; *et al.*, (1997) conceitua a economia ecológica como o produto de um desenvolvimento histórico evolucionário, não representando um conjunto estático de soluções, mas sim, um conjunto dinâmico dentro da visão transdisciplinar que enfatiza o diálogo e a cooperação na resolução dos problemas atuais. Os pontos básicos de consenso na abordagem de economia ecológica consistem da visão de que a terra representa um sistema termodinâmico fechado em que a economia é um subsistema do ecossistema global. Trata-se de uma visão futura de sustentabilidade centrada nas restrições impostas pelo meio. Há o reconhecimento do ambiente como um sistema complexo e que certos processos são irreversíveis.

Cechin e Veiga (2010) destacam que a visão prevalecente na economia é de que se trata dum sistema fechado e circular, fechado porque não entra nada de novo e também não sai nada, e circular, porque o objetivo do sistema econômico é mostrar o fluxo circular da renda e dos bens e serviços na economia. Essa representação do sistema como um fluxo circular isolado remete ao período fisiocrático numa ideia da interdependência entre os vários processos produtivos. A representação das relações de trocas econômicas como um fluxo circular monetário e de bens tem analogia com a abordagem mecânica e reducionista.

De modo resumido, a Mecânica estuda a mudança de posição e locomoção de algum objeto, cuja característica se baseia no princípio de conservação da matéria. Por esse princípio, a energia total de um sistema físico isolado deve ser constante, pois, a energia apenas se transforma, sem perdas, e, por isso, que o tipo de fenômeno estudado pela Mecânica é considerado reversível e compreendido apenas pela posição do objeto, não importando a trajetória temporal. Como destacado por Mirowski (1988 apud CECHIN; VEIGA, 2010), um fenômeno reversível não distingue o passado e o futuro, e é por isso que a Revolução Marginalista consolidou o entendimento mecânico do sistema econômico, baseando-se no princípio da conservação de energia.

A questão central proposta pelos marginalistas era encontrar a combinação de bens e serviços que maximize a utilidade dos agentes dada a restrição de recursos. Para Jevons (1996), as

diferenças nas utilidades individuais criam um tipo de energia potencial para o processo de troca, de maneira que o conceito de valor para a Economia corresponderia a noção de energia para a Mecânica. Nesse paradigma, os fluxos de matéria e energia no processo econômico não é quantitativa e qualitativamente avaliado. Entretanto, Georgescu-Roegen, como discípulo de Joseph Schumpeter em Harvard, criticou a forma padrão Neoclássica da Teoria da Produção que rompeu a análise do processo de produção como a abordagem dos Clássicos.

Para Georgescu-Roegen, em seu artigo intitulado *Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production* de 1972, a teoria da produção marginalista encontrou base intelectual na alocação de puro simbolismo na classificação tradicional dos fatores de produção, simbolismo iniciado com o conceito de função de produção em Philip H. Wicksteed. Ele associa o produto como função dos fatores conforme se ilustra na equação 03, de maneira que o produto Y é o mesmo que “output” e os fatores de produção K, L, T são tidos como “input”, em que Y representa a quantidade de produção, K o fator capital, L a terra e T o fator trabalho.

$$Y = f(K, L, T) \tag{03}$$

Como destaca Georgescu-Roegen (1972), o uso desse simbolismo tem sido a essência da ciência desde que a humanidade começou a organizar o conhecimento em torno da realidade em nossa volta, contudo, se o simbolismo não tiver uma interpretação operacional para variável, inevitavelmente ele distanciará o pesquisador da tarefa científica de aproximar as ideias desenvolvidas à realidade prática. Portanto, negligenciar o esclarecimento sobre o conceito da função de produção em economia apenas dificulta o nosso entendimento da dinâmica do processo.

Cechin e Veiga (2010) destacam que, após contribuir inicialmente para a teoria do consumidor, Georgescu-Roegen se concentrou no estudo da teoria da produção. Cechin (2008) indica que o primeiro artigo em economia de Roegen foi intitulado *Note on a Proposition of Pareto* publicado em 1935 no *Quarterly Journal of Economics*, em que se discute a medição da utilidade, expressão que está relacionada aos trabalhos de Vilfredo Pareto sobre a satisfação gerada por uma necessidade ou desejo individual.

No seu artigo de 1936 intitulado de *The Pure Theory of Consumer Behavior*, Georgescu-Roegen formula o postulado de consistência das curvas de indiferença, mostrando que nem a vontade e

nem a expectativa dos agentes são mensuráveis e que as demonstrações que aparentemente se mostravam sólidas derivam de uma “falácia ordinalista”. Assim, o ordenamento da preferência não significaria necessariamente uma medida de preferência do consumidor. No mesmo artigo Georgescu também elucidou o problema da integrabilidade iniciada em Pareto, sobre se poderia afirmar que o consumidor é um agente otimizador que maximiza alguma função utilidade, garantindo assim que a teoria do consumidor fosse coerente com os pressupostos e a realidade observável (ZAMAGNI, 1999 apud CECHIN, 2008).

As contribuições acima descritas passam a embasar a ideia da “preferência revelada” proposta em Paul Samuelson (1938), onde a teoria da utilidade foi substituída pela adoção de um conjunto de regras lógicas com o objetivo de ordenar as preferências. Através dessas regras, a teoria do comportamento do consumidor pôde-se consolidar. Até então, a noção de utilidade apresentava deficiência na profundidade, sendo ela incapaz de ser observada ou mensurada. Samuelson contornou esse problema, não necessário olhar dentro da cabeça das pessoas e mensurar a utilidade diretamente, pois desde que elas fossem lógicas e consistentes no seu comportamento, a preferência se revelaria em termos das escolhas.

Georgescu retornou a Romênia, mesmo diante de toda a contribuição à teoria do consumidor nos Estados Unidos, e percebeu a diferença entre a teoria econômica clássica e neoclássica americana e a realidade econômica de países com instituições não capitalistas, tendo dedicado dois trabalhos: *Economic Theory and Agrarian Economics*, de 1960, Georgescu analisa a teoria econômica segundo a abordagem capitalista e sua aplicabilidade noutros sistemas econômicos, concluindo que, restrições de localidade e tempo histórico mostraram que a teoria não se mostrava apropriada às outras regiões.

Quanto à teoria da produção, Georgescu-Roegen (1972) observa que os modelos de produção não levam em consideração o fator tempo no qual os fatores estão submetidos. Para ele, o fator tempo deve ser adicionado à abordagem da produção, tal que a função de produção passasse a assumir a forma funcional considerando os inputs: fator terra retratado por  $L(t)$ , o capital  $K(t)$ , o trabalho  $H(t)$ , os fluxos do produto  $Q(t)$ , os recursos naturais  $R(t)$ , artigos manufaturados  $I(t)$ , materiais de manutenção  $M(t)$  e os resíduos do processo de produção  $W(t)$ , esses insumos descreveriam a produção  $Y(t)$  no tempo como mostra equação 04.

$$Y(t) = f\{Q(t), R(t), I(t), M(t), W(t), L(t), K(t), H(t)\} \quad (04)$$

Para Georgescu-Roegen (1972), o produto  $Y(t)$  é função de um conjunto de outras funções relacionadas ao intervalo de tempo nos quais participam os fatores de produção. Além disso, os insumos não poderiam ser tratados da mesma forma, o que levaria a representação simplificada da atividade econômica, confundindo variáveis de fluxos com variáveis de estoque. Em se tratando da economia de energia e meio ambiente, exemplos de fluxo no processo produtivo é a própria energia solar dentre inúmeros insumos, incluindo o fluxo de resíduos não considerados da forma convencional (CECHIN; VEIGA, 2010).

Por outro lado, a categoria de fatores de fundo é aquela que não sofre mudanças no processo produtivo. Como descrito por Georgescu-Roegen (1972) um fundo é um fator no qual a sua eficiência econômica é mantida mesmo sob vários processos, à exemplo do capital, terra e força de trabalho. Na visão dele, fundos são diferentes de estoques, apesar de uma máquina ser considerada um estoque, ela não tem o mesmo sentido que um estoque de carvão, sendo, portanto, mais seguro chamá-la de fundo de serviços. O uso de um fundo necessita de tempo de duração, para ele a grande restrição na abordagem neoclássica da produção está na redução do problema da produção a uma questão alocativa, tratando todos os fatores como se fossem de natureza semelhante, podendo ocorrer a substituição sem limites entre eles, ou seja, o fluxo dos recursos naturais poderia ser indefinidamente substituído por capital.

Cechin (2008) mostra que Georgescu era favorável à Alfred Marshall quando este definiu a economia como o estudo da Humanidade nos negócios ordinários, contrariando à visão de Lionel Robbins de que o escopo da economia seria o estudo da alocação dos meios para satisfazer dados fins. Dessa forma, ele não se identificava com a ideia dos que estudavam o processo econômico na visão restritiva e que ignoravam questões como novos meios e novas relações econômicas. Para manter a atividade econômica, quantidades de matéria e energia são necessárias. Porém, não é qualquer forma de energia, mas, apenas a parte capaz de realizar trabalho. Esse tipo de energia é denominado de energia de baixa entropia, conceito que derivou dos estudos no campo da Termodinâmica e que distingue energia útil de energia inútil.

A relação existente entre os recursos energéticos de baixa entropia e valor econômico, é que esses recursos são escassos, decrescem de modo contínuo e inevitável. Uma quantidade de recursos de baixa entropia não pode ser usada mais de uma vez, porque a Lei da Entropia assegura a impossibilidade de uso da mesma energia indefinidamente. Por sua vez, parte da literatura econômica parece acreditar na possibilidade de uso contínuo da mesma forma de

energia, uma vez que, qualifica o processo econômico como um fluxo circular, cuja a dinâmica ocorre substituindo simplesmente recursos de baixa entropia por capital. Georgescu-Roegen (1971), destacou o momento histórico do pensamento econômico onde, enquanto o dogma da mecânica perde a supremacia dentro da física, teve os padrões estabelecidos na escola Neoclássica, “*a mecânica da utilidade e auto interesse*” como sintetizado em Jevons (1996).

O estudo da economia ainda continua a tratar os assuntos econômicos sob dogmas da mecânica. Os livros textos representam o processo econômico como um fluxo circular, um movimento entre a produção e o consumo consistindo num sistema fechado. Como destacado por Georgescu-Roegen (1971), a representação do processo econômico como um sistema autossustentável é referência também nos economistas marxistas, que adotaram o diagrama de reprodução segundo a argumentação de William Petty que coloca a natureza no ápice de todo o sistema de produção.

No artigo *The Entropy Law and The Economic Problem* a energia é dividida em dois estados qualitativos, a energia livre, no qual se tem quase total controle, e energia indisponível ou limitada na qual não há possibilidade de uso. Como forma de ilustrar esses estados dar-se o exemplo da energia química de um carvão que é considerada energia livre porque pode ser transformada em calor ou trabalho mecânico. Entretanto, a enorme quantidade de energia contida nas águas do mar, é tida como energia limitada, tornando necessário o uso de energia livre para a geração de força de algum combustível ou do vento para a navegação (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

Quando um pedaço de carvão é queimado a energia livre inicial se dissipa na forma de calor, fumaça e cinzas, que não podem ser reaproveitadas. Os cubos de gelo num copo de água uma vez derretidos não retornam à forma original, portanto, de forma geral, a energia livre de um sistema fechado degrada continuamente na forma de energia limitada. A Entropia, que afirma que a entropia de um sistema (quantidade de energia limitada) fechado aumenta continuamente no sentido de desordem, como o calor do gelo derretido se dissipa no sistema. Para contornar o problema da entropia sugerido em Georgescu a solução consistia na busca de meios tecnológicos de transformar a energia originária da radiação solar em potência para o funcionamento de máquinas e capital produtivo em geral.

A visão de Georgescu sobre a relação entre economia e natureza permite-lhe uma avaliação crítica dos mitos em termos de Ecologia como salvação, porque as sociedades futuras necessitarão do suporte de recursos naturais para propiciar alguma qualidade de vida. A forma como a sociedade organizou a estrutura necessária para a obtenção de energia criou inúmeras restrições à sustentabilidade do sistema de produção e consumo e a própria sustentabilidade humana. Mesmo diante de toda a preocupação com questões ambientais, que antecipam a possibilidade de utilização da agricultura para fins energéticos.

Cechin (2008) comenta que Georgescu não foi defensor do anti-desenvolvimento, do anti-progresso ou da anti-tecnologia, pois ele já alertava que a solução para o da entropia era a adoção de uma iniciativa tecnológica que viabilizasse diretamente o uso da energia solar. Além disso, ele não foi ingênuo, sabia das dificuldades do sistema econômico e o conforto material, concluindo, portanto, que o destino da humanidade não alcançaria a sustentabilidade de longo prazo. Nas palavras de Georgescu em *Energy and Economic Myths*, 1972, ressaltam-se:

*[...] But one thought has persisted in my mind ever since I became interested in the entropic nature of the economic process. Will mankind listen to any program that implies a constriction of its addiction to exosomatic comfort? Perhaps, the destiny of man is to have a short, but fiery, exciting and extravagant life rather than a long, uneventful and vegetative existence. Let other species—the amoebas, for example—which have no spiritual ambitions inherit an earth still bathed in plenty of sunshine (GEORGESCU, 1972).*

Do ponto de vista da utilização industrial, a energia solar tem uma imensa desvantagem em comparação com a energia de origem terrestre, não é disponível numa forma concentrada, o que permite obter enorme quantidade de trabalho. Por outro lado, ela é livre de emissões, vantagem única e incomensurável em relação aos nocivos poluentes produzidos pela utilização das fontes terrestres. Além disso, a sobrevivência de todas as espécies na terra depende, direta ou indiretamente, da radiação solar, essa dependência está relacionada à utilização de meios exomáticos<sup>2</sup> e da subordinação aos recursos minerais. Assim, o dilema da sociedade visa a

---

<sup>2</sup> Instrumentos produzidos pelos homens, contudo, não pertencem a seu corpo. A evolução exomática representou mudanças fundamentais e irrevogáveis para a espécie humana. (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 25)



realização de escolhas que garantam a subsistência da geração atual e futura, o que levanta uma dimensão ética.

Georgescu-Roegen não se mostrou fatalista e muito menos preocupado em obter soluções milagrosas, ele não acreditava que o progresso técnico e o mecanismo de preços por si só, poderiam ser a solução ao dilema economia e meio ambiente. Para ele seria ingênuo propor uma completa renúncia dos confortos industriais da evolução exomática, mas reconhece pelo menos alguns pontos que podem ser incluídos num programa Bioeconômico mínimo, como a renúncia de todos os instrumentos de guerra, não apenas a guerra em si, liberando força produtiva para ajudar nações subdesenvolvidas, além da prevenção de desperdícios, consequência do consumismo resultante da contínua geração de necessidades.

Como sustentam Cechin e Veiga (2010) tudo indica que a nova abordagem de Georgescu representa uma revolução no campo da economia, pois nenhuma outra escola de pensamento considerava a economia como um sistema materialmente aberto, por isso, essa nova visão representou o rompimento da abordagem da economia convencional com o pensamento econômico-ecológico. Essas contribuições no plano econômico-ecológico influenciaram o desenvolvimento de novos ramos da economia, e se tornaram essenciais para a demarcação da Economia-Ecológica e Economia Ambiental, com ambos preocupados com a depleção de recursos naturais (esgotamento) e poluição são inevitáveis, buscando, por conseguinte, a sustentabilidade na gestão de recursos.

Também teve lugar no desenvolvimento de novos ramos na economia as correntes Evolucionária e da Complexidade, influenciadas, em parte, pelos trabalhos de Georgescu. Na abordagem Evolucionária o enfoque é a análise e os impactos da mudança do conhecimento, das preferências, das tecnologias e das instituições nos processos históricos, para essa corrente não se trata de resolver um problema de alocação ótima de recursos. No âmbito da Economia da Complexidade, de acordo com Beinhocker (2006), um dos objetivos dessa escola é o entendimento do funcionamento auto organizado da economia e o motivo da aparente relação entre a complexidade de uma economia e sua riqueza (CECHIN, 2008).

De acordo com Daly e Farley (2011), tentativas de integração da economia e ecologia obedecem a três estratégias básicas: a primeira, é de que o imperialismo econômico que busca a expansão fronteira econômica nos limites do ecossistema, tem por objetivo a completa internalização dos

custos e benefícios externos no sistema de preços. A segunda, tem por base o reducionismo ecológico que mostra que a sociedade humana não é imune às leis da natureza, inferindo que as ações do sistema são redutíveis às leis da natureza. Na terceira, o subsistema do “Steady-State”, não elimina e nem expande os limites do subsistema, afirma que a escala do subsistema humano definido pelos limites ambientais tem um ótimo e que a produtividade econômica e ambiental conduz à sustentabilidade.

Finalmente, uma outra ideia que resultou de estudos ambientais foi a adoção do conceito de decrescimento, que foi uma crítica radical ao economicismo, à ideologia do crescimento per si e até mesmo do desenvolvimento sustentável. O crescimento infinito num mundo finito mostra-se totalmente incompatível. Para Latouche (2009), a palavra de ordem “decrescimento” tem como principal meta enfatizar o abandono do objetivo de crescimento sem limites, o decrescimento não é sinônimo de crescimento negativo.

#### **4 DIMENSÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL EM NÍVEL SETORIAL: ATIVIDADES MINERAL NÃO-METÁLICOS E METALÚRGICO**

Nesta seção serão destacados a importância dos estudos de cenários para a construções de trajetórias plausíveis sobre o futuro, tratando-se de ferramenta valiosa para o auxílio na tomada de decisão de forma eficiente. Em seguida, será tratado da análise do instrumental do insumo-produto para o estudo de questões ambientais e energéticas. Na penúltima seção será apresentada a metodologia usada para o desenvolvimento dos cenários hipotéticos de consumo energético e impactos ambientais e, por fim, serão analisados os resultados dos cenários construídos.

##### **4.1 RELEVÂNCIA DA COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS PARA ANÁLISES CONJUNTURAIS E ENERGÉTICAS**

Historicamente, atividade humana mostrou-se bem-sucedida no processo de adaptação à natureza e na superação de restrições impostos pelo meio. A espécie humana desenvolveu a capacidade de explorar a terra contornando os limites da fase primária de extrativismo e caça, tendo dado um salto qualitativo para a sociedade industrial com a adaptação potencial de formas de utilização concentrada de energias.

Como salientam Costanza, *et al.* (1997), a humanidade está diante de um período crucial de sua longa história, as atividades de produção tornaram-se tão complexas ao ponto de afetar significativamente o sistema de reprodução econômica e social. O conceito de crescimento econômico aguçou ainda mais as restrições ambientais, pois, é baseado no simples esforço de elevar o produto econômico e a renda. Atualmente, deixou de ser suficiente apenas o crescimento quantitativo, mas torna necessária a melhoria qualitativa dessa elevação do produto, além de sua distribuição social. Para esse efeito, a política econômica deve considerar a articulação entre a economia e meio ambiente, observando a interrelação e interdependência entre diferentes dimensões anteriormente supramencionadas.

Common e Stagl (2005) destacam que as atividades básicas em um sistema econômico se fundamentam no plano de consumo, produção e investimento. O consumo visa a satisfação de necessidades dos agentes e da sociedade em termos de bens e serviços. Caracteriza a parte final da estimação de bens e serviços destinados ao consumo e a consequente geração de resíduos.

Por outro lado, as organizações produtivas, no processo de geração de bens e serviços fazem uso de insumos diversos, com implicações em termos de emissão de resíduos e degradação ambiental.

Neste sentido que ao longo das últimas décadas tornou-se geral o reconhecimento de que o meio ambiente é fundamental ao suporte à atividade humana, proporcionando valiosos debates sobre a questão ambiental. Essas preocupações se materializaram em diferentes pesquisas que culminaram com a elaboração do relatório “Os Limites do Crescimento”, em que o tema central aborda problemas como desenvolvimento, poluição, saneamento, população e meio ambiente. Em 2012 a conferência Rio +20 destacou a importância do desenvolvimento econômico sustentável, definindo objetivos setoriais diversos com vista a melhorar o padrão global de gestão ambiental.

Atualmente, o IPCC, grupo de estudos científicos de natureza intergovernamental sob a égide das Nações Unidas, é uma das organizações que mais se dedicam ao estudo sobre mudanças climáticas, assunto central da agenda global. A agenda de mudanças climáticas envolve uma diversidade de aspectos ambientais em nível micro e macro, com destaque para problemas de urbanização, ocupação do solo, expansão de fronteira agrícola e, sobretudo, a estrutura industrial que, em regra geral, é intensiva no uso de energia, esta última questão, considerada fundamental no plano de uso de recursos energéticos e de sustentabilidade e mudanças climáticas.

Hall (2017) define EROI<sup>3</sup> como razão do retorno de energia ao sistema econômico comparado à energia utilizada para obter essa energia. Refere-se à taxa de energia necessária por unidade investida para produzir essa energia, com as unidades dadas em Joules ou em barris (de petróleo). Trata-se de um conceito físico que tem inúmeras implicações econômicas e pode ser considerado o componente determinante de análises de eficiência energética. A densidade energética é uma variável entendida como quantidade de energia por unidade de massa de algum tipo de combustível. Assim, um quilograma de petróleo contém aproximadamente três vezes mais energia que um quilograma de madeira, tendo isso efeito direto nos cálculos do EROI. Altas densidades energéticas resultam em retornos elevados, assim, isoladamente, nenhuma fonte renovável representa a solução definitiva de problemas energéticos.

---

<sup>3</sup> EROI significa Energy Return On Investment. Em tradução livre, Retorno Sobre Investimento Energético.

Estudos sobre EROI mostram aumentos na razão correspondente quando um novo recurso é descoberto, seguindo de ponto de máximo e depois de declínio, quando os preços e os esforços necessários tendem a crescer. Estudos existentes em matéria do EROI mostram valores diferentes para diversas fontes de energia, os combustíveis comumente usados tendem a assumir valores do EROI maiores. Por exemplo, nos sistemas de geração de energia elétrica, a fonte de energia com maior retorno médio sobre o investimento é o sistema de geração hidrelétrica, seguida dos sistemas eólicos, e nuclear. Quando a análise é orientada aos combustíveis usados na queima, o carvão, seguido do petróleo e do gás natural mostram-se, nessa ordem, as fontes energéticas com maior EROI (HALL, 2017).

Como não se tem tecnologias disponíveis e fontes renováveis com a mesma densidade energética das fósseis mais usadas atualmente, é importante analisar os impactos da variação na demanda em termos de consumo de energia e da emissão de poluentes na economia brasileira. A literatura cita diversos tipos de técnicas e abordagens que são usados para analisar a tendência. Uma delas se baseia na construção de cenários para avaliar a eficácia do planejamento estratégico em matéria de recursos energéticos setoriais, e analisar possíveis trajetórias de cada variável. A construção de cenários faculta a oportunidade analítica para ilustrar diferentes combinações no contexto de futuras alternativas de uso por fontes de energia e por setores.

Como destaca Ghanadan e Koomey (2005), o desenvolvimento do método de construção de cenários resultou na definição de trajetórias plausíveis sobre o futuro, oferecendo um processo de decisão eficiente e sustentável. O grupo estratégico de formulação de políticas com base em cenários da Shell ganhou notoriedade nesta área, fazendo questionamentos do tipo “e se?”, para explorar cenários alternativos sobre o futuro e daí concluir sobre tendências de longo prazo da economia, nos aspectos de oferta e demanda energéticas, mudanças geopolíticas, transformação social, bem como os fatores determinantes de mudanças. Ajudaram com isso a criar visões sobre a dinâmica futura.

Nas pesquisas em matéria de energia, a construção de cenários é usada para caracterizar um conjunto de condições esperadas ou quantificar ganhos potenciais de políticas e tecnologias. Desse modo, o método do uso de cenários adotado pelo IPCC tem um papel relevante nos debates científico e político sobre a gestão de recursos energéticos e suas implicações setoriais na economia. Cenários são diferentes abordagens técnicas para a previsão da produção e

consumo. Explora um conjunto de possíveis implicações com o objetivo de captar efeitos de incerteza e identificar as trajetórias prováveis.

Modelos de previsão são mais efetivos quando a disponibilidade de informações é extensiva e a dinâmica do fenômeno estudado é bem conhecida. Entretanto, quando as variáveis não são bem definidas e as interrelações entre os fatores são menos estáveis e imprevisíveis, modelos de previsão perdem a capacidade de caracterizar o processo de mudança. O desenvolvimento e análise em cenários tem a finalidade de explorar sistemas energéticos futuros sob diferentes perspectivas (GHANADAN; KOOMEY, 2005).

A vantagem dessa abordagem de cenários reside na possibilidade de capturar mudanças estruturais explícitas ao considerar pequenas ou grandes alterações na trajetória de desenvolvimento. A construção de cenários envolve etapas como identificação, priorização e negociação dos elementos relevantes e incertos dentro do sistema energético em determinado momento. Busca-se um quadro de alternativas para a apreciação dos resultados em relação ao ponto de referência, com enfoque na definição do universo de interações de natureza energética, ambiental e econômica. Dessa forma, o impacto sobre variáveis energéticas, ambientais e econômicas, e mudanças na demanda final por produtos em setores e indústrias específicas da economia brasileira seria melhor compreendida.

#### 4.2 APLICAÇÃO DO INSUMO-PRODUTO PARA ANÁLISE DE QUESTÕES ENERGÉTICAS E AMBIENTAIS

O estudo sobre a oferta e a demanda energética sempre mostrou ser de grande relevância na economia, sobretudo no debate em torno da conservação ambiental e na necessidade de redução do consumo de combustíveis fósseis, diminuindo a emissão de gases poluentes, num cenário de esgotamento das fontes de energia não renováveis. Por isso, o estudo sobre o comportamento do setor energético não pode ser conduzido de forma isolada, a energia é insumo importante para realização da atividade produtiva e para efeitos de políticas energéticas, o controle e monitoramento da oferta e demanda energética é um dos pilares da estabilidade econômica, nomeadamente quando se leva em conta o viés ambiental associado à intensidade de uso de energia.

Perobelli; *et al.*, (2010) destacam o uso do instrumento de insumo-produto para analisar as interdependências entre setores da economia em dada região ou país, suas implicações em matéria de crescimento. O modelo permite avaliar o processo de crescimento e produção em determinada localidade e seus impactos regional e inter-regional. A análise de insumo-produto também se mostra útil para lidar com impactos ambientais dessas relações intersetoriais, com seus diversos encadeamentos hierárquicos de ramificações.

Leontief (1986) qualifica a abordagem de insumo-produto como método de quantificação sistemática das interrelações mútuas entre os setores de atividade dentro de um complexo sistema de trocas econômicas, tal estrutura pode ser aplicada em nível de local, regional ou internacional. A estrutura produtiva de cada setor econômico é representada por um vetor de coeficientes estruturais que descrevem em termos quantitativos a relação entre os insumos ofertados por um setor e a demanda desses mesmos insumos noutros setores, de maneira a representar a interdependência das trocas entre os setores da economia que é descrita como um sistema de equações lineares, expressando os saldos entre o total dos insumos e a produção agregada de cada bem e serviço em dado período específico. O sistema de equações (05) é uma ilustração do modelo, onde o termo  $Z_{ij}$  representa as transações interindustrial do setor  $i$  para o setor  $j$ ,  $x_i$  simboliza o valor da produção e  $f_i$  a demanda final de cada produto ou serviço produzido numa área econômica particular.

$$\begin{aligned} x_1 &= z_{11} + z_{12} + z_{13} + \dots + z_{1j} + f_1 \\ &\vdots \\ x_i &= z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + \dots + z_{ij} + f_i \\ &\vdots \\ x_n &= z_{n1} + z_{n2} + z_{n3} + \dots + z_{nj} + f_n \end{aligned} \quad (05)$$

O sistema (05) pode ser estruturado matricialmente para adquirir a forma (06) abaixo, em que  $x_{(nx1)}$  é o vetor que representa o produto final dos bens e serviços,  $Z_{(n \times m)}$  é a matriz de dimensão bens e serviços por setor econômico e  $f_{(nx1)}$  é a coluna para a demanda final dos bens e serviços, tomados em valores monetários:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \dots & z_{nj} \end{bmatrix} \text{ e } \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (06)$$

$$x = Zi + f \quad (07)$$

O sistema de equação inserida em (05) pode ser reescrita como uma notação matricial formulada em (07), em que  $\mathbf{i}$  representa um vetor coluna de 1's (de dimensão apropriada, nesse exemplo  $j$ ) e sua função é somar os elementos das linhas de  $\mathbf{Z}$ . O modelo de insumo-produto retrata as relações econômicas em diferentes níveis de complexidade, formando um conjunto de  $n$  equações lineares de  $n$  incógnitas, em que, a demanda de dado setor  $j$  por insumos originados de outros setores, em relação a quantidade de bens produzidos por esse mesmo setor  $j$  e a demanda final. Assim, a matriz é uma estrutura útil para delinear a dinâmica setorial do uso de energia e pode ser estendido para a análise da poluição e consumo de energia, uma vez que, são variáveis ligadas ao fluxo de atividade econômica, impactando diretamente nas interrelações industriais (MONTROYA; PASQUAL, 2015).

Miller e Blair (2009) afirmam que, desde meados da década de 60, a estrutura analítica de insumo-produto foi ampliada para considerar a mensuração da geração de poluição associada à atividade interindustrial e investigar os fluxos de energia associados à produção. Destacam também que Leontief contribuiu com extensões metodológicas essenciais à aplicabilidade do método. Segundo Miller e Blair (2009), podem ser considerados três tipos básicos de modelos de insumo-produto com extensão ambiental:

1. Modelos Generalizados de Insumo-Produto: formados com a ampliação da matriz dos coeficientes técnicos adicionais para linhas e/ou colunas que refletem a geração de poluição de atividades econômicas;
2. Modelos Econômico-Ecológicos: resultam da extensão da estrutura interindustrial para incluir setores de ecossistemas adicionais;
3. Modelos Produto Por Setor: expressam fatores ambientais, tais como insumos na matriz produto por setor de insumo-produto.

No presente trabalho de pesquisa destacaremos os modelos descritos pela primeira categoria, dada à importância da análise das implicações de mudanças em variáveis econômicas sobre variáveis ambientais. É necessário um exame compreensivo das variedades dos fatores econômicas, como agregados do emprego, poluição, e consumo de energia, que resultaram da variação da demanda final ou do nível do produto setorial. Uma abordagem possível para contabilizar a geração de poluentes emitidos da atividade interindustrial consiste em esboçar



uma matriz do produto de poluição ou dos coeficientes de impactos diretos, onde cada elemento da matriz  $D^p = [d_{kj}^p]$  representa a quantidade de poluentes tipo  $k$ , por exemplo, dióxido de carbono, gerado por valor monetário do produto da indústria  $j$ , a intensidade de poluição associado a dado vetor de produção total, pode ser representada pela equação (08).

$$x^{p*} = D^p x \quad (08)$$

Onde  $x^{p*}$  é o vetor de níveis de poluição. Logo, ao adicionar ao modelo tradicional de Leontief,  $x = Lf$ , com  $L = (I - A)^{-1}$ , consequentemente, obtém a equação (08) que pode ser reescrita na forma  $x^{p*}$  para facilitar a computação como função da demanda final, que neste caso representa o total de poluição por tipo gerado direta e indiretamente na economia. A correspondente demanda final representada pela equação (09) mostra, de forma direta e indireta, como a matriz dos coeficientes de impactos ambientais (dentro dos colchetes), se relaciona com os impactos da poluição por valor monetário da demanda final na economia, logo:

$$x^{p*} = [D^p L] f \quad (09)$$

Para Miller e Blair (2009), a forma alternativa sugerida para a estrutura analisada em (08) e (09) pode ser ampliada para corresponder, virtualmente, a qualquer fator associado à atividade interindustrial desde que variem linearmente com a produção. Por exemplo, o uso de energia e a divergência do emprego, outras duas matrizes de impacto, denominadas de  $D^e$  e  $D^l$ , respectivamente. Assim, a nova matriz dos coeficientes de impacto direto é reescrita concatenando as submatrizes de impactos dos agregados analisados, tal forma que  $x^* = Dx$  capta o vetor de todos os impactos associados a dado nível de demanda.

$$D = \begin{bmatrix} D^e \\ D^p \\ D^l \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$x^* = \begin{bmatrix} x^{e*} \\ x^{p*} \\ x^{l*} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Além da estrutura desenvolvida até o momento e que resultou nas formulações (10) e (11) há ainda a possibilidade de agregação desses arranjos matriciais para internalizar os impactos

representados pelo vetor  $\mathbf{X}^*$ , que são as demandas finais. Através de dois procedimentos gerando dois novos vetores,  $\tilde{\mathbf{X}}$  que se relaciona ao vetor dos impactos totais com a demanda final, enquanto o novo vetor  $\bar{\mathbf{X}}$  será o resultado da ordenação dos efeitos diretos nas relações intersetoriais e do produto final. Nesses modelos,  $\mathbf{X}$  representa o nível do produto,  $\mathbf{F}$  é a demanda final,  $\mathbf{I}$  a matriz identidade,  $\mathbf{A}$  a matriz dos coeficientes técnicos e  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ , a matriz dos requerimentos totais, ou também chamada de matriz inversa de Leontief. A especificação de  $\tilde{\mathbf{X}}$  e  $\bar{\mathbf{X}}$  é dada pelas equações (12) e (13). Outra forma de representação consiste em reescrever  $\mathbf{X}^*$  como  $\mathbf{X}^* = [\mathbf{DL}]\mathbf{F}$ , uma vez que  $\mathbf{X} = \mathbf{LF}$ , mostrando as diversas opções que esse tipo de arranjo matricial permite desenvolver.

$$\tilde{\mathbf{X}} = \mathbf{G}\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}^* \\ \mathbf{F} \end{bmatrix}, \text{ onde } \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{D} \\ (\mathbf{I} - \mathbf{A}) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\bar{\mathbf{X}} = \mathbf{H}\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}^* \\ \mathbf{X} \end{bmatrix}, \text{ onde } \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{D}^* \\ \mathbf{L} \end{bmatrix} \text{ e } \mathbf{D}^* = \mathbf{DL} \quad (13)$$

As formulações representadas em (12) e (13) são importantes a depender do tipo de análise, pois, de acordo com Miller e Blair (2009), a expressão (12) capta a análise de impacto, sendo a forma mais usada em aplicações com o método de insumo-produto onde a análise está centrada na produção industrial e nos fatores associados à atividade interindustrial, como consumo de energia e poluição. Já a equação (13) expressa a forma de planejamento, as vantagens de sua utilização são observadas na otimização de um ou mais objetivos implícitos ao modelo tradicional de insumo-produto. Contudo, para o presente trabalho a Análise de Impacto se mostra mais adequada, uma vez que, possibilita a exploração do comportamento das variáveis energéticas, ambientais e de emprego vinculados diretamente às atividades interindustriais.

#### 4.3 METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS DE IMPACTO ENERGÉTICO-AMBIENTAL

Conforme apontado por Leontief (1986), a elaboração de cenários é um método de implicação prática de insumo-produto, comparando as implicações resultantes de cada cenário com base num conjunto de suposições sobre o nível e a composição da demanda final, nas mudanças na magnitude dos coeficientes técnicos ou a combinação de ambos. Para exemplificar o uso dessa abordagem, recorre-se ao exemplo do governo norte-americano (Período: Franklin D.

Roosevelt) que preconizava investigar o provável efeito sobre a economia americana da demanda futura de energia e repercussões em termos de substituição de petróleo por carvão ou por energia nuclear. Trata-se, pois, de uma abordagem de cenários. Portanto, a construção de cenários propostos no presente trabalho fará uso da matriz de insumo-produto da economia brasileira referente ao ano de 2010, construída a partir dos dados das tabelas de recursos e usos disponibilizadas pelo IBGE, com destaque para dois setores: Metalurgia e Minerais Não-Metálicos.

O Anuário Estatístico do Setor de Minerais Não-Metálicos destaca que esse segmento está situado pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) na seção C, Indústrias de Transformação, Divisão 23, e integram atividades econômicas relevantes. Fazem parte de atividades dos não-metálicos, o cimento, cerâmica vermelha e de revestimento, coloríficos, louças sanitárias, cal, gesso, vidros, concreto, rochas ornamentais, atividades de produção de fertilizantes, louça de mesa e artigos de joalheria. Dar-se-á destaque apenas aos produtos minerais não-metálicos compostos pela produção de vidro, cimento, produtos cerâmicos, cal e gesso.

Conforme o Anuário Estatístico do Setor de Minerais Não-Metálicos, a soma de todos os subsetores não-metálicos em relação ao PIB setorial no ano de 2015 totalizou US\$ 11,31 bilhões, valores que representam 2,53% de participação no setor Industrial e 0,64% do PIB brasileiro. No mesmo ano, foram registrados 427.400 empregos e o consumo energético do setor representou 8,3% do Industrial, 3,6% do total do país. Para a produção do cimento em 2015 foram consumidos  $4.750 \times 10^3$  tep e na produção de cerâmicas  $4.614 \times 10^3$  tep, destacando apenas o consumo final de energia elétrica, o setor dos não-metálicos correspondeu a 4,87% e 2,13% do consumo do setor Industrial e do Brasil, respectivamente. Em 2015, o setor não-metálico emitiu 30,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> segundo o Sistema de Estimativa de Emissão dos Gases de Efeito Estufa (SEEG), o que representou 36,7% em relação a produção industrial.

Por sua vez, o setor Metalúrgico, classificado pelo CNAE na seção C, como Indústrias de Transformação, ele é dividido em cinco grupos: a Produção de Ferro-Gusa e de Ferroligas, Siderurgia, Produção de Tubos de Aço, exceto sem costura, Metalurgia dos Metais Não Ferrosos (cobre, por exemplo) e Fundição. De acordo com o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, esse segmento tem expressiva importância no cenário econômico brasileiro, com extensa cadeia produtiva de segmentos ligados à metalurgia, usinagem e produção de

manufaturados metálicos, sendo também a base de outras atividades produtivas no país, como a automobilística, construção civil e de bens de capital. Segundo o anuário do setor, em 2015 o PIB da metalurgia totalizou cerca de US\$ 23,6 bilhões, o que representou 1,5% do PIB brasileiro e 6,0% da Indústria. Em relação ao consumo final de energia, a metalurgia representou 9,0% do consumo total nacional. Quanto às emissões de CO<sub>2</sub>, o setor emitiu mais de 48 milhões de toneladas, o equivalente a 58,7% do total em processos industriais no país.

Como se observa, esses dois setores têm grande impacto na dinâmica econômica do país e seus efeitos repercutem de forma acentuada também em termos energéticos e ambientais. Para obter a matriz de impacto do consumo de energia, os dados secundários do Balanço Energético Nacional (BEN) foram utilizados, destacando-se as fontes de maior consumo final de energia, organizando-as em cinco categorias: Gás Natural; Biomassa (formado por lenha, bagaço de cana e carvão vegetal) e Biocombustível; Derivados de Petróleo (óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás de coqueria e carvão vapor) e Eletricidade. Essas cinco fontes de energia se referem aos setores destacados em 2010, ano em que a matriz de insumo-produto foi calculada para o Brasil.

As emissões de poluentes foram obtidas do SEEG, uma iniciativa do Observatório do Clima que compreende a produção de estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. No presente estudo serão destacados três gases, o CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e NH<sub>4</sub>. O monóxido de carbono é um dos principais responsáveis pelo efeito estufa e, conseqüentemente, pelo aquecimento global. O óxido nitroso reage com o ozônio na estratosfera, sendo um dos principais gases do efeito estufa, tendo na agricultura o principal setor de emissão desse gás através do cultivo do solo, o uso de fertilizantes nitrogenados, e o tratamento de resíduos animais.

Tabela 1 - Gases de efeito estufa e valor correspondente para o GWP

Gás	Força acumulada durante 20 anos	Força acumulada durante 100 anos
CO <sub>2</sub>	1	1
CH <sub>4</sub>	84	28
N <sub>2</sub> O	264	265
CF <sub>4</sub>	4880	6630
HFC-152 <sup>a</sup> see	506	138

Fonte: IPCC – Quinto Relatório de Avaliação, 2014

O metano é outro gás que contribui para o aquecimento global, mesmo com menor tempo de residência na atmosfera, quando comparado aos outros gases, tem grande potencial de aquecimento. Os valores foram obtidos em toneladas, mas para efeitos de comparação, foram transformados numa mesma unidade, utilizado para esse fim o conceito de Potencial de Aquecimento Global – GWP, da sigla inglesa *Global Warming Potential*. O GWP é usado para comparar componentes com propriedades físicas diferentes. Usa-se a unidade dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq), ou GWP<sub>100</sub>, medida relativa que compara os impactos de diferentes gases a mesma quantidade de dióxido de carbono (cujo potencial é definido como 1) acumulada durante 100 anos, com valores sumarizados na tabela 1.

Quanto aos dados de emprego, estes foram compilados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), que levou em consideração a agregação usada para a construção da matriz insumo-produto. Os setores da atividade econômica brasileira foram agregados em 09 grandes grupos para compatibilizar com as informações sobre consumo de energia e das emissões de poluentes. O Setor I: incluiu a agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura; Setor II: compreendeu as indústrias extrativas, como extração de carvão mineral, petróleo e minerais metálicos; o Setor III: compõe-se de parte das indústrias de transformação, incluindo as fábricas de produtos alimentícios, a fabricação de bebidas, produtos do fumo, confecção de artigos do vestiário, produtos de madeira, papel celulose e até a fabricação de produtos farmacêuticos e produtos de borracha; Setor IV: compôs-se da fabricação de produtos minerais não-metálicos.

Dando continuidade à agregação usada, o Setor V: na agregação foi dado destaque à atividade de metalurgia. O Setor VI: agregado de outras indústrias, composta pelas de transformação, fabricação de produtos de metal, equipamentos de informática, eletrônicos, veículos automotores, móveis, serviços de utilidade pública e construção civil. O Setor VII: constituído pelas atividades do comércio; o Setor VIII: agregado de transporte, agregado de armazenamento e correios; e finalmente, Setor IX: a diversidades de serviços, nesse ramo foram consideradas as atividades de alojamento, informação e comunicação, atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados, atividades imobiliárias, administração pública, educação e outras atividades de serviços, inclusive, a atividade doméstica.

Com base nesse nível de agregação, foram construídos três cenários analíticos. O primeiro teve por objetivo, estudar o contexto de choques de retração da demanda final sobre os setores de

minerais não-metálicos e metalurgia; o segundo analisou-se a possibilidade de uma conjuntura conservadora, onde não haveria grande distinção da demanda final entre o cenário construído e os dados de referência para o ano 2010; e no terceiro cenário, analisou-se o contexto da expansão ou do aquecimento da demanda final dos setores destacados. A formulação apresentada em (14) visa definir o tamanho amostral, considerando um erro de estimação previamente definido, com determinado grau de confiança.

$$n = \frac{\sigma^2 Z_{\gamma}^2}{\varepsilon^2} \quad (14)$$

Os dados de demanda final foram simulados como aplicação do método de Monte Carlo, usando uma amostra de tamanho  $n$  dado pela equação (14), onde  $\sigma^2$  é a variância,  $Z_{\gamma}^2$  é o quadrado do valor crítico da distribuição  $Z$  definido para um nível de significância 15% de probabilidade,  $\varepsilon^2$  o quadrado do erro amostral. Com  $n$  estimado em 3 milhões e intervalo de confiança de 90%, resultou numa variância de 2.772, e, conseqüentemente, desvio padrão de 53, ambos medidos em milhões de reais a preços correntes de 2010. O valor que compôs o cenário de retração foi obtido da média entre o valor mínimo e o 1º quartil obtido na simulação. Os dados da conjuntura conservadora foram extraídos da média entre o 2º e 3º quartis e, por último, o cenário de expansão foi calculado com base na média entre o 3º e 4º quartis da amostra simulada.

#### 4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA OS CENÁRIOS DELINEADOS

Por meio dos multiplicadores da matriz de insumo-produto foi possível discorrer sobre os efeitos do encadeamento de um setor de atividade em relação aos outros setores da economia. Como proposto em Miller e Blair (2009), se o setor  $j$  aumentar a sua produção, isso significa que ele aumenta a demanda pelos bens do setor  $j$  (como comprador), como insumos à produção em  $j$ . O termo encadeamento para trás é usado para indicar esse tipo interconexão setorial particular, entre oferta e demanda de insumos. Por outro lado, o aumento na produção num setor  $j$  também significa que quantidades adicionais de produto  $j$  estarão disponíveis para serem usados como insumos nos outros setores (como vendedor). O conceito de encadeamento para frente pode ser usado para qualificar o tipo de interconexão intersetorial entre vendedores e compradores.

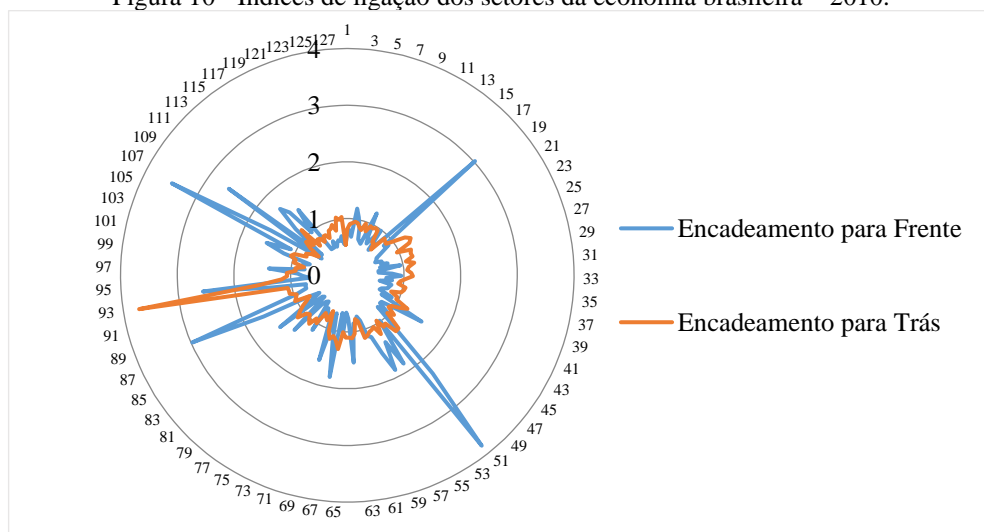
$$U_{0j} = \frac{1/n \cdot r_{0j}}{1/n^2 \cdot \sum_{j=1}^n r_{0j}}, \text{ onde } r_{0j} = \sum_{i=1}^n r_{ij} \quad (15)$$

$$U_{i0} = \frac{1/n \cdot r_{i0}}{1/n^2 \cdot \sum_{i=1}^n r_{i0}}, \text{ onde } r_{i0} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad (16)$$

Como destaca Kureski (2003), os índices de ligação levam em consideração os efeitos diretos e indiretos resultantes da expansão da atividade econômica, tendo em contas as relações de dependência existentes no sistema econômico. Para obter os índices de encadeamento, recorreu-se às equações (15) e (16), tendo o encadeamento para trás baseado na equação (15), onde  $r_{ij}$  é o elemento da matriz inversa e  $n$  número de atividades, correspondendo à divisão da média setorial da coluna  $j$  pela média de todos os setores da economia. Se o resultado estimado se situar acima de 1, diz-se que o setor gera efeitos de encadeamento para trás acima da média da economia.

Em relação ao encadeamento para, frente os índices foram calculados com base na equação (16), onde  $r_{ij}$  são elementos da matriz inversa e  $n$  o número de atividades, correspondendo à divisão da média de todos os setores economia. Nesse caso, se o resultado for superior a 1, diz-se que setor gera efeitos acima da média da economia. A figura 10 ilustra os índices de encadeamento para trás e para frente à nível de 67 setores e 127 produtos e serviços na economia brasileira, tendo por base a matriz de insumo-produto para o ano de 2010. Quanto mais afastado do centro, maior será o índice de ligação.

Figura 10 - Índices de ligação dos setores da economia brasileira – 2010.



Fonte: Dados da pesquisa com base na Matriz de Insumo Produto IBGE

Os resultados obtidos mostraram que a atividade "outros produtos" do refino do petróleo, representada na classe 19916, assumiu a primeira posição na classificação do indicador de encadeamento para frente, quantidade de produtos demandados de outros setores da economia pelo setor "outros produtos" foi 3,83 vezes a média dos setores compradores, atividades em que estão compreendidas as fabricações de produtos de refino de petróleo, como o gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, nafta, querosene, óleo diesel, óleos lubrificantes, graxas. Já a atividade de intermediação financeira, seguros e previdência complementar mostrou-se a segunda mais dinâmica, com índice de ligação para frente de 3,49.

Quanto aos setores de Minerais Não-Metálicos e da Metalurgia, os resultados obtidos mostraram que apenas 3 produtos tiveram valores de impacto superior a 1, em relação ao índice de encadeamento para frente. Foram eles do setor de Metalurgia os produtos semiacabados, laminados planos, longos e tubos de aço (1,82), que agrupa a produção de lingotes e blocos de aço; e o setor de produtos da metalurgia de metais não-ferrosos (1,15), onde encontra-se a produção de alumina, alumínio e metalurgia do cobre. Já no setor de Minerais Não-Metálicos, apenas as atividades de vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não-metálicos geraram valor de 1,05.

Os resultados dos índices de ligação para trás apresentaram nas duas primeiras ordens os setores de comércio por atacado e varejo e do transporte terrestre de carga, com 3,72 e 1,57, respectivamente. Esses dois setores foram os que mais se destacaram como compradores de insumos. Todas as atividades dos setores de Minerais Não-Metálicos e da Metalurgia geraram valores maiores ou iguais a 1, com as atividades Metalúrgicas entre as vinte e oito primeiras posições no índice de encadeamento para trás. Merece destaque a produção de ferro-gusa e ferroligas (ferrocromo, ferromangânês, dentre outros), na ordem 3 a esse mesmo indicador.

No setor de Minerais Não-Metálicos, os artefatos de cimento, gesso e semelhantes ocupam a 26ª posição, enquanto a produção de cimento ocupa a 27ª. A produção de artefatos de concreto compreende a fabricação de postes, vigas, estruturas pré-moldadas, tijolos, tubos e conexões, dentre outras. Os produtos de vidro, cerâmica e outros minerais não-metálicos foram os que tiveram menor posição em termos de encadeamento para trás, com índice de ligação igual a 1.

Kureski (2003) chama a atenção para a definição dos setores-chave da economia. Para ele, deve-se adotar a metodologia de Guilhoto, que considera como setor-chave, as atividades com índices



de encadeamento para trás e para frente superior a 1. Uma outra classificação foi proposta em Miller e Blair (2009), resumida pela Tabela 2. Com base na classificação de setores-chave, os segmentos de produção de papel, papelão, embalagens e artefatos de papel, diesel - biodiesel, outros produtos de refino de petróleo, adubos e fertilizantes, produtos químicos diversos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos, são exemplos de setores-chave.

No setor de produção de minerais não-metálicos as atividades que mais se aproximaram de serem classificadas como atividades-chave segundo a abordagem usada por Kureski (2003) foi a de produção de vidros, cerâmicos outras mercadorias de minerais não-metálicos, com 1,06 de encadeamento para frente e índice 1,0 e encadeamento para trás. No setor a Metalurgia, duas atividades foram consideradas setores-chave, o setor de semiacabados, laminados planos, longos e tubos de aço, e o de produtos da metalurgia de metais não-ferrosos. Outra formulação usada para caracterizar os setores-chave da economia é através da usada por Miller e Blair (2009) e resumida pela tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos resultados de encadeamento para trás e para frente

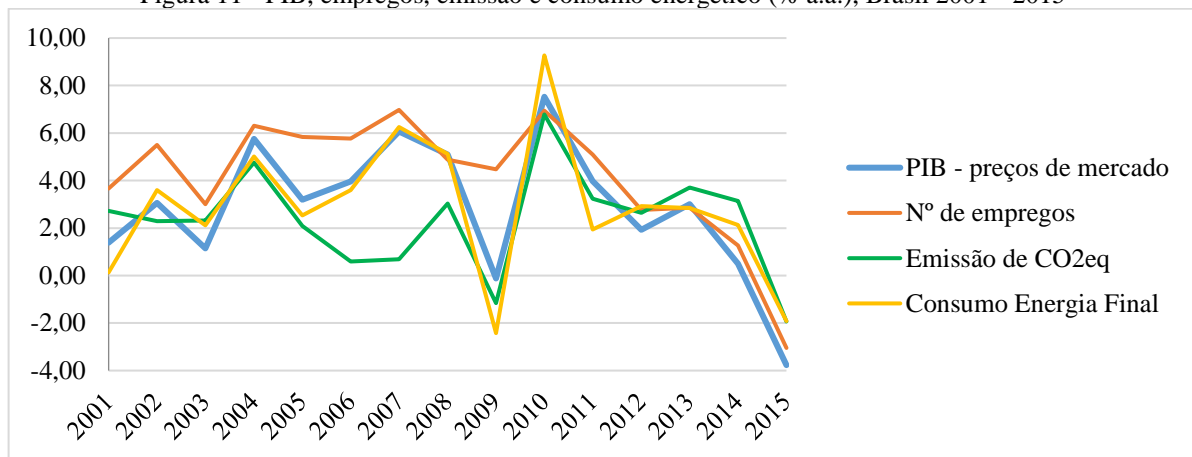
		Encadeamento para frente total ou direto	
		Baixo (< 1)	Alto (> 1)
Encadeamento para trás total ou direto	Baixo (< 1)	(I) Independente Geral	(II) Dependente da demanda interindustrial
	Alto (> 1)	(IV) Dependente da oferta interindustrial	(III) Dependente Geral

Fonte: Adaptado Miller e Blair (2009)

Segundo a classificação de Miller e Blair (2009), não existiriam atividades totalmente independentes entre Minerais Não Ferrosos e Metalurgia. Entretanto, haveria quatro atividades dependentes da oferta interindustrial, ou seja, com índice de encadeamento para trás elevado (>1) e encadeamento para frente baixo (<1). Seriam as atividades de produção de cimento, de artefatos de cimento, gesso e semelhantes, de ferro gusa e ferroligas, e de peças fundidas de aço e de metais não ferrosos. Enquanto as outras três atividades que compõem os setores selecionados são totalmente dependentes, quer dizer, com índice de encadeamento para trás e para frente é maior que 1, essas atividades dizem respeito a produção de vidros, cerâmicos e outros minerais não-metálicos, a produção de semiacabados, laminados planos, longos e tubos de aço e a produção de produtos da metalurgia de metais não-ferrosos.

O começo do Século 21 foi marcado por mudanças políticas e econômicas importantes. A evolução da economia internacional influenciou decididamente na evolução do PIB brasileiro, que depois de um ciclo de baixo crescimento observou momentos de expansão do produto agregado, culminando no ponto máximo em 2010, com crescimento de 7,53%. Esse resultado foi influenciado por medidas de políticas adotadas no ano anterior para aquecer a economia, e também por causa de uma base fraca de comparação, uma vez que o ano de 2009 foi marcado por queda de -0,13%. Considerando a variação percentual anual as variáveis número de empregos formais, emissão de CO<sub>2</sub> (excluindo mudanças de uso da terra e floresta) e o consumo final de energia apresentam trajetórias similares variação do PIB à preços de mercado.

Figura 11 - PIB, empregos, emissão e consumo energético (% a.a.), Brasil 2001 - 2015



Fonte: Adaptado ipeadata, RAIS, SEEG e BEN

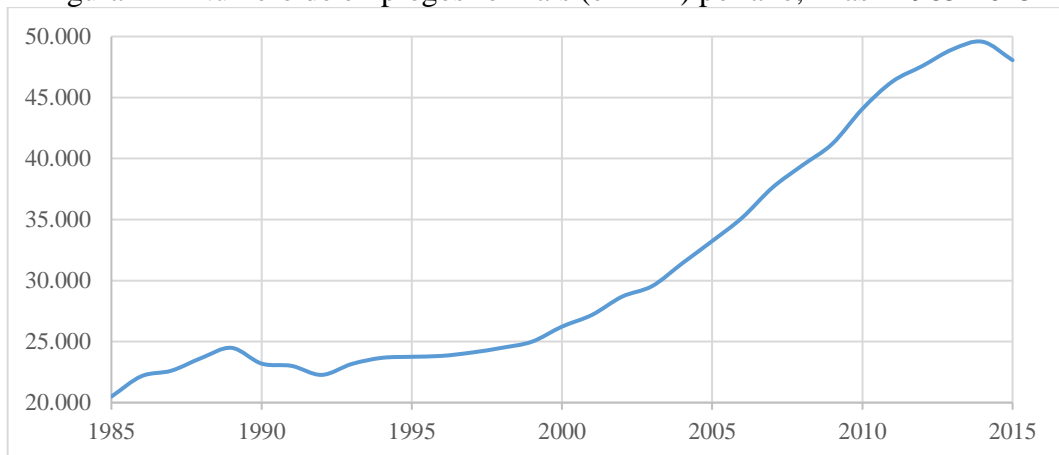
A figura acima ilustra o comportamento do PIB, emprego, emissão de poluentes e consumo de energia no Brasil durante os anos de 2001 a 2015. Conforme a figura 11, o consumo de energia e do PIB a preços de mercado variam a taxas muito próximas, enquanto o número de empregos formais e a emissão de poluentes passaram a acompanhar essa tendência a partir de 2010. A oferta de bens e serviços a preços de mercado na economia brasileira foi de R\$ 7,6 trilhões em 2010, deve-se destacar a produção de minerais não-metálicos que representou 1,14% desse total, R\$ 87,4 bilhões. Por outro lado, o setor de produção da metalurgia somou R\$ 171,8 bilhões na oferta total de bens e serviços em 2010, valor que representou 2,25% do verificado no ano.

Utilizando a metodologia proposta para a construção dos cenários, observa-se que o produto total da economia diminuiria em mais de R\$ 1 bilhão considerando uma redução na demanda final em condições de retração. A produção total de bens e serviços somaria R\$ 7.643.739

milhões de reais. Na conjuntura mais conservadora, a oferta de bens e serviços apresentou elevação no valor de R\$ 72 milhões de reais, totalizando R\$ 7.644.900 milhões reais. Assim, num cenário de expansão, o crescimento a oferta de bens e serviços na economia somariam R\$ 7.645.472 milhões de reais, essa soma apresentaria uma diferença de R\$ 644 milhões de reais em relação à oferta original.

A primeira variável observada foi o número de empregos. De acordo com os dados da RAIS do Ministério do Trabalho, o número de empregos formais registrados entre 1985 e 2015 tem sido elevado, nos cinco primeiros anos dessa série o nível de empregos elevou-se até 24,4 milhões em 1989, seguido depois de três anos de queda. A partir de 1993 o número de empregos formais cresceu continuamente até registrar nova queda em 2015. De 23,1 milhões de empregos em 1985 supera os 48 milhões no fim dessa série. Em relação aos setores de atividade, o setor de Serviços foi o que mais empregou com 17.151.312 empregos em 2015, o que representou 35,7% do total, seguido dos setores do Comércio e da Administração Pública, com 19,8% e 19,1%, respectivamente.

Figura 12 - Número de empregos formais (em mil) por ano, Brasil 1985-2015



Fonte: RAIS

O número de empregos formais registrados no ano de 2010 foi de mais de 44 milhões. A participação dos setores Metalúrgico e Não-Metálicos no número total de empregos no período foi relativamente pequena, pois essa contribuição foi inferior a 3%. No setor de produção Mineral Não-Metálico foram registrados 410.734 empregos formais enquanto na indústria Metalúrgica gerou 796.617 empregos. O setor de serviços gerou o maior número de empregos formais em 2010, com 20,959 milhões de empregos. Esse número de empregos foi influenciado pela junção nessa classe de atividades dos setores da Administração Pública, que mais se

destacou com quase 9 milhões, da Administração Técnica Profissional, com 4,5 milhões e de Alojamento e Comunicação com 3,7 milhões de empregos formais. O outro agregado de maior número de empregados formais foi o setor de Comércio, segmento com mais de 8,3 milhões de empregos, distribuídos entre o Comércio Varejista com 7 milhões e o Comércio Atacadista com 1,3 milhões.

Na tabela 3 apresenta-se a distribuição do número de empregos por setores a economia brasileira em 2010 de acordo com a agregação adotada no trabalho. Com base nos cenários delineados, não se observou diferença significativa no número de empregos. No primeiro cenário, o total de empregos gerados teria sido alterado, com queda de 5.644 em relação aos valores de referência de 2010, contudo, essa diferença é relativamente pequena e representaria somente redução de 0,013% em comparação com os dados de 2010, o tendo o número de empregos gerados 44.062.711.

Tabela 3 - Números de empregos formais por setor, Brasil 2010

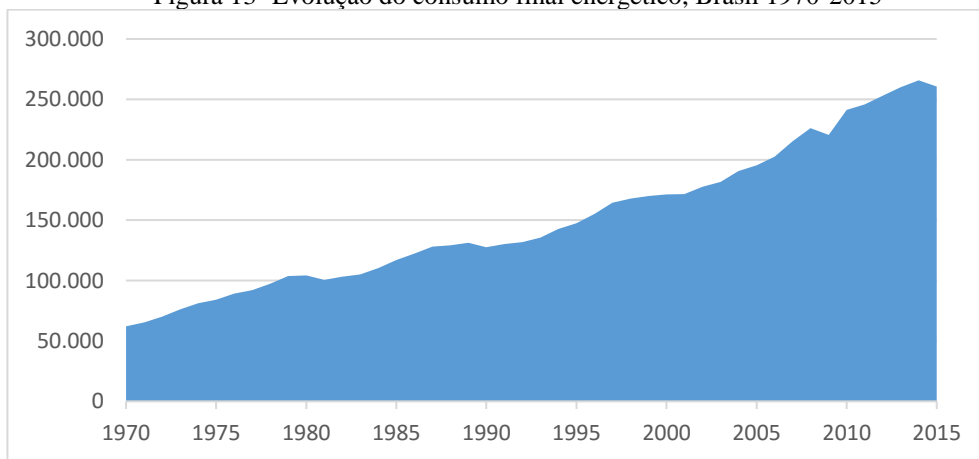
1	1.409.597
2	211.216
3	5.246.305
4	410.734
5	796.617
6	4.343.252
7	8.382.239
8	2.308.822
9	20.959.573

Fonte: Adaptado da RAIS

No cenário considerado conservador teriam sido gerados 373 empregos adicionais, portanto, tímidos se levarmos em consideração a quantidade total da força de trabalho empregada na economia. Finalmente, no cenário otimista considerado, portanto, de expansão, a diferença positiva na geração de empregos teria sido de 3.338 num total de 44.071.693, valores relativamente pequenos em relação ao total, indicando que os dois setores são intensivos na utilização de capital, e assim, a variação no número de postos de trabalho não seriam impactantes em termos do número de empregos gerados, não obstante as características específicas de cada setor em matéria de capital humano.

Em se tratando do consumo de energia observou-se uma trajetória de crescimento quase contínua em relação ao consumo final de energia. A Figura 13 descreve a evolução do consumo final de energia no Brasil entre os anos de 1970 e 2015. Foram 61,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) consumidos em 1970. O consumo totalizou aproximadamente 260,6 milhões de tep em 2015. No início desse período, a lenha era a fonte primária mais usada para fins energéticos no Brasil, pois foram consumidas 28,3 milhões de tep (45,6%), enquanto o consumo de todos os derivados de petróleo totalizou 23,5 milhões de tep (37,9%). Entretanto, nos anos seguintes os derivados de petróleo passaram a representar a fonte mais usada para fins energéticos, destacadamente, o óleo diesel (18,4%) e a gasolina (8,9%), em 2015. Desse modo, o uso da lenha para fins energéticos perdeu espaço nesse período dando início à expansão de outras fontes como a eletricidade, o bagaço de cana e o gás natural.

Figura 13 -Evolução do consumo final energético, Brasil 1970-2015



Fonte BEN

Em 2010, o consumo final energético foi de 241,2 milhões de tep, tendo, porém, a seguinte distribuição: o óleo diesel, eletricidade, bagaço de cana, a lenha e gás natural foram, respectivamente, as fontes mais usadas na economia brasileira. Analisando separadamente os setores de atividade econômica, observou-se que o setor de maior consumo energético é a indústria. O setor Alimentos e Bebidas é o mais intensivo no consumo de energia dentro do setor industrial, com 23,2 milhões de tep, enquanto o setor mineral não-ferroso e da metalurgia representaram em conjunto 39% do consumo final em 2010.

A distribuição do consumo nos segmentos destacados da atividade industrial deu-se como segue: indústria de ferro-gusa e aço com 16,4 milhões, não-ferrosos e outros da metalurgia, com 6,5 milhões, cimento, com 4,2 milhões de tep. Outros setores de destaque no consumo de

energia na economia brasileira foram: transporte, principalmente, rodoviário, o próprio setor energético e o setor residencial. Em contrapartida, o setor público é o de menor consumo de energia, tendo consumido em torno e 3,6 milhões de tep, o equivalente a 1,5% do consumo nacional em 2010.

Os produtos derivados de petróleo foram fontes mais usadas para fins energéticos em 2010, tendo o consumo final dessa fonte alcançou 85,9 milhões. Observou-se que os produtos derivados de petróleo apresentaram a maior variação em termos do consumo final de energia quando analisados os três cenários considerados. No primeiro, a previsão de consumo de derivados de petróleo, composto por óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta, e querosene, atingiria  $85.950,92 \times 10^3$  tep, esse valor que representaria redução prevista no uso de derivados de petróleo na ordem de 26,2 mil tep a menos, e relação ao consumo de referência de 2010.

No cenário mais conservador, a previsão do consumo de energia alcançaria 85.978,84 mil tep, aproximadamente, 1.731 tep, superior que o registrado no ano de 2010 de derivados de petróleo. Finalmente, no cenário otimista de expansão, o consumo de energia subiria 7.598 mil tep em relação aos valores de 2010. A Tabela descreve o consumo estimado por fontes destacadas nos cenários propostos.

Tabela 4 - Consumo de Energia por fonte por cenário, Brasil - 2010

$10^3$ tep	Retração	Conservador	Expansão
Gás Natural	15.426,41	15.435,14	15.439,44
Biomassa	63.786,42	63.807,54	63.817,94
Derivados de Petróleo	85.950,92	85.978,84	85.992,60
Carvão	12.165,77	12.188,85	12.200,22
Eletricidade	39.948,25	39.965,17	39.973,51

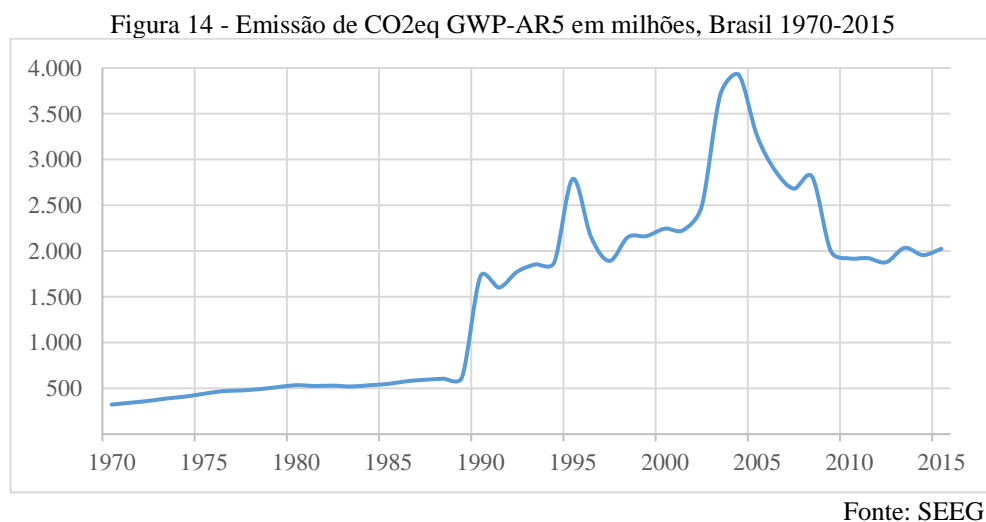
Fonte: Elaboração própria

A biomassa é considerada como a junção o consumo de lenha, produtos da cana, carvão e álcool etílico. O consumo total de biomassa em 2010 foi de  $63.806 \times 10^3$  tep. Essa variação se deveu à queda de 19.804 tep no consumo de produtos de base na biomassa, caso houvesse diminuição na demanda dos setores não-metálicos e da metalurgia. Na conjuntura de demanda mais dinâmica a previsão do consumo seria de 11.714 de tep adicionais de fontes consideradas como biomassa, enquanto que, no cenário conservador, a diferença seria de 1.309 de tep. No caso da eletricidade a redução no consumo dessa fonte seria na ordem de 15.871 de tep, em relação ao

consumo de 2010 que fora de  $39.964 \times 10^3$  tep. O cenário de expressão, seriam consumidos 9.388 tep adicionais em relação ao ano de referência, quantidade que diminuiria para 1.050 em cenário conservador.

Por fim, levando em consideração os cenários, o consumo final energético de gás natural teria sido reduzido em aproximadamente 8.186 tep. Em contrapartida, diante de expansão na demanda consumo seria de mais de 4.842 tep de gás natural, o que representaria  $15.439,44 \times 10^3$  tep, e no cenário conservador o consumo de energia seria de aproximadamente 540 mil tep, com menor variação no consumo de gás natural.

O consumo de carvão variou significativamente, considerando a junção do carvão vapor, gás de coqueria, coque de carvão mineral e alcatrão. Essa fonte foi a menos usada em 2010, tendo o consumo alcançado  $12.187 \times 10^3$  tep. O principal destino de consumo de carvão foi o setor da metalurgia onde o consumo alcançou  $11.050,49 \times 10^3$  tep. A queda observada no consumo final dessa fonte no primeiro cenário seria na ordem de mais de 21.600 tep. No segundo cenário seriam consumidos mais de 1.432 tep de carvão, enquanto no cenário de expansão, o consumo se elevaria em 12.804 tep. Sendo assim, o carvão foi a segunda fonte de energia com maior variação observada, depois de derivados de petróleo nos cenários propostos.



A Figura 14 mostra o comportamento de CO<sub>2</sub>eq GWP-AR5 emitidos entre 1970 - 2015 no Brasil. Esse indicador leva em consideração todos os gases de efeito estufa devidamente convertidos em unidade básica de CO<sub>2</sub>eq GWP-AR5, e compreendem os diversos gases, tais como, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonos

(HFC), perfluorcarbonos (CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). Como já mencionado anteriormente foi utilizado o conceito de GWP, presente no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC. Os dados foram retirados do SEEG, que é uma iniciativa do Observatório do Clima, a organização que reúne grupos da sociedade civil brasileira em matéria de mudanças climáticas.

As estimativas do SEEG levam em consideração cinco setores, a agropecuária, energia, processos industriais, resíduos e mudança de uso da terra e floresta. As estimativas das emissões de gases de efeito estufa foram calculadas com base na metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação para o 3º Inventário Nacional de Emissão e Remoção Antrópicas de GEE e, que tem por base a metodologia do IPCC. De acordo com as Notas Metodológicas do SEEG, no setor da agropecuária as estimativas das emissões do GEE abrangem as atividades de produção agrícolas perenes e não perenes e a criação e a produção animal, incluindo bovinos, galináceos, caprinos, bubalinos, muares, entre outros.

Também incluem atividades relacionadas à fertilização nitrogenada do solo e solos orgânicos. Apesar de estarem relacionadas às atividades agropecuárias, não se inclui no cálculo as emissões decorrentes do desmatamento, conversões de uso do solo, utilização de calcário em solos agrícolas (calagem), resíduos agroindustriais e energia, as quais são contabilizadas nos respectivos segmentos de Mudanças de Uso do Solo, Resíduos e Energia. Contudo, ao dividir por atividades econômicas esses valores são agregados novamente.

As emissões de GEE provenientes da produção e do consumo de energia ocorrem segundo os processos de queima dos combustíveis resultando em emissões fugitivas, que decorrem de descargas intencionais ou não intencionais provenientes de processos de produção de fontes como o carvão mineral, petróleo e gás natural. A energia química contida no combustível é liberada com o calor e pode se destinar diretamente ao uso final (fornos, etc.), ou convertido em energia mecânica e elétrica.

As atividades industriais podem gerar emissões de GEE de diversas formas. Pode ser da queima de combustíveis para a geração de calor ou energia elétrica pela disposição de resíduos e por processos de transformação química e física de materiais. Entretanto, nas estimativas o SEEG cumpre recomendações do IPCC e considera, exclusivamente, emissões ocorridas nas transformações químicas ou físicas de materiais. O setor de resíduos considera emissões de



GEE no tratamento intermediário e disposição de resíduos sólidos, incineração de resíduos de serviços de saúde e industriais e o tratamento de efluentes líquidos, industriais e domésticos.

Os resíduos da atividade agropecuária, como dejetos de animais e incineração de restos de culturas agrícolas, são contabilizados no setor agropecuário. O setor de mudança do uso da terra e florestas tem as emissões de GEE ligadas ao processo de conversão dos estoques de biomassa e matéria orgânica acima e abaixo do solo. Os processos geradores de emissões nesse setor estão relacionados à conversão de florestas para a pastagem ou agricultura, a queima de biomassa florestal para lenha ou para uso madeireiro e a aplicação de calcário ou dolomita no solo para a melhora da fertilidade. Diferente dos outros setores, o de mudança do uso da terra e florestas, os dados de desmatamento foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e Fundação SOS Mata Atlântica disponíveis de 1990 a 2015.

Como se observa na Figura 14, a emissão dos gases do efeito estufa cresceu de forma contínua entre 1970 e 1990. A partir desse último ano, uma grande elevação na quantidade de gases emitidos foi observada. Além das emissões GEE se mostrarem mais irregulares, que se devem por causa da inclusão do setor de mudança de uso da terra e floresta esse segmento em particular foi responsável pela elevação das quantidades emitidas na economia brasileira, e pelo caráter irregular dessas emissões.

Em 1970, as emissões estimadas alcançaram 322 milhões de toneladas (ton.) de CO<sub>2</sub>eq, e dez anos depois, o valor estimado já chegaria a 534 milhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq. Em 1989 as emissões estimadas somariam 620 milhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq e um ano depois, essa estimativa atingiria 1,7 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq (1,1 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq somente do setor de mudança de uso da terra e floresta). A trajetória irregular desse setor continuou ao longo dos anos seguintes, algumas vezes totalizando soma maior que todos os outros setores em conjuntos. Os outros setores continuaram com a emissão de gases de forma contínua, com as emissões estimadas em mais de 2 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq em 2015, 44% de participação apenas do setor de mudança de uso a terra e floresta.

Na Tabela 5 são apresentadas as emissões de gases por categoria de poluentes m nível dos setores agregados. Os principais gases de efeito estufa foram o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (NH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), representaram quase a totalidade dos gases de efeito estufa emitidos na economia brasileira. Dos 1.920 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq emitidos em 2010,

1,911 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq foram desses três gases. O CO<sub>2</sub> foi o gás de maior emissão, tendo em 2010 poluído a atmosfera com 1,2 bilhões de ton., já o metano somou 477 milhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq, enquanto o óxido nitroso foi de aproximadamente 147 milhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq.

Tabela 5 - Emissões de gases do efeito estufa por setor e tipo de gás, Brasil - 2010

Setores	mil t co2 eq		
	CO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
1	871.049,99	382.656,62	136.701,84
2	76.164,36	5.931,66	1.161,76
3	7.524,45	1.212,65	1.641,68
4	47.521,59	116,06	152,64
5	61.001,81	1.059,07	383,72
6	35.711,65	76.425,27	2.124,51
7	1.570,12	105,81	11,40
8	168.539,46	1.282,85	3.952,21
9	18.478,81	8.122,72	843,50

Fonte: Adaptado de SEEG

Considerando os setores da atividade, o setor agropecuário foi o que mais emitiu GEE, dentro dos limites dos três principais gases, com a emissão total de 3 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq, níveis influenciados pelas alterações de uso do solo e calagem que foram computados na agropecuária quantidade inferior ao setor de transporte que emitiu 47,8 milhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq, valor que correspondem a quase a totalidade de CO<sub>2</sub>, 47,5 milhões de ton. Enquanto a metalurgia emitiu 62,4 milhões de ton. de CO<sub>2</sub>eq. Assim como os não-metálicos, a maior parte dessas emissões correspondem ao gás CO<sub>2</sub> com 61 milhões de ton.

Em termos dos cenários delineados para a previsão de impactos ambientais, observou-se redução de 402 mil ton. de CO<sub>2</sub>eq na conjuntura de retração, em que maior redução seria observada nas emissões de CO<sub>2</sub>, pois menos 368 mil ton. de CO<sub>2</sub>eq seriam emitidos. Entretanto, a maior variação na emissão do gás dióxido de carbono era prevista, uma vez que, é o principal gás emitido nos processos industriais dos setores de minerais não-metálicos e metalurgia. A redução prevista para o metano era de 25,4 mil ton. de CO<sub>2</sub>eq, enquanto as emissões de óxido nitroso cresceriam em 54 mil ton. de CO<sub>2</sub>eq. No último cenário as emissões de CO<sub>2</sub>eq elevariam em 238 mil ton., com 218 mil ton. de dióxido de carbono, 15 mil ton. de CO<sub>2</sub>eq de metano e 5 mil ton. de CO<sub>2</sub>eq. A Tabela 6 dispõe sobre as previsões e as emissões por cenários delineados por poluentes.

Tabela 6 - Emissões por tipo de poluentes por cenário, Brasil - 2010

Tipos de gases	10 <sup>3</sup> toneladas de CO <sub>2</sub> eq		
	Retração	Conservador	Expansão
CO <sub>2</sub>	1.287.194	1.287.587	1.287.780
NH <sub>4</sub>	476.887	476.914	476.928
N <sub>2</sub> O	146.965	146.974	146.978
Total	1.911.047	1.911.475	1.911.686

Fonte: Elaboração própria

Conforme as fases de Goldemberg e Lucon (2010), baseado no conceito de entropia, não é possível usar todas as formas de energia com a mesma eficiência, ou seja, sempre haverá alguma perda, na conservação de energia, de tal forma que nenhum processo é totalmente reversível. Por esse motivo, há necessidade crescente de suprimento de energia. Um dos resultados desse conceito se baseia na inexistência de movimento, pois a energia se perde e não poderá ser totalmente recuperada.

Os cenários acima construídos visaram avaliar o trade-off entre o nível de atividade econômica e a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais, principalmente em matéria de emissões poluentes, posto que, a preocupação em relação a questão ambiental vem se mostrando como de extrema relevância para a estabilidade e condições necessárias à reprodução social sustentável. Contudo, esses esforços esbarram nas restrições de estruturas produtivas numa dualidade de objetivos de escolha entre a conservação do meio ambiente e o crescimento econômico, um dilema fundamental em matéria do desenvolvimento sustentável.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia é insumo básico usado para qualquer atividade produtiva, tão importante quando os outros bens de capital, a exemplo da infraestrutura, estradas, ferrovias, portos aeroportos. A energia é também necessária aos organismos vivos, pois não podem realizar as atividades biológicas sem consumo de energia. Contudo, no plano econômico, o crescimento experimentado nos últimos anos elevou as necessidades de consumo, contrapondo ao fato de ser improvável o uso de todas as formas de energia com a mesma eficiência técnica. Esse aspecto se mostra fator limitante para o crescimento contínuo, com restrições até ao desenvolvimento sustentável.

A preocupação em relação aos problemas de sustentabilidade ambiental fez com que a questão energética, dadas as suas implicações, se tornasse o epicentro da agenda moderna em matéria de desenvolvimento econômico. Além das múltiplas categorias associadas ao conceito de sustentabilidade do desenvolvimento, o planejamento da oferta energética dentro de uma abordagem de diversificação da matriz energética é hoje fonte da estratégia política, na escolha combinada entre fontes de energia, custos, externalidades econômicas e ambientais. Em vista disso, os países enfrentam o dilema de produção econômica com energia de baixa emissão de carbono.

O debate em matéria ambiental não é de simples, e com a diversidade de objetivos e prioridades de cada país se complica. Por isso, as alternativas devem ser analisadas com prudência evitando mitos de salvação. O tratamento do tema como um problema de substitutibilidade corrobora com essa crença ao advogar a favor da contínua possibilidade de substituição dos recursos naturais por tecnologia, pois, grandes avanços produtivos não aparecem de forma simples ou comum. Soma-se a isso o fato que as tecnologias de geração de energia alternativas ainda não são capazes de substituir, na mesma eficiência, as fontes atuais.

A atividade produtiva cresce num ecossistema finito e não crescente, por isso, um custo de oportunidade se apresenta. Ao tomar uma determinada escolha sempre haverá custos em termos de uma oportunidade renunciada. Esse custo é resultado do fato que a atividade econômica é uma estrutura dissipadora de energia, sustentada pelo fluxo de recursos do meio ambiente, assim, a priorização de objetivos deve ser analisada para que a dinâmica econômica leve em consideração os limites impostos pelo meio. Para isso, um planejamento cauteloso deve ser

realizado, levando em consideração princípios como participação, coordenação, integração e continuidade dos diferentes recursos. Participação é essencial porque o planejamento deve envolver a todos, pois não há impacto ambiental seletivo. Deve-se entender como se dá a coordenação entre as atividades para entender as repercussões resultantes da interdependência.

A análise de todas as opções de recursos disponíveis deve ser levada em consideração no planejamento ambiental e energético, além da análise da limitação desses recursos, essa será uma questão persistente na sobrevivência da humanidade, buscando maximizar a possibilidade o retorno e minimizando os custos de oportunidade indissociável em qualquer tomada de decisão. O dilema analisado no presente trabalho caracterizado pelo crescimento econômico e manutenção da qualidade do meio não levou em consideração os avanços nas estruturas produtivas na economia, sendo uma das limitações da análise, mesmo sabendo que saltos tecnológicos não são realizados de forma tão comuns, eles acontecem e tem como principal efeito a modificação significativa das técnicas produtivas, como os processos administrativos, a tecnologia da informação e os processos produtivos mais eficientes.

Análise de diferentes entidades tem destacado os efeitos diretos e indiretos dos impactos ambientais, fornecendo evidências indicando as consequências do modelo de crescimento adotado, destacando que as modificações impostas ao meio ambiente pela dinâmica econômica estão se transformando permanentes. Os cenários propostos contribuem para ilustrar a ligação entre o nível da atividade econômica e o consumo energético e à emissão de poluentes, levando em consideração a estrutura produtiva de curto prazo. O exercício da construção de cenários só reforça que o modelo de crescimento econômico está indissociável com o montante de consumo energético e emissão de poluentes.

A resolução do dilema de crescimento econômico com preservação ambiental não está limitada a uma ideologia específica ou fonte. Entretanto, a estratégia que será adotada dependerá da conscientização sobre a gravidade dos impactos ambientais, o quanto mitos de salvação ainda influenciam na tomada de decisões e como os países poderiam alcançar entendimentos levando em consideração suas diferenças e necessidades com equidade no tratamento entre eles.

Além do fator econômico, o debate político é de extrema relevância nos rumos que serão tomados, pois num momento de baixo crescimento e queda do emprego a preocupação com os impactos ambientais tende a ser flexibilizada pela urgência da conjuntura de curto prazo,

entretanto, questionamentos até de caráter ético surgem, pois, as decisões impactam qualitativa e quantitativamente os recursos disponibilizados para a sobrevivência das gerações futuras.

A dinâmica de curto prazo abre poucas possibilidades de redefinição da estrutura produtiva, sendo assim, a forma como lidar com o conflito de escolhas representado entre o nível de atividade econômica e conservação ambiental será essencial. Algumas conclusões importantes extraídas dos cenários propostos foram que dos produtos com maior índice de ligação para frente destaca-se a atividade “outros produtos” do refino do petróleo, a quantidade demandada por produtos desse setor foi de 3,83 vezes a dos compradores. Nos índices de ligação para trás destaca-se o setor de comércio por atacado e varejo (3,72), destacando-se como vendedor de insumos.

Dentre os segmentos considerados, o setor que mais se destaca no índice de ligação para frente é o de semiacabados laminados, planos, longos e tubos de aço com 1,82 vezes a média dos setores compradores. Com base nos cenários delineados, não foi observado diferença significativa na variação do número de empregos formais gerados. As variáveis consumo de energia e emissão de poluentes foram as mais sensíveis, no cenário de retração a previsão era de uma redução de 91,69 mil tep e de 401,56 mil ton CO<sub>2</sub>eq. Por outro lado, seriam consumidos o montante de 54,24 mil tep e 237,52 mil ton CO<sub>2</sub>eq a mais em relação aos valores de referência de 2010.

O estudo desenvolvido nesta pesquisa deve ser ampliado, aprimorado e atualizado, uma vez que, trata-se de um tema sensível à sustentabilidade da atividade econômica, além disso, pela complexidade característica do setor energético, tanto pelos valores quanto pela estrutura envolvida, esforços na tentativa de antecipação de possíveis dificuldades são necessários. Além disso, a metodologia trabalhada abre espaço para diversas discussões em diferentes níveis de segmentos setoriais e geográficos, abrindo a possibilidade de aprofundamento do estudo e a melhor compreensão

Processos produtivos mais eficientes impactam diretamente os coeficientes técnicos interindustriais, esse movimento leva ao uso mais racional dos recursos. Como os cenários destacados levaram em consideração coeficientes fixos, não foi possível perceber os efeitos da alteração de eficiência no consumo de energia e na emissão de poluentes. Um estudo de cenários que leve em consideração as mudanças dos coeficientes devem ser trabalhadas para trazer

indicativos para o entendimento de como o avanço tecnológico é importante e essencial a uma dinâmica econômica menos danosa à sustentabilidade ambiental.

Outra possibilidade trazida pelos cenários é a avaliação dos impactos resultantes do funcionamento do sistema produtivo ao meio ambiente advindas de outros setores da economia brasileira, como o de transporte, segmento essencial para qualquer economia e destacado consumidor energético, principalmente de derivados de petróleo, e emissor de poluentes. Outra limitação da análise discutida foi o grande nível de agregação realizada, os 67 setores originais da matriz de insumo-produto foram agregados em apenas nove, essa acumulação traz vieses na análise realizada.

A construção de cenários abre uma infinidade de possibilidades, primeiramente ao dar subsídios para análise de tendências e possibilidades de mudanças esperadas ou inesperadas. Para o sucesso da política e planejamento energético de longo prazo requer informações sistemáticas que conectam escolhas e incertezas com suas potenciais implicações para o futuro. Em diversos casos, entretanto, as informações disponíveis fornecem pouca compreensão das forças ou das consequências que influenciam o panorama atual energético-ambiental. As informações disponíveis são, geralmente, pouco efetivas para explorar processos de mudanças, produção agregadas, e resultados inesperados.

Dessa forma, o desafio é desenvolver técnicas e compartilhar informações que possam conectar as preocupações imediatas e o nível de renda desejada, tornando efetiva as tomadas de decisão. Estudos de gerenciamento estratégico de cenários descreve como o processo de desenvolvendo suficientemente estudado e história plausíveis sobre o futuro facilitam a aprendizagem e compreensão na tomada de decisão estratégica. A abordagem de cenários proporciona um conjunto de alternativas para explorar os desdobramentos das diferentes trajetórias futuras.

A ferramenta analítica de insumo-produto também pode ser estendida para tratar de outros tipos de impactos em níveis geográficos mais específicos como regiões, estados, municípios ou até regiões metropolitanas. Destacar níveis geográficos mais específicos é importante para a discussão de quais áreas são mais sensíveis à variação da atividade econômica e impactos ao meio ambiente. Esse estudo é fundamental para a alocação eficiente de recursos que contribuam com a priorização de vários objetivos traçados.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). BIG - Banco de Informações de Geração. **Capacidade de Geração do Brasil**, 06 fev. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.

ANDRADE, A. L. C. D.; MATTEI, L. F. O Trinômio Economia, Energia e Meio Ambiente. **Nexus Econômicos – CME-UFBA**, Salvador, v. 6, n. 10, p. 109-128, Junho 2012.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS:2016. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2016. 265 p.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO DE NÃO METÁLICOS. **Ano Base 2016**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2017. 98 p.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR METALÚRGICO. **Ano Base 2016**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2017. 101 p.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Ano Base 2015**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2016. 292 p.

BEINHOCKER, E. **The Origin of Wealth: Evolution, Complexity and The Radical Remaking of Economics**. Boston, EUA: Harvard Business School Press, 2006.

BHATTACHARYYA, S. C. **Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance**. Londres: Springer, 2011.

BOLETIM DA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL: DEZEMBRO 2016. Brasília: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2017.

BP. **BP Statistical Review of World Energy**. BP. Londres. 2015.

BUSSAB, W. D. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 5ª. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2003.

CALABI, A. S. et al. **A Energia e a Economia Brasileira: Interações Econômicas e Institucionais no Desenvolvimento do Setor Energético no Brasil**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1983.

CARMINATI, J. G. D. O.; SCALCO, P. R. Relações de Causalidade entre Energia e Crescimento Econômico no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, São Paulo, v. 19, n. 2, 2º Sem., p. 355-374, 2013.



CECHIN, A. D. **Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo** ou. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, 2008.

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. D. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu - Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, n° 3, n. 119, p. 438-454, julho-setembro 2010.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO (CONCLA). **CNAE: Classificação Nacional de Atividades Econômicas, Versão 2.0**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2015. 430 p.

COMMON, M.; STAGL, S. **Ecological Economics: An Introduction**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

COSTANZA, R. et al. **An Introduction to Ecological Economics**. 1ª. ed. Nova York: CRC Press LLC, 1997.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics: principles and applications**. 2ª. ed. Washington, USA: Island Press, 2011.

DAMÁSIO, J. **Análise de Insumo-Produto**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2017. Apontamentos não publicados.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia (MME), 2014.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Economic Theory and Agrarian Economics. In: GEORGESCU-ROEGEN, N. **Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays**. Nova York: Pergamon Press Inc, 1970. p. 103-145.

\_\_\_\_\_. The Entropy Law and the Economic Problem. In: GEORGESCU-ROEGEN, N. **Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays**. Nova York: Pergamon Press Inc, 1971. p. 53-60.

\_\_\_\_\_. Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production. In: GEORGESCU-ROEGEN, N. **Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays**. Nova York: Pergamon Press Inc, 1972. p. 37-52.

\_\_\_\_\_. Energy and Economic Myths. In: GEORGESCU-ROEGEN, N. **Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays**. Nova York: Pergamon Press Inc., 1975. p. 3-36.

GHANADAN, R.; KOOMEY, J. G. Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California. **Energy Policy**, v. 33, p. 1117 - 1142, 2005.

- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 17-18; 41-57 p.
- GOLDEMBERG, J. **Energy: What Everyone Needs To Know**. New York: Oxford University Press, 2012.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energy, Environment and Development**. 2<sup>a</sup>. ed. London: Earthscan, 2010.
- HALL, C. A. S. **Energy Return on Investment: A Unifying Principle for Biology, Economics, and Sustainability**. Cham, Suíça: Springer, 2017.
- HARRIS, J. M.; ROACH, B. **Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach**. 3<sup>a</sup>. ed. New York, USA: Routledge, 2015.
- HOTELLING, H. The Economics of Exhaustible Resources. **Journal of Political Economy**, v. 39, n. 2, p. 137-175, Abril 1931.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Produto interno bruto (PIB) a preços de mercado: variação real anual - referência 2010. **ipeadata**. Disponível em: <<http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 27 Fevereiro 2017.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Key Economic Sectors and Services. In: \_\_\_\_\_ **Climate Change 2014 - Part A: Global and Sectoral Aspects**. New York: Cambridge University Press, 2014.
- \_\_\_\_\_. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva: Cambridge University Press, 2015. 169 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key Coal Trends**. Paris: International Energy Agency, p. 12. 2016a.
- \_\_\_\_\_. **Key Natural Gas trends**. Paris: International Energy Agency, p. 07. 2016b.
- \_\_\_\_\_. **Key Oil Trends**. Paris: International Energy Agency, p. 09. 2016c.
- \_\_\_\_\_. **Key World Energy Statistics**. Paris: International Energy Agency, p. 80. 2016d.
- JEVONS, W. S. Preface. In: \_\_\_\_\_ **Coal Question: An Inquiry Concerning The Progress Of The Nation, And The Probable Exhaustion Of Our Coal-Mines**. London: Macmillan And Co., 1866.
- \_\_\_\_\_. **A Teoria da Economia Política**. São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda, 1996. 240 p.

KURESKI, R. **Avaliação De Impactos Da Indústria De Base Florestal Sobre A Ocupação E Renda Do Paraná - 1998**: Uma Aplicação da Matriz de Contabilidade Social. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003.

LATOUCHE, S. **Pequeno Tratado do Decrescimento Sereno**. 1ª. ed. São Paulo: WMF Martinsfontes, 2009.

LEONTIEF, W. **Input - Output Economics**. 2ª. ed. Nova York: Oxford University Press, 1986.

MALTHUS, T. R. **Ensaio Sobre a População**. São Paulo: Nova Cultural, 1996.

MARTÍN, L.; JUSTO, J. B. **Análisis, Prevención y Resolución de Conflictos por el Agua en América Latina y el Caribe**. Santiago: CEPAL, 2015. 289-335 p.

MILL, J. S. A Condição Estacionária. In: \_\_\_\_\_ **Princípios de Economia Política**: Com Algumas de suas Aplicações à Filosofia Social. São Paulo: Nova Cultural, 1996, v. II. Cap. VI.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis Foundations and Extensions**. 2ª. ed. Nova York, EUA: Cambridge University Press, 2009.

MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A. O Uso Setorial de Energia Renovável Versus Não Renovável e As Emissões de CO2 na Economia Brasileira: Um Modelo Insumo-Produto Híbrido para 53 Setores. **Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 289-335, ago 2015.

NERI, M. Lampião, "Gatos" & Robin Hood. **Conjuntura Econômica**, v. 55, n. 7, p. 60-63, 2001.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Emissões Por Setor. **Sistemas de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/>>. Acesso em: Novembro 2016.

PACHECO, F. Energias Renováveis: Breves Conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, Outubro 2006

PEROBELLI, F. S. et al. **Interdependência Energética**: Uma Análise Inter-Regional. Juiz de Fora: Programa de Pos-Graduação em Economia Aplicada - FE/UFJF, 2010. 1-21 p. TD. 009/2010.

PETROBRAS. Blog Fatos e Dados. **Conheça os derivados do petróleo que fazem parte do cotidiano**, 29 Junho 2014. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/conheca-os-derivados-do-petroleo-que-fazem-parte-do-cotidiano.htm>>.

PETTY, W. **Obras Econômicas**. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

PIGOU, A. C. Desires and Satisfaction. In: \_\_\_\_\_ **The Economics of Welfare**. Londres: Macmillan and Co., 1920. Cap. II.

PINTO JR, H. Q. et al. **Economia da Energia: Fundamentos Economicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2007.

QUESNAY, F. **Quadro Econômico dos Fisiocratas**. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

RICARDO, D. Sobre a Renda da Terra. In: \_\_\_\_\_ **Princípios de Economia Política e Tributação**. 3ª. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1996. Cap. II.

ROVERE, E. L. L.; ROSA, L. P.; RODRIGUES, A. P. **Economia e Tecnologia da Energia**. Rio de Janeiro: Marco Zero: FINEP, 1985.

SAMUELSON, P. A. A Note on the Pure Theory of Consumer's Behaviour. **Economica**, v. 5, n. 17, p. 61-71, Fevereiro 1938.

SHELL. Cenários da Shell. **Shell Brasil**. Disponível em: <<http://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/futuro-da-energia/shell-cenarios.html>>. Acesso em: 10 Março 2017.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Nota Metodológica SEEG 4.0: Processos Industriais e Uso de Produtos**. Brasília: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2016.

\_\_\_\_\_. **Nota Metodológica SEEG 4.0: Setor Agropecuário**. Brasília: Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, 2016.

\_\_\_\_\_. **Nota Metodológica SEEG 4.0: Setor de Energia**. Brasília: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2016.

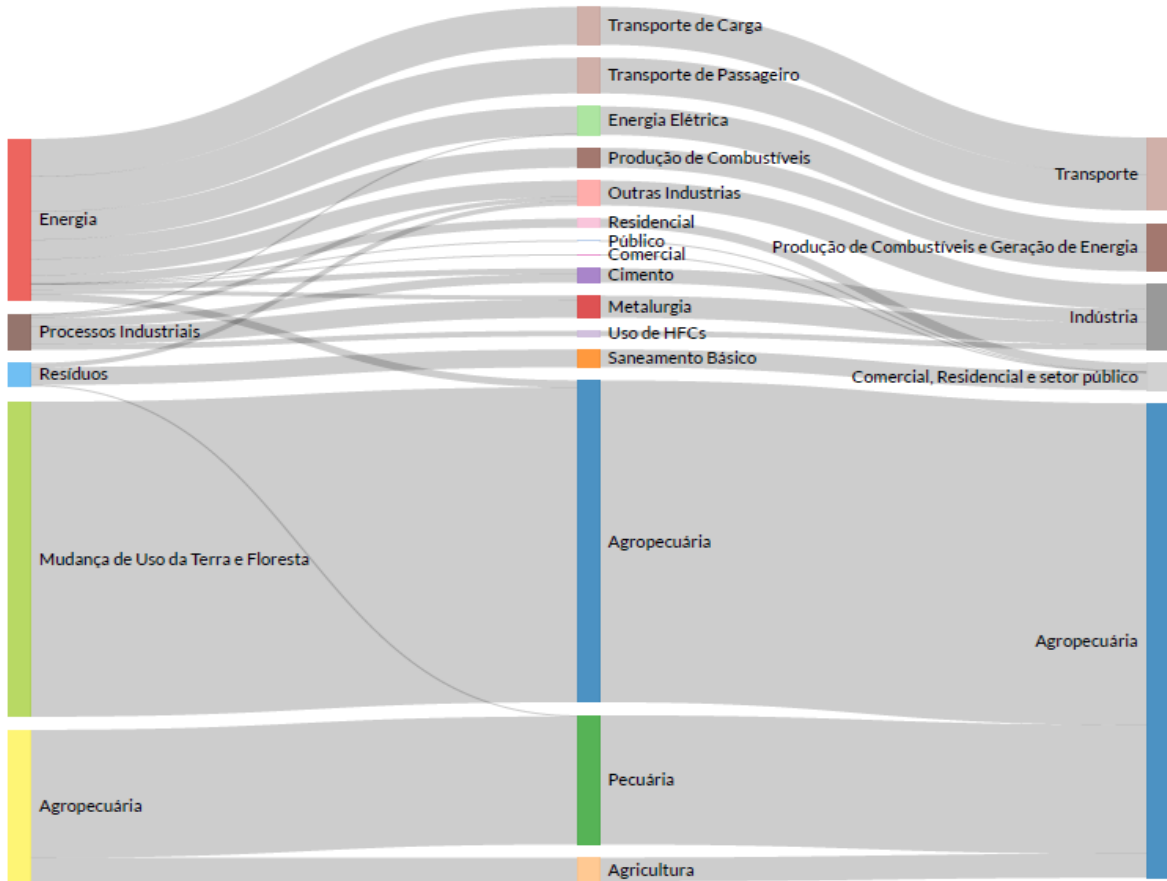
\_\_\_\_\_. **Nota Metodológica SEEG 4.0: Setor de Resíduos**. Brasília: Local Governments for Sustainability, 2016.

\_\_\_\_\_. **Nota Metodológica SEEG 4.0: Setor Mudança de Uso do Solo e Florestas**. Brasília: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.

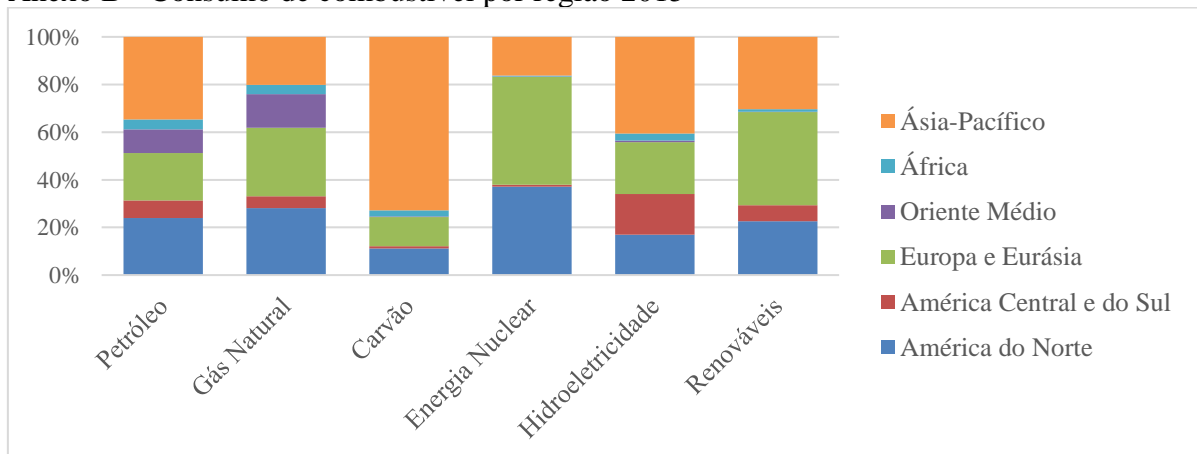
## ANEXOS

Anexo A - Diagrama Sankey, Brasil - 2015



Fonte: SEEG

Anexo B - Consumo de combustível por região 2015



Fonte: BP

## Anexo C - Emprego por Nível Setorial Delineado – Brasil 2010

1	1.409.597
2	211.216
3	5.246.305
4	410.734
5	796.617
6	4.343.252
7	8.382.239
8	2.308.822
9	20.959.573

Fonte: RAIS

Anexo D -Poluição Gerada (Mil t CO<sub>2</sub> eq) por Nível Setorial Delineado – Brasil 2010

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
1	871.049,99	382.656,62	136.701,84
2	76.164,36	5.931,66	1.161,76
3	7.524,45	1.212,65	1.641,68
4	47.521,59	116,06	152,64
5	61.001,81	1.059,07	383,72
6	35.711,65	76.425,27	2.124,51
7	1.570,12	105,81	11,40
8	168.539,46	1.282,85	3.952,21
9	18.478,81	8.122,72	843,50

Fonte: SEEG

Anexo E - Consumo de Energia (10<sup>6</sup> tep) por Nível Setorial Delineado – Brasil 2010

	Gás Natural	Biomassa	Der. Petróleo	Carvão	Eletricidade
1	2,29	2.538,89	5.859,17	0,00	1.628,69
2	628,40	0,00	1.158,11	423,87	971,80
3	3.956,18	21.230,72	3.897,72	308,08	6.724,39
4	1.163,34	2.338,39	3.880,37	129,23	872,81
5	1.625,12	4.041,69	2.281,16	11.050,49	5.539,00
6	5.775,63	13.663,59	6.067,73	275,74	5.688,13
7	201,92	175,04	358,04	0,00	5.995,71
8	1.766,68	12.032,91	55.777,33	0,00	142,93
9	315,04	7.785,00	6.697,50	0,00	12.400,66

Fonte: EPE

## APÊNDICES

### Apêndice A - Agregação segundo atividade econômica CNAE 2.0

I	1	01911 Arroz, trigo e outros cereais	Agricultura
	2	01912 Milho em grão	
	3	01913 Algodão herbáceo, outras fibras da lav. temporária	
	4	01914 Cana-de-açúcar	
	5	01915 Soja em grão	
	6	01916 Outros produtos e serviços da lavoura temporária	
	7	01917 Laranja	
	8	01918 Café em grão	
	9	01919 Outros produtos da lavoura permanente	
	10	01921 Bovinos e outros animais vivos, prods. animal, caça e serv.	
	11	01922 Leite de vaca e de outros animais	
	12	01923 Suínos	
	13	01924 Aves e ovos	
	14	02801 Produtos da exploração florestal e da silvicultura	
	15	02802 Pesca e aquicultura (peixe, crustáceos e moluscos)	
II	16	05801 Carvão mineral	Indústria Extrativa
	17	05802 Minerais não-metálicos	
	18	06801 Petróleo, gás natural e serviços de apoio	
	19	07911 Minério de ferro	
	20	07921 Minerais metálicos não-ferrosos	
III	21	10911 Carne de bovinos e outros prod. de carne	Indústria de Transformação I
	22	10912 Carne de suíno	
	23	10913 Carne de aves	
	24	10914 Pescado industrializado	
	25	10915 Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	
	26	10916 Outros produtos do laticínio	
	27	10921 Açúcar	
	28	10931 Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas	
	29	10932 Óleos e gorduras vegetais e animais	
	30	10933 Café beneficiado	
	31	10934 Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz	
	32	10935 Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho	
	33	10936 Rações balanceadas para animais	
	34	10937 Outros produtos alimentares	
	35	11001 Bebidas	
	36	12001 Produtos do fumo	
	37	13001 Fios e fibras têxteis beneficiadas	
	38	13002 Tecidos	
	39	13003 Art. têxteis de uso doméstico e outros têxteis	
	40	14001 Artigos do vestuário e acessórios	
	41	15001 Calçados e artefatos de couro	
	42	16001 Produtos de madeira, exclusive móveis	
	43	17001 Celulose	
	44	17002 Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel	
	45	18001 Serviços de impressão e reprodução	
	46	19911 Combustíveis para aviação	
	47	19912 Gasoálcool	
	48	19913 Naftas para petroquímica	
	49	19914 Óleo combustível	
	50	19915 Diesel - biodiesel	
	51	19916 Outros produtos do refino do petróleo	
	52	19921 Etanol e outros biocombustíveis	
	53	20911 Produtos químicos inorgânicos	
	54	20912 Adubos e fertilizantes	
	55	20913 Produtos químicos orgânicos	
	56	20914 Resinas, elastômeros e fibras artif. e sintéticas	
	57	20921 Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	
	58	20922 Produtos químicos diversos	
	59	20923 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	
	60	20931 Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	
	61	21001 Produtos farmacêuticos	
	62	22001 Artigos de borracha	

(Continua)

	63	22002 Artigos de plástico	
IV	64	23001 Cimento	Minerais Não-Metálicos
	65	23002 Artefatos de cimento, gesso e semelhantes	
	66	23003 Vidros, cerâmicos e outros prod. de minerais não-metálicos	
V	67	24911 Ferro-gusa e ferroligas	Metalurgia
	68	24912 Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	
	69	24921 Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos	
	70	24922 Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos	
VI	71	25001 Produtos de metal, excl. máquinas e equipamentos	Outras Indústrias
	72	26001 Componentes eletrônicos	
	73	26002 Máquinas para escritório e equip. de informática	
	74	26003 Material eletrônico e equip. de comunicações	
	75	26004 Equip. de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos	
	76	27001 Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	
	77	27002 Eletrodomésticos	
	78	28001 Tratores e outras máquinas agrícolas	
	79	28002 Máquinas para a extração mineral e a construção	
	80	28003 Outras máquinas e equipamentos mecânicos	
	81	29911 Automóveis, camionetas e utilitários	
	82	29912 Caminhões e ônibus, incl. cabines, carrocerias e reboques	
	83	29921 Peças e acessórios para veículos automotores	
	84	30001 Aeronaves, embarcações e outros equipamentos de transporte	
	85	31801 Móveis	
	86	31802 Produtos de indústrias diversas	
87	33001 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos		
88	35001 Eletricidade, gás e outras utilidades		
89	36801 Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos		
90	41801 Edificações		
91	41802 Obras de infra-estrutura		
92	41803 Serviços especializados para construção		
VII	93	45801 Comércio por atacado e varejo	Comércio
VIII	94	49001 Transporte terrestre de carga	Transporte
	95	49002 Transporte terrestre de passageiros	
	96	50001 Transporte aquaviário	
	97	51001 Transporte aéreo	
	98	52801 Armazenamento e serviços auxiliares aos transportes	
	99	52802 Correio e outros serviços de entrega	
IX	100	55001 Serviços de alojamento em hotéis e similares	Serviços
	101	56001 Serviços de alimentação	
	102	58001 Livros, jornais e revistas	
	103	59801 Serviços cinematográficos, música, rádio e televisão	
	104	61001 Telecomunicações, TV por assinatura e outros serv. relacionados	
	105	62801 Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	
	106	64801 Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	
	107	68001 Aluguel efetivo e serviços imobiliários	
	108	68002 Aluguel imputado	
	109	69801 Serviços jurídicos, contabilidade e consultoria	
	110	71801 Pesquisa e desenvolvimento	
	111	71802 Serviços de arquitetura e engenharia	
	112	73801 Publicidade e outros serviços técnicos	
	113	77001 Aluguéis não-imob. e gestão de ativos de propriedade intelectual	
	114	78801 Condomínios e serviços para edifícios	
	115	78802 Outros serviços administrativos	
	116	80001 Serviços de vigilância, segurança e investigação	
	117	84001 Serviços coletivos da administração pública	
	118	84002 Serviços de previdência e assistência social	
	119	85911 Educação pública	
120	85921 Educação privada		
121	86911 Saúde pública		
122	86921 Saúde privada		
123	90801 Serviços de artes, cultura, esporte e recreação		
124	94801 Organizações patronais, sindicais e outros serviços associativos		
125	94802 Manutenção de computadores, telefones e objetos domésticos		
126	94803 Serviços pessoais		
127	97001 Serviços domésticos		



## Apêndice B – Matriz Insumo Produto para o nível 9 Setores, Brasil - 2010

1,085340	0,014104	0,128299	0,027297	0,022051	0,016245	0,226616	0,040618	0,014540
0,020754	1,051392	0,072487	0,094342	0,215527	0,038713	0,107828	0,025332	0,008833
0,326510	0,136667	1,401057	0,255088	0,166138	0,145002	1,243416	0,411173	0,108820
0,020520	0,007156	0,009122	1,108243	0,013915	0,045596	0,050443	0,008115	0,005336
0,007433	0,022428	0,010037	0,023511	1,183946	0,088829	0,101456	0,013505	0,007161
0,066634	0,145550	0,079622	0,144442	0,252880	1,302325	0,958957	0,162921	0,082046
0,004400	0,007197	0,012736	0,016414	0,015656	0,009323	1,109194	0,023302	0,005698
0,030025	0,077952	0,054051	0,056151	0,076346	0,036942	0,557880	1,174854	0,027255
0,072156	0,182941	0,147094	0,174660	0,178600	0,143865	2,263403	0,293543	1,274813

Apêndice C - Forma de Impacto -  $\bar{X} = Hf$ 

0,00152	0,00430	0,00407	0,01663	0,01362	0,00621	0,01428	0,00891	0,00098
0,01509	0,00724	0,02104	0,03730	0,03589	0,01673	0,05905	0,05616	0,00700
0,02786	0,02205	0,01723	0,06273	0,03406	0,01574	0,13152	0,22818	0,00944
0,00061	0,00334	0,00103	0,00338	0,07662	0,00607	0,00714	0,00102	0,00051
0,00816	0,00748	0,00848	0,01587	0,04279	0,00953	0,11351	0,00662	0,00719

3,00024	0,43112	0,42095	0,75293	0,60714	0,16114	1,09983	0,81370	0,07422
1,30397	0,04984	0,16045	0,04357	0,05049	0,07571	0,32601	0,06245	0,02500
0,46539	0,01255	0,05742	0,01533	0,01467	0,00959	0,10844	0,03411	0,00724

7,31309	4,66395	7,91169	10,21824	10,64156	6,65136	155,26458	16,01889	11,08199
---------	---------	---------	----------	----------	---------	-----------	----------	----------

## Apêndice D - Demanda Final Projetada para Os Três Cenários Projetados

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
128.731	128.731	128.731
91.211	91.211	91.211
937.156	937.156	937.156
7.814	8.103	8.245
30.461	30.750	30.892
1.182.160	1.182.160	1.182.160
32.548	32.548	32.548
98.264	98.264	98.264
1.839.632	1.839.632	1.839.632

## Apêndice E - Dados Projetados Para Cada Os Cenários Hipotéticos

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	
Energia			10 <sup>3</sup> tep
15.426,41	15.435,14	15.439,44	Gás Natural
63.786,42	63.807,54	63.817,94	Biocombustíveis
85.950,92	85.978,84	85.992,60	Derivados de Petróleo
12.165,77	12.188,85	12.200,22	Carvão
39.948,25	39.965,17	39.973,51	Eletricidade

Poluição			mil t CO <sub>2</sub> eq
1.287.194	1.287.587	1.287.780	CO <sub>2</sub>
476.887	476.914	476.928	NH <sub>4</sub>
146.965	146.974	146.978	N <sub>2</sub> O

Empregos			Pessoas
44.062.711	44.068.728	44.071.693	