

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

**CONTAS ECONÔMICAS AMBIENTAIS DA ENERGIA NO
BRASIL E A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

MÁRIO RUBENS FIGUEIREDO BARROSO

Belo Horizonte, 08 de Novembro de 2018

Mário Rubens Figueiredo Barroso

CONTAS ECONÔMICAS AMBIENTAIS DA ENERGIA NO BRASIL E A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadora: Prof^a. Edna Maria de Faria Viana
(Universidade Federal de Minas Gerais)

Coorientador: David Montero Dias (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE)

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018



Universidade Federal de Minas Gerais

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - 31.270-901 - Belo Horizonte – MG Tel.: +55 31

3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783 www.demec.ufmg.br - E-mail:

cpgmec@demec.ufmg.br

CONTAS ECONÔMICAS AMBIENTAIS DA ENERGIA NO BRASIL E A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

MÁRIO RUBENS FIGUEIREDO BARROSO

Dissertação defendida e aprovada em (dia), de (mês) de (ano da defesa), pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Energia e Sustentabilidade**"

Profa. Dra. Edna Maria de Faria Viana - UFMG – Orientadora

Prof. Dr. David Montero Dias- IBGE – Coorientador

Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez - UNIFEI – Examinador

Prof. Dr. Paulo Magalhães - UFOP – Examinador

“O primeiro passo é ter fé, o segundo é não desistir”.

Mário R. Figueiredo Barroso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar em todos os meus caminhos e me dar forças para superar as dificuldades de forma honrosa. Sei que tudo que consigo é porque Ele me qualifica e me presenteia. Portanto, toda glória primeiramente é Dele, do Divino Espírito Santo, Santo Expedito e da Nossa Senhora Maria.

À minha família, por acreditar em mim e me dar a força que somente o amor pode dar. Meu pai “Tiãozinho de Gislene” exemplo de homem de caráter, simplicidade e amor tendo tantas dificuldades sempre teve a certeza de que a escola é o melhor caminho para mim e meus irmãos. Minha amada mãe “Gislene de Tiãozinho”, uma guerreira que teve o maior papel em minha educação e por garantir que não me desviasse do caminho correto, sempre está comigo e me motiva a ser melhor. À minha esposa Fernanda por ser a melhor companheira que eu poderia ter. Você é minha parceira em todos os momentos, com seu amor tenho força e motivação para encarar qualquer desafio. Obrigado por querer crescer e construir uma família junto a mim e por me ajudar a superar tempos muito difíceis que passei durante o mestrado. Aos meus irmãos Cristiano e Nayara pelo amor e fraternidade que nos une sempre.

Sou eternamente grato à Prof.^a Edna por aceitar me orientar, sem a sua ajuda talvez não teria conseguido chegar até aqui. De forma semelhante agradeço ao Prof. David que foi uma luz para mim em tempos sombrios de busca de readequação de minha trajetória no meu mestrado. Ao Prof. Martinez pela orientação e boa vontade.

À secretaria do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, na pessoa da secretária Marina que sempre que solicitada me ajudou, sempre com eficiência, bom humor e tranquilidade, qualidades cada vez mais raras no serviço público.

Aos meus amigos que me querem bem, aos professores e colegas que fiz durante o curso em especial do LABTERM na pessoa de meu amigo Luciano, todos, sem exceção, contribuíram de alguma forma em minha jornada. Desejo sucesso a todos.

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS E QUADROS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
RESUMO	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Princípios de funcionamento da geração de energia solar fotovoltaica.....	14
2.2 Histórico do desenvolvimento tecnológico da energia solar fotovoltaica.....	16
2.3 Histórico da energia solar fotovoltaica no Brasil	19
2.4. Balanço energético nacional e a matriz energética brasileira.....	23
2.4.1 Energia hidrelétrica	24
2.4.2 Energia eólica	27
2.4.3 Energia solar fotovoltaica.....	30
2.4.4 Modelos centralizado e distribuído de geração fotovoltaica	32
2.5 Posicionamento econômico da energia solar fotovoltaica.....	36
2.6 Contas Economicas Ambientais da Energia.....	40
3 METODOLOGIA	43
3.1 Tabela de Recursos e Usos Físicos (<i>Physical Supply and Use Tables</i> - PSUT).....	43
3.2 Tabela De Recursos e Usos Monetários (<i>Monetary Supply And Use Tables</i> - MSUT)	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 Disponibilidade de energia de recursos naturais	50
4.2 Produtos de energia disponibilizados em cada setor	50
4.3 Resíduos energéticos disponibilizados	52
4.4 Outros fluxos residuais disponibilizados.....	53
4.5 Total de recursos disponibilizados por cada setor	53
4.6 Estratificação da disponibilidade de recursos naturais energéticos.....	54
4.7 Produtos de Energia e sua transformação em eletricidade	55
4.8 Uso dos produtos energéticos em cada setor da economia brasileira.....	56
4.9 Resíduos de Energia	57
4.10 Outros fluxos residuais	57
4.11 Total de recursos energéticos utilizados em cada setor.....	58

4.12 Tabela monetária do uso dos recursos energéticos MSUT.....	58
5 CONCLUSÕES	65
ABSTRACT	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	68
ANEXO A.....	70
ANEXO B.....	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Célula Fotovoltaica de Silício Monocristalino.	15
FIGURA 2. 2 - Célula fotovoltaica de Silício Policristalino.	15
FIGURA 2.3 - Camadas de Materiais Constituintes de um Painel Fotovoltaico.....	16
FIGURA 2.4 - Principais Eventos Ligados ao Desenvolvimento da Energia SolarFotovoltaica no Mundo.....	18
FIGURA 2.5 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte em 2016.	24
FIGURA 2.6 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica.	25
FIGURA 2.7 – Variação da oferta de energia elétrica por fonte hidráulica.	26
FIGURA 2.8 - Funcionamento de um aerogerador.	27
FIGURA 2.9 - Potencial anual médio de geração eólica.	29
FIGURA 2.10 - Oferta de energia elétrica por fonte eólica.....	30
FIGURA 2.12 - Potencial de geração fotovoltaico no Brasil.	31
FIGURA 2.13 - Oferta de energia elétrica por fonte solar.	32
FIGURA 2.14 - Representação de uma Usina Fotovoltaica de Grande Porte Conectada à Rede	33
FIGURA 2.15 - Representação de uma usina fotovoltaica residencial de pequeno porte conectada à rede.....	34
FIGURA 2.16 - Investimento global em fontes renováveis de energia por setor.	
FIGURA 2.17 - Divisão de mercado na produção de módulos fotovoltaicos em 2016.	37
FIGURA 3.1 - Estrutura da tabela de recursos e usos físicos PSUT.	44
FIGURA 3.2 - Estrutura básica da tabela de recursos e usos monetários MSUT.	47

LISTA DE TABELAS E QUADROS

QUADRO 2.1 - Geração Distribuída por fontes de energia.....	35
TABELA 2.1 - Geração de energia solar fotovoltaica, modalidade distribuída, nos Estados brasileiros.....	35
TABELA 2.2 - Geração solar no mundo em 2016	38
TABELA 3.1 - Tabela de apoio ao preenchimento MSUT, custos dos produtos de energia ano 2016.....	48
TABELA 4.1 - PSUT Entradas de Energia de Recursos Naturais.....	50
TABELA 4.2 - PSUT Produtos de energia.....	51
TABELA 4.3 - PSUT Resíduos energéticos	52
TABELA 4.4 - PSUT - Outros fluxos residuais	53
TABELA 4.5 - PSUT - Total de recursos	54
TABELA 4.7 - PSUT - Produtos de Energia. Subitem Transformação de energia.....	55
TABELA 4.8 - PSUT - Produtos de Energia. Subitem Consumo final dos produtos de energia	56
TABELA 4.9 - PSUT - Resíduos de Energia	57
TABELA 4.10 - PSUT - Outros fluxos residuais	57
TABELA 4.11 -PSUT - Total de recursos	58
TABELA 4.12 -Tabela De Usos e Recursos Monetários (US\$), item Produtos de Energia	59
TAB 4.13 - Tabela De Usos E Recursos Monetários (US\$), item Consumo Final de Energia.....	59
TABELA 4.14 - PSUT - Consumo final dos produtos de energia por setores e valor percentual final	60
TABELA 4.15 - MSUT - Consumo final dos produtos de energia em valores monetários por setores e valor percentual final	61
TABELA 4.16 - Valor percentual de PSUT e MSUT por setores e comparação entre uso e valor agregado da matriz utilizada por cada setor	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DEMEC	Departamento de Engenharia Mecânica
PPGMEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FV	Fotovoltaica
CSP	Concentrated Solar Power
F.C.	Fator de conversão
UFV	UsinaFotovoltaica
SEEA	System of Environmental Economic Accounting
SCEA	Sistema de Contas Econômicas Ambientais
ONU	Organizações das Nações Unidas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EVA	Acetato de EtilVinila
COP-21	Conferência das Partes – Edição de número 21
ABRAPCH	Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas
BEN	Balço Energético Nacional
PSUT	Tabela de Recursos e Usos Físicos
PIVMMUCSP	Percepção do Impacto do Valor Monetário da Matriz Utilizada em Cada Setor
MSUT	Tabela de Recursos e Usos Monetários

RESUMO

Com a regulamentação do setor energético a partir de 2012 e o estabelecimento do sistema de compensação de energia no país, ocorreu uma expansão do mercado fotovoltaico. Tal expansão se deve à maior segurança jurídica proporcionada aos investidores do setor energético no Brasil, bem como ao incremento da viabilidade financeira de projetos de geração fotovoltaica, devido a fatores como: a redução do custo dos componentes dos sistemas de geração fotovoltaica, o aumento do custo da energia elétrica fornecida pelas concessionárias, o aumento da oferta de mão de obra especializada e a competitividade entre empresas integradoras. O presente trabalho visa apresentar a contabilidade física e monetária da matriz energética utilizada nos diversos setores da economia brasileira, adotando-se o Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Energia, advindo do Inglês “*System of Economic Energy Accounting*” (SEEA-Energy) utilizado pela Organização das Nações Unidas (ONU). A partir dessas análises, pretendeu-se verificar o panorama atual da matriz energética brasileira, a fim de vislumbrar as possibilidades de incremento na utilização da energia fotovoltaica nos diferentes setores da economia brasileira. A metodologia utilizada fora o preenchimento da Tabela de Recursos Físicos Energéticos Disponíveis e Utilizados (PSUT) e, posteriormente, o preenchimento da Tabela de Recursos Monetários Disponíveis e Utilizados (MSUT), utilizando-se dos dados da matriz energética brasileira advindos do Balanço Energético Nacional. Por meio da análise dos resultados, verificou-se, dentre outros, o percentual de uso de cada fonte de energia nos diferentes setores produtivos brasileiro, e o custo dos produtos energéticos para cada setor da economia brasileira. Concluiu-se que (i) a energia elétrica é o produto energético de maior valor agregado na matriz energética brasileira; (ii) o maior custo de energia elétrica recai sobre o consumidor do setor residencial; (iii) a geração de energia solar fotovoltaica, na modalidade descentralizada, é uma possibilidade de redução de custos para os consumidores dos setores residencial e comercial e deve ser incentivada.

Palavras chaves: Contas Econômicas Ambientais da Energia, SEEA-Energy, Balanço Energético Brasileiro, Energia Solar Fotovoltaica.

1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é essencialmente renovável, uma vez que a energia renovável corresponde, segundo pesquisas de 2016, ao valor de 81,7% de toda a energia elétrica disponibilizada no Brasil. Desta robusta matriz renovável, destaca-se a produção de eletricidade por energia hidráulica advinda dos grandes reservatórios artificiais que, no ano de 2016, correspondia a aproximadamente 68% da oferta interna de energia elétrica. Soma-se à matriz brasileira outras fontes de produção de energia de menor participação, porém de grande potencial de crescimento, como a biomassa com 8,2%, a eólica com 5,4%, e por fim, a de maior potencial de crescimento que é a energia solar fotovoltaica, atualmente representando apenas 0,01% no referido ano (EPE, 2017).

A predominância da hidroeletricidade se explica, dentre outras coisas, pela vasta oferta hídrica do país, pela tecnologia já consolidada no setor, e pelo seu baixo custo. Estima-se que apenas 60% do potencial hidrelétrico é aproveitado no Brasil, sendo a região Norte a de maior potencial de exploração (ABRAPCH, 2018). Apesar das vantagens de utilização da energia hídrica, os ciclos de chuva irregulares afetam a geração e comercialização de energia, diminuindo sua oferta e causando transtornos à população, como o aumento tarifário e, em último nível, o corte de suprimento elétrico, conhecidos como “apagões”.

Em oposição à susceptibilidade de efeitos sazonais dos recursos hídricos na geração de energia hidroelétrica, a irradiação solar para a geração de energia fotovoltaica apresenta-se constante ano a ano, o que pode permitir uma maior segurança energética ao se adotar tal fonte (INATOMI, 2005). Além disso, a elevada irradiação solar global incidente no território brasileiro, que varia entre 1.500 a 2.400 kWh/m²/ano, coloca o Brasil em uma posição de alto potencial de exploração fotovoltaica, uma vez que países atualmente líderes na exploração dessa fonte, como a Alemanha, dispõe de valores de irradiação mais baixos, entre 900 e 1.250 kWh/m²/ano (PEREIRA et. al., 2006).

Recentemente, a exploração do potencial fotovoltaico no Brasil cresceu significativamente. Tal crescimento se deu pela soma de fatores como: uma maior segurança jurídica no setor por meio de regulamentações normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a adoção de uma nova política estatal com a realização de leilões de energia a partir de 2013, e também pela redução do custo dos componentes utilizados para a geração fotovoltaica.

A soma desses fatores resultou em um crescimento expressivo da geração de energia elétrica por meio de usinas fotovoltaicas no país, saindo de 2 GWh produzidos em 2012, para 85 GWh, em 2016. Resultou ainda em um incremento de 690% da produção estatal e de autogeração de energia elétrica fotovoltaica, entre os anos de 2015 e 2016, conforme dados apresentados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017),

Uma vez apresentada a matriz energética brasileira e observado o crescimento da produção de energia fotovoltaica, parte-se ao estudo das Contas Econômicas Ambientais da Energia, no âmbito do System of Environmental Economic Accounting (SEEA-Energy). O SEEA-Energy é um sistema complexo utilizado para organizar os dados energéticos de um país quanto à produção e ao consumo de energia, bem como para estabelecer o fluxo dessa energia nos diferentes setores da economia (UN, 2018).

Ao se utilizar o método SEEA-Energy para análise dos dados energéticos de um país, é possível estabelecer relações que demonstram a quantidade de energia disponível em seus recursos naturais e, principalmente, a disponibilidade e o uso desta energia nos diversos setores produtivos de um país em um determinado período de análise (UN, 2018).

O presente estudo possibilita, por meio da adoção do método SEEA-Energy, no âmbito das Contas Econômicas Ambientais da Energia, comparar o desempenho das diferentes fontes de energia ao longo do tempo no Brasil, e com isso, subsidiar análises mais detalhadas do setor energético quanto à viabilidade econômica e ambiental de tais fontes de energia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Princípios de funcionamento da geração de energia solar fotovoltaica

Para que se entenda de que maneira é produzida a energia elétrica fotovoltaica, é fundamental o estudo dos princípios de funcionamento da geração de energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica é obtida por meio da conversão direta da luz em corrente elétrica. Essa conversão ocorre nas células fotovoltaicas que são constituídas de materiais de comportamento intermediário entre condutores e isolantes, chamados materiais semicondutores. Esse processo é conhecido como Efeito Fotovoltaico (PINHO et. al 2014).

Atualmente, a produção das células fotovoltaicas é, em sua grande maioria, composta de silício cristalino. Tais células podem apresentar estrutura mono ou policristalina, sendo essa diferença advinda dos distintos processos de produção. Estruturas monocristalinas, ou Silício monocristalino (m-Si), são obtidas pelo método Czochralski (Si-Cz), também conhecido como método de fusão zonal flutuante (Si-FZ, Float Zone), enquanto estruturas policristalinas (p-Si) são obtidos pela solidificação de pequenos cristais em um bloco a partir de quartzo de elevada pureza fundido (GOETZBERGERA et. al., 2003).

Após a fabricação de mono ou policristais, as lâminas de espessura da ordem de 0,2 mm são obtidas para a posterior montagem da célula fotovoltaica. Os painéis fotovoltaicos (FV) mais empregados comercialmente são constituídos de células de Silício cristalino puro e apresentam rendimento entre 13% e 17% (PINHO et. al 2014). A FIG.2.1 e FIG. 2.2 mostram um exemplo de célula fotovoltaica de silício monocristalino e policristalino.

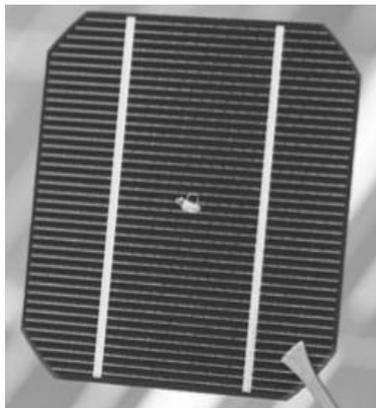


FIGURA 2.1 - Célula Fotovoltaica de Silício Monocristalino.

FONTE: PINHO et. al., 2014, p.128

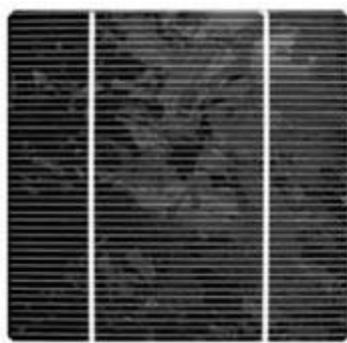


FIGURA 1. 2 - Célula fotovoltaica de Silício Policristalino.

FONTE:SUNFLOWER-SOLAR, 2018

Para a produção em níveis usuais de energia, as células são agrupadas em arranjos de 36 a 216 células, formando os painéis fotovoltaicos. Tais arranjos são soldados em série ou em paralelo, conforme a tensão e corrente desejadas, e em seguida, encapsuladas. O processo de encapsulamento ocorre com o posicionamento de camadas de diferentes materiais, a saber: vidro temperado de alta transparência, acetato de etilvinila (EVA) estabilizado para exposição à radiação ultravioleta, células, nova camada de EVA e, por último, um filme posterior isolante. Toda essa montagem é posicionada em uma moldura de alumínio anodizado que confere ao arranjo de células fotovoltaicas maior proteção contra intempéries e esforços mecânicos (GOETZBERGER et. al., 2003).

A FIG.2.3 mostra os componentes presentes em um encapsulamento de um painel fotovoltaico comercial:

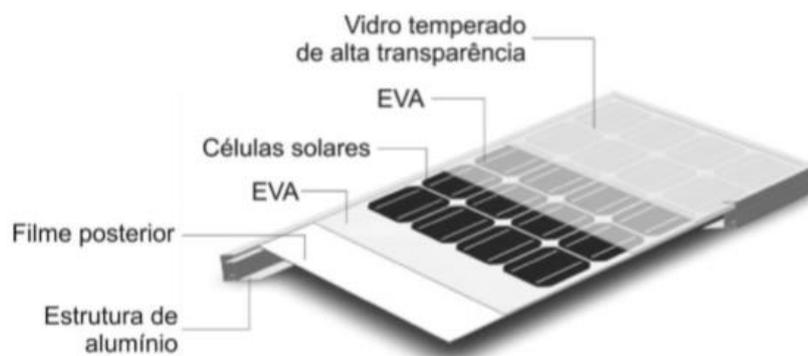


FIGURA 2.3 - Camadas de Materiais Constituintes de um Painel Fotovoltaico.

FONTE:PINHO et. al., 2014, p. 132

Quanto a corrente elétrica, a energia gerada por efeito fotovoltaico é caracterizada por ser de corrente contínua. Assim, para aplicações de sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica, faz-se o uso de banco de baterias que também utilizam a corrente contínua (PINHO et. al., 2014).

Entretanto, a grande maioria dos sistemas FV são conectados à rede e, para isso, necessitam da utilização de inversores de corrente (conversão de corrente contínua para corrente alternada), de forma a garantir a adequada conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede elétrica da concessionária, e a alimentação dos eletrodomésticos e demais aparelhos elétricos (PINHO et. al. 2014).

2.2 Histórico do desenvolvimento tecnológico da energia solar fotovoltaica

O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica tem como marco inicial a observação do Efeito Fotovoltaico, o qual foi relatado pela primeira vez no ano de 1839 por Edmond Becquerel. Ocasão em que foi observado o surgimento de uma diferença de potencial entre os terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção da luz. No entanto, apenas em 1954 que os primeiros protótipos de células fotovoltaicas de silício, semelhantes às que se utilizam hoje, foram desenvolvidos comercialmente nos Laboratórios Bell nos Estados Unidos, por Chapin et. al. (GREEN, 2005).

As primeiras células fotovoltaicas apresentavam eficiência energética de 6%, sendo que naquela época, sua produção comercial era voltada principalmente para o setor espacial

(GOETZBERGERA et. al., 2003). Contudo, felizmente, desde a criação da primeira célula fotovoltaica, a tecnologia nesta seara tem avançado significativamente ao redor do mundo. Atualmente, a eficiência energética, calculada pelo total de radiação solar convertida em energia elétrica em função da quantidade de energia radiante na qual a célula fotovoltaica está exposta, alcança valores cada vez maiores, chegando a resultados de 13% a 30% em conversores comerciais e de até 46% em aplicações laboratoriais (ISE, 2018) (NEED, 2016).

A FIG2.4 mostra uma linha de tempo referente à evolução tecnológica e o emprego da energia solar fotovoltaica nos dias atuais.

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1839	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
1880	Retificador de Ponto de Contato (Braun) Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day) Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski) Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger) Teoria de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Kronig & P) Teoria de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember) Aplicações Fotométricas (Lange) 1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálcio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl) Teoria da Junção <i>p-n</i> (Schockley)
1954	Célula Solar de Si (Person, Fuller & Chapin)
1955	Junções <i>p-n</i> Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al) Teoria de Células Solares (Pian & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W) Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf) Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach) Células de Si <i>n-p</i> Resistentes a Radiação (Kesperis 7 M.) Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si) Células Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) de 24% de Eficiência
1992	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999 Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2005	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34% Células de Tripla Junção Superam os 40% de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011) Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Acumulada (EPIA, 2012) Potência Instalada Acumulada Supera 100GWp (EPIA, 2012)
2012	2013)

FIGURA 2.4 - Principais Eventos Ligados ao Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica no Mundo.

FONTE: Adaptado de PINHO et. al., 2014 apud FERREIRA, 1993

Inicialmente, o desenvolvimento de tecnologias, voltadas à conversão de energia solar em energia elétrica, eram motivadas pela possibilidade de geração e de fornecimento de energia em localidades remotas. Nesse sentido, com o advento da Energia Fotovoltaica elimina-se a necessidade de ampliação de redes de distribuição de energia para ligar consumidores isolados, muitas vezes localizados a centenas de quilômetros da rede elétrica (PINHO et. al., 2014).

Posteriormente, a corrida espacial torna-se a maior impulsionadora do desenvolvimento da energia fotovoltaica. Tal impulso decorre das vantagens de leveza e longa vida útil que são características importantes para a energização de sistemas eletroeletrônicos no espaço (PINHO et. al., 2014).

Com a crise do petróleo nos anos 1970, houve incremento na busca por fontes alternativas de energia e, com isso, a tecnologia fotovoltaica passou a captar investimentos em seu desenvolvimento para aplicações terrestres. Esse fator, aliado a incentivos governamentais, levou à produção de células fotovoltaicas mais eficientes e de menor custo, favorecendo a sua utilização em maior escala, principalmente nos Estados Unidos, Alemanha e Japão seguidos por Itália, Espanha e Noruega (PINHO et. al., 2014).

2.3 Histórico da energia solar fotovoltaica no Brasil

A linha de tempo a seguir apresenta os principais fatos do desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil (PINHO et. al., 2014). O levantamento histórico aborda desde o início das pesquisas na década de 1950 até a publicação das normas regulamentadoras pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), sendo a norma mais recente, a Resolução Normativa nº 687/2015.

1950

Início de pesquisas e desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica no Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA), hoje Centro Técnico Espacial, e no Instituto Nacional de Tecnologia (INT)

- 1958 Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar
Desenvolvimento de células fotovoltaicas com eficiência de 12,5% pela Universidade de São Paulo (USP)
- 1970 Década de 70 marcada pelo desenvolvimento tecnológico FV equiparado aos países líderes Alemanha, EUA e Japão
Em colaboração internacional, inicia-se pesquisa e desenvolvimento de filmes finos no Instituto Militar de Engenharia (IME)
Produção de células de Cu₂S/CdS (sulfeto de cobre/ sulfeto de cádmio) resultando em módulo fotovoltaico de 30 x 30 cm com eficiência de 5%
- 1978 Criação da Associação Brasileira de Energia Solar (ABENS)
- 1980 Instalação de duas fábricas de módulos fotovoltaicos entre o final dos anos 70 e início dos anos 80
Falta de incentivos reduz os grupos de pesquisa na área FV
Redução de produção fabril de módulos FV e fechamento de fábricas
- 1988 Interrupção das atividades da Associação Brasileira de Energia Solar
- 1990 Década de 90, em função da falta de incentivos, marca a defasagem do setor FV frente aos países líderes dessa tecnologia
Em escala laboratorial, desenvolve-se em universidades tecnologias para purificação de silício para uso em células FV
- 1994 Criação do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de Salvo Brito (Cresesb) com objetivo de difundir o conhecimento técnico da área solar e eólica
Início de instalação de 8500 sistemas fotovoltaicos em localidades remotas pelo Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem)
- 1995 Instalação do primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) em Recife, PE tendo potência de 11kWp

- Células FV de silício cristalino são desenvolvidas para testes no primeiro satélite brasileiro
- Início de pesquisas e desenvolvimento de células FV de CdS/CdTe com eficiência de 6% e de silício amorfo hidrogenado com eficiência de 7%
- 2001 Criação do Fundo Setorial de Energia (CT-ENERG) resulta na formação de grupos de pesquisa e desenvolvimento em energia solar fotovoltaica e programas de pós-graduação
- 2002 Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) inicia estudos para regulamentação do uso de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFIs)
- 2003 Decreto nº 4.873/2003 do Governo Federal cria Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Programa Luz para Todos (LpT) coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME)
- A partir do Programa Luz para Todos há a instalação de milhares de SIGFIs nos estados de Minas Gerais e Bahia pelas respectivas distribuidoras estatais Cemig e Coelba
- 2004 Estudos iniciados pela Aneel em 2002 resulta na Resolução Normativa nº 83/2004 a respeito dos SIGFIs
- Criação do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar) em Porto Alegre –RS
- I Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (SNESF)
- 2005 II Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (SNESF)
- 2007 Em consonância com o programa LpT, a Eletrobrás, a Eletrobrás Distribuição Acre e a Agência Alemã de Cooperação Técnica (GIZ) criam em parceria o Projeto Piloto Xapuri que implanta 103 SIGFIs domiciliares em seringais no município de Xapuri, Acre
- 2008 Decreto nº 6.442/2008 altera o de nº 4.873/2003 do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Programa Luz para Todos (LpT)

- 2009 Publicação da Lei nº 12.111 que autoriza a utilização de subsídio governamental para projetos de sistemas de geração de energia elétrica em áreas isoladas do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN)
- 2011 Portaria Inmetro nº 4/2011 estabelece requisitos para etiquetagem dos módulos, inversores, controladores de carga e baterias constituintes dos sistemas fotovoltaicos e identifica laboratórios acreditados para efetuar ensaios.
Iniciativa privada instala a primeira Usina Fotovoltaica no Brasil. Essa com potência de 1 MWp localizada em Tauá, CE
- 2012 Revogação e substituição da Resolução Normativa nº 83/2004 para a Resolução Normativa nº 493/2012 que abrange SIGFIs e também os Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDIs)
Publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 regulamenta o modelo de compensação de energia elétrica por meio do balanço entre consumo e geração (*net metering*), para a micro e mini geração distribuída com potências de até 100 kWp e superiores a 100 kWp até 1 MWp respectivamente.
- 2013 Comitê Brasileiro de Eletricidade da ABNT (COBEI) elabora NBR 16149 Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica e NBR 16150 Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - procedimentos ed ensaio de conformidade
- 2014 O Ministério de Minas e Energia promove o Primeiro Leilão de Energia de Reserva de 2014 – LER/2014 de energia proveniente de empreendimentos fotovoltaicos.
- 2015 Resolução Normativa nº 687/2015 altera consideravelmente a RN nº 482/2012 considerados como incentivos ao setor FV. A micro e minigeração passam a ser limitadas por até 75 kWp e superior a 75 kWp e menor igual a 3 MWp respectivamente. Além de possibilitar empreendimentos com múltiplas unidades

consumidoras, geração remota, geração compartilhada, maior prazo para utilização do crédito energético (36 para 60 meses) e menor prazo de aprovação do sistema fotovoltaico (82 para 34 dias).

2.4. Balanço energético nacional e a matriz energética brasileira

O Balanço Energético Nacional (BEN) é um documento elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), e divulgado anualmente em um único documento que contém também a série histórica dos dados energéticos do Brasil em determinado período. Tal levantamento contém a contabilidade anual referente a reservas energéticas, passando por processos de conversão, consumo e também o comércio exterior de energia. Esse documento é de fundamental importância para o planejamento energético nacional subsidiando a análise e a tomada de decisão da administração pública e também do setor privado (EPE, 2017).

O presente trabalho adotará o BEN como base de dados energéticos oficial para a construção das contas econômicas ambientais no Brasil, a serem desenvolvidas neste trabalho.

De acordo com o BEN, a produção de energia elétrica no Brasil pode ser considerada como uma das que possui maior participação renovável em todo o mundo. A energia elétrica produzida por fontes renováveis é de 81,7% do total consumido, ficando o correspondente não renovável em menos do que 20% do total utilizado (EPE, 2017).

A FIG 2.5a seguir, retirada do Balanço Energético Nacional de 2017, referente ao ano de 2016, mostra a correspondência de cada fonte de energia na geração de energia elétrica que compõe a matriz energética brasileira.

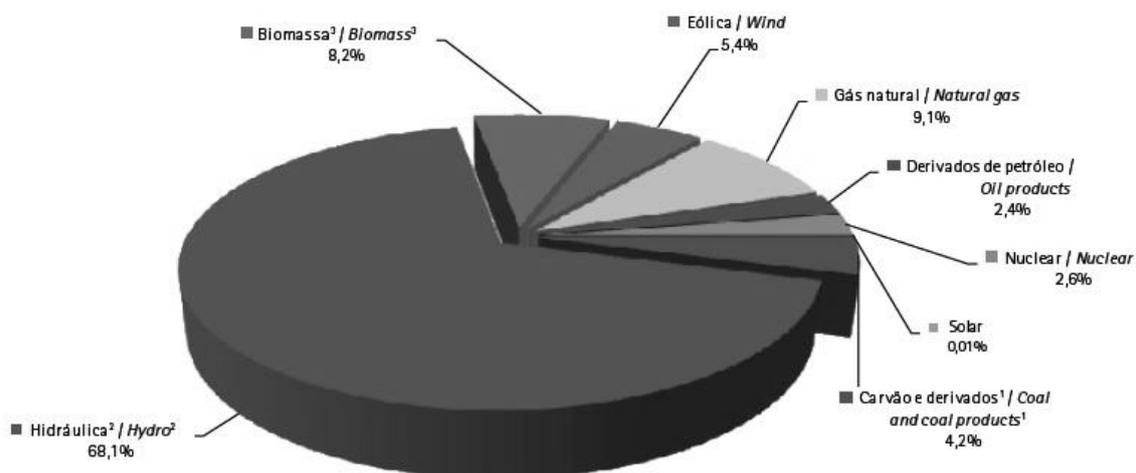


FIGURA2.5 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte em 2016.

FONTE: EPE, 2017, p.16

Depreende-se da FIG. 2.5 que a matriz elétrica brasileira é extremamente dependente da geração hidroelétrica, uma vez que a fonte hidráulica correspondia a 68,1% do total da energia elétrica produzida no país no ano de 2016. No mesmo período, a biomassa ficou na segunda posição, com a produção de 8,2% da energia elétrica no Brasil, seguida pela energia eólica, com 5,4% e pela energia solar fotovoltaica, com 0,01%.

Todavia, a crescente demanda energética e a variação de oferta de energia elétrica em face da dependência das hidrelétricas e períodos de seca, leva ao aumento da chamada carbonização da matriz elétrica nacional com a operação de centrais termoelétricas que utilizam de fontes não renováveis como carvão, óleo e gás natural. Dessa forma, torna-se razoável a busca por incremento da participação de demais fontes de energia renováveis.

Dentre essas fontes, destaca-se a energia eólica e a energia solar fotovoltaica com grande potencial de expansão. Assim, faz-se importante abordar as principais características da geração hidráulica, eólica e fotovoltaica.

2.4.1 Energia hidrelétrica

A tecnologia utilizada na geração de hidroeletricidade já se encontra consolidada e é reproduzida desde pequenas centrais hidrelétricas a colossais usinas. Isso contribui para

que o seu custo médio de produção seja, segundo a Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas (ABRAPCH), de aproximadamente R\$ 225/MWh valor considerado atrativo (ABRAPCH, 2018).

Observa-se na FIG2.6 uma representação genérica dos principais componentes de uma usina hidrelétrica.

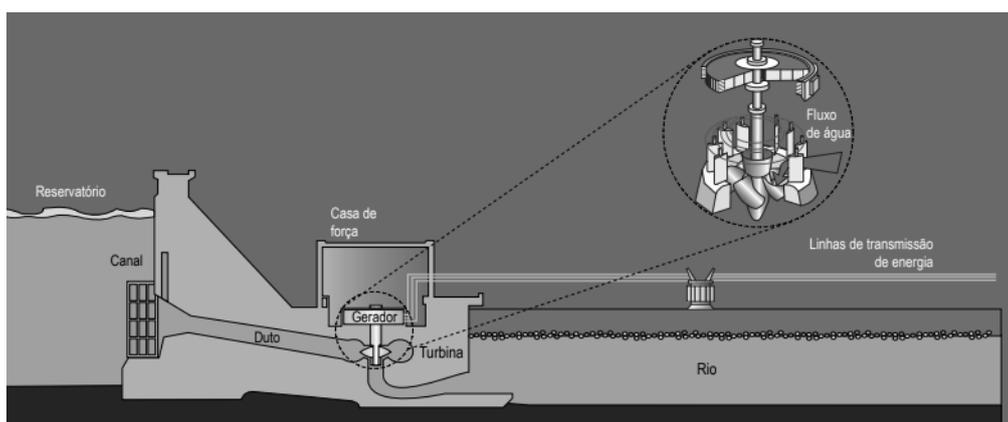


FIGURA2.6 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica.

FONTE: ANEEL2018

O processo de geração de energia elétrica obtida nas usinas hidrelétricas é de simples entendimento. Inicialmente, a água represada em um reservatório é captada por um duto até a casa de força, onde o volume de água atinge níveis de velocidade e força suficientes para movimentar a turbina. Tal turbina é conectada a um gerador que possibilita a obtenção de energia elétrica. Após esse processo, a energia é manipulada e transmitida para as unidades consumidoras através de linhas de transmissão, conforme FIG 2.6. Esse é o princípio basilar há décadas consolidado de geração de energia em hidrelétricas (ANEEL, 2018).

Além do domínio tecnológico, a predominância dessa fonte de energia no Brasil decorre do extenso território brasileiro que é privilegiado por deter rios caudalosos e vales que facilitam a construção de barragens para o represamento da água em lagos e a sua exploração hidráulica (ABRAPCH, 2018).

Apesar das grandes vantagens da geração hidroelétrica, existem também alguns pontos de atenção em relação à tamanha predominância dessa fonte de energia. O primeiro deles é o impacto socioambiental causado pela inundação de grandes áreas que, dentre outras, podem obrigar o reassentamento de comunidades inteiras em outras regiões. O segundo ponto é o elevado custo com a construção de extensas redes de distribuição para levar a energia produzida aos centros de consumo normalmente distantes das unidades geradoras (INATOMI, 2005).

Por fim, pode-se configurar como a maior desvantagem da dependência de usinas hidroelétricas, a suscetibilidade a períodos de baixa disponibilidade da matéria prima fundamental a esse processo, a água. Em períodos de seca, a produção de energia elétrica fica comprometida, podendo causar o racionamento energético, o fornecimento intermitente de energia elétrica e a elevação do custo energético. Consequentemente, nesses períodos, pode ser necessária a produção complementar de energia elétrica por fontes mais caras e não renováveis, ampliando a utilização das centrais termoelétricas (ANEEL, 2017).

A FIG2.7 mostra a variação na geração de energia hidráulica no Brasil entre os anos de 2007 e 2016. Destaca-se a queda na oferta de energia hidráulica de 428.333 GWh em 2011 para 359.743 GWh em 2015, correspondente a perda de 16% de geração hidroelétrica, fruto da crise hídrica experimentada no mesmo período (EPE, 2017).

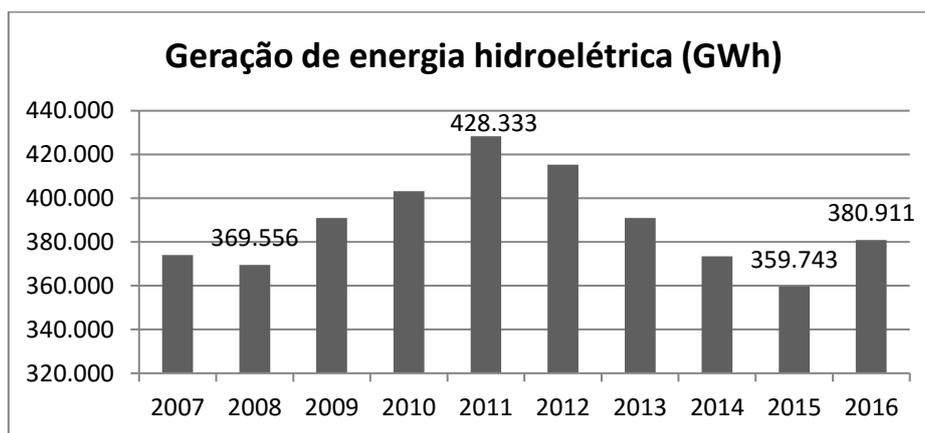


FIGURA2.7–Variação da oferta de energia elétrica por fonte hidráulica.

FONTE:Elaborado pelo autor através de dados da EPE 2017

2.4.2 Energia eólica

A utilização dos ventos para realização de trabalho é antiga e data de 200 A.C., quando já era utilizado pela civilização Persa para, por exemplo, o bombeamento de água e a moagem de grãos. Apesar da utilização dos ventos ser antiga, a geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas teve seu início apenas em 1888, com a primeira turbina eólica nos Estados Unidos (KALDELLIS, ZAFIRAKIS, 2011).

A FIG2.8 ilustra o processo de geração de energia eólica. Observa-se que a obtenção de energia elétrica nos aerogeradores ocorre pelo movimento das pás conectadas a um rotor que por sua vez se conecta a um eixo principal. Esse eixo movimentado se conecta a um gerador produzindo assim, eletricidade (EI, 2017).

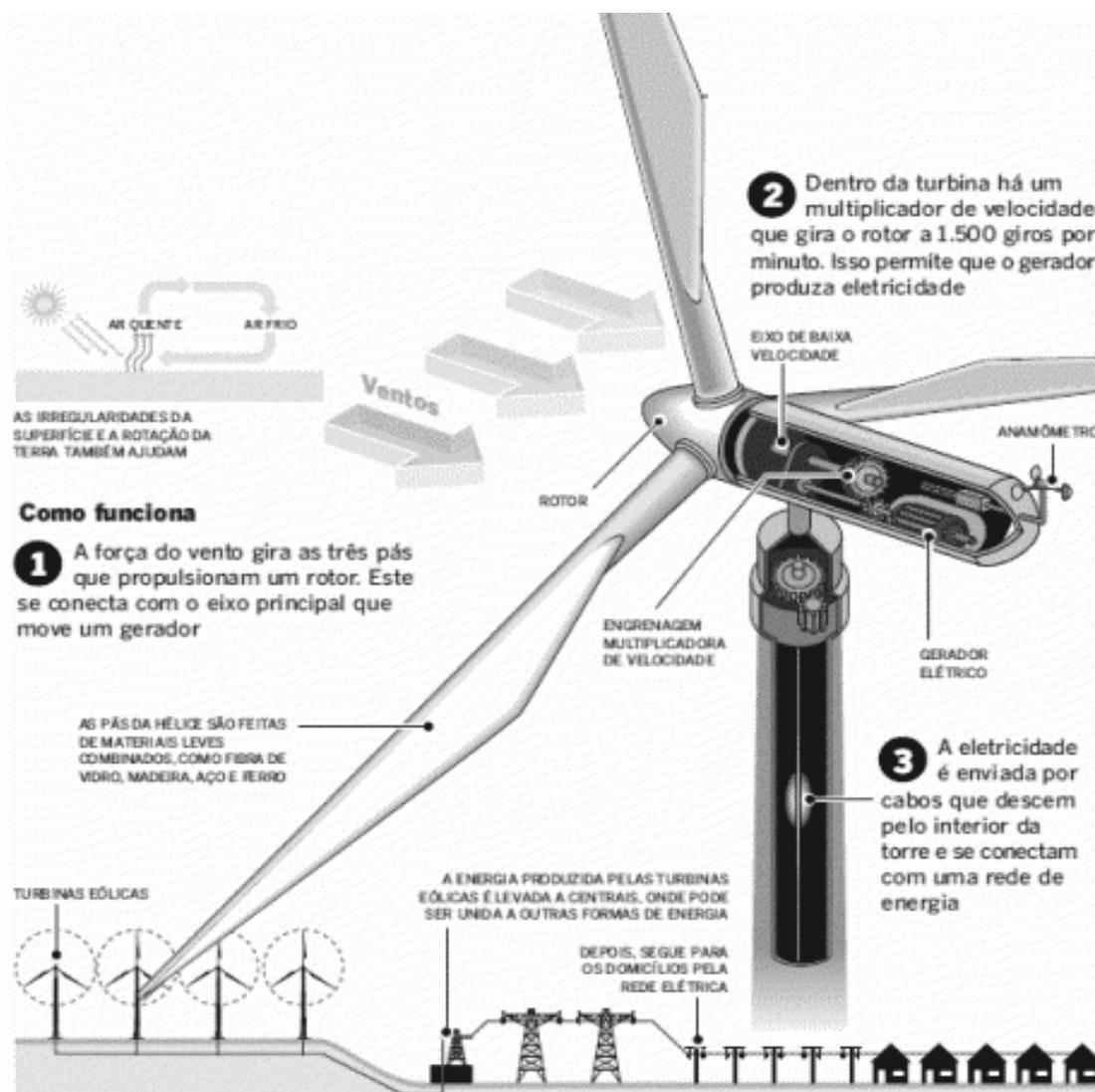


FIGURA2.8 - Funcionamento de um aerogerador.

FONTE:EI,2017

As primeiras turbinas eólicas de grande porte, semelhantes às que existem hoje, surgiram na Alemanha na década de 1950. Desde então, foram alcançados avanços tecnológicos, sobretudo impulsionados pela crise do petróleo nos anos de 1970 e, posteriormente por estímulos da indústria nos anos 1980 e 1990, que tornaram as turbinas mais eficientes e de reduzido impacto ambiental (AMARANTE et. al., 2001).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2018), o Brasil teve suas primeiras usinas eólicas instaladas ao final da década de 1990 e hoje é o líder na geração de energia eólica na América Latina. Tal produção de energia elétrica alcança cada vez mais espaço na matriz elétrica nacional, impulsionada pelos parques eólicos localizados, principalmente, no Nordeste brasileiro, onde há o maior potencial de geração eólica nacional.

A FIG. 2.9 mostra o potencial médio de geração de energia elétrica utilizando-se de aerogeradores em distintas regiões do Brasil.

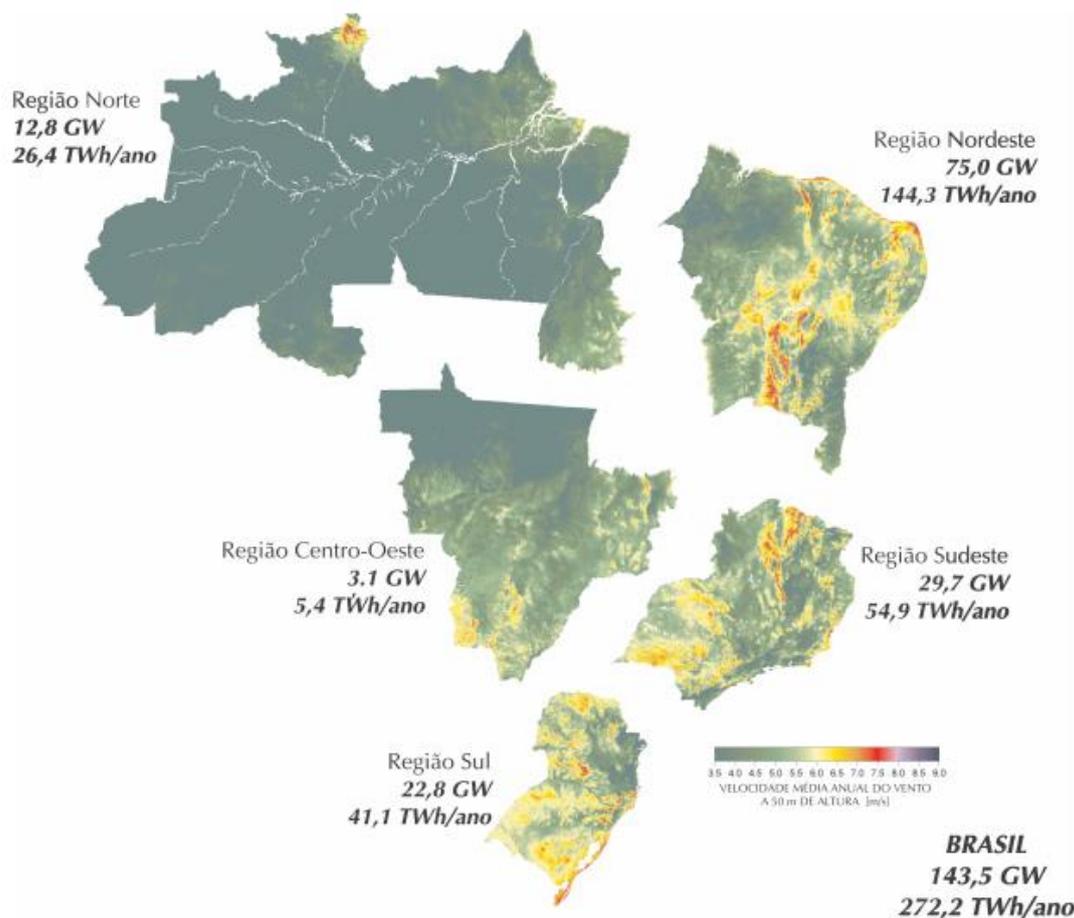


FIGURA 2.9 - Potencial anual médio de geração eólica.

FONTE: AMARANTE et. al.,2001, p. 26

O Brasil experimenta um forte crescimento da participação eólica em sua matriz energética. No ano de 2016 houve um aumento de 33% em sua potência instalada, totalizando o potencial de 10.124 MW. Com isso, o país figura na lista dos dez países líderes na geração de energia eólica no mundo (MME, 2016).

A FIG. 2.10 mostra a evolução exponencial da geração de energia eólica no Brasil. Observa-se que em 2016 houve um aumento de 54,9% frente ao ano de 2015, alcançando a produção total de 33.489 GWh.

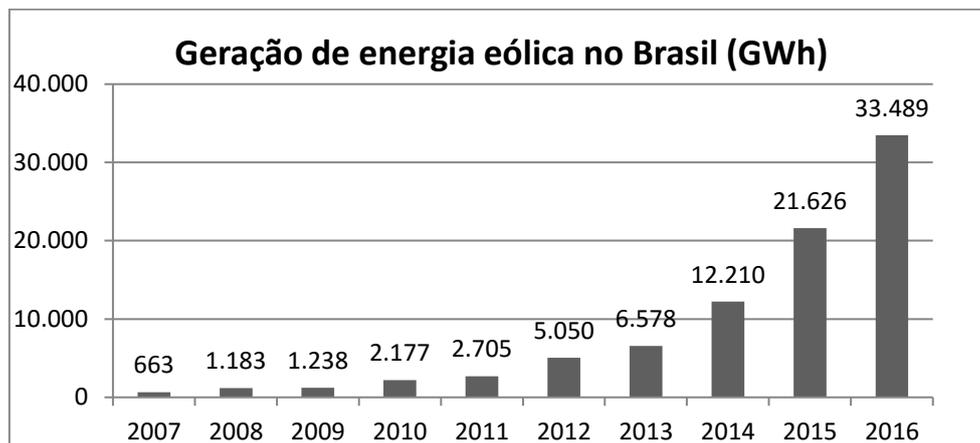


FIGURA2.10- Oferta de energia elétrica por fonte eólica.

FONTE:Elaborado pelo autor através de dados do EPE, 2017

2.4.3 Energia solar fotovoltaica

O Brasil dispõe de recurso energético solar de grande potencial de geração elétrica fotovoltaica. Os dados de irradiação solar provindos de imagens de satélites e banco de dados climatológicos mostram o grande potencial a ser explorado no país. Pode-se observar o perfil de irradiação anual média incidente no território brasileiro e o potencial de geração fotovoltaica por meio das FIG2.11 e FIG2.12.

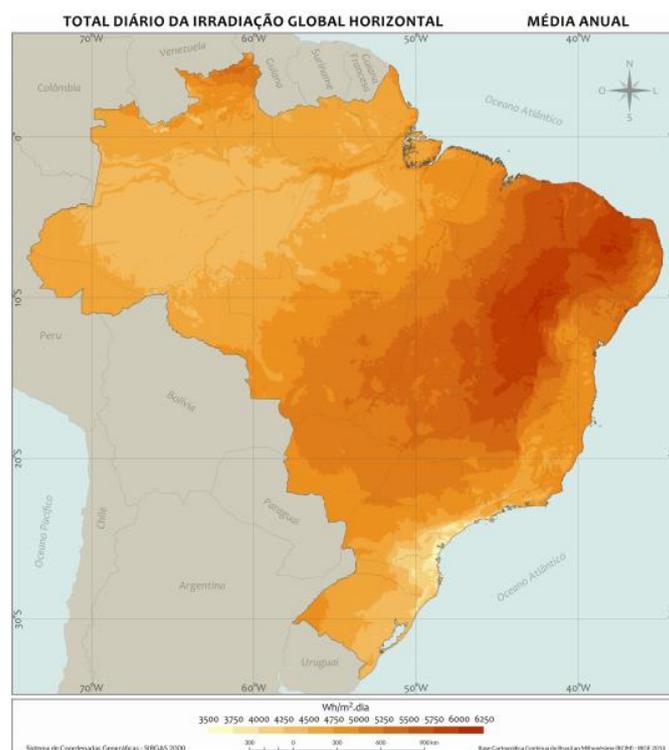


FIGURA 2.11 - Média anual de irradiação solar no Brasil.
 FONTE - PEREIRA et. al., 2017, p. 36

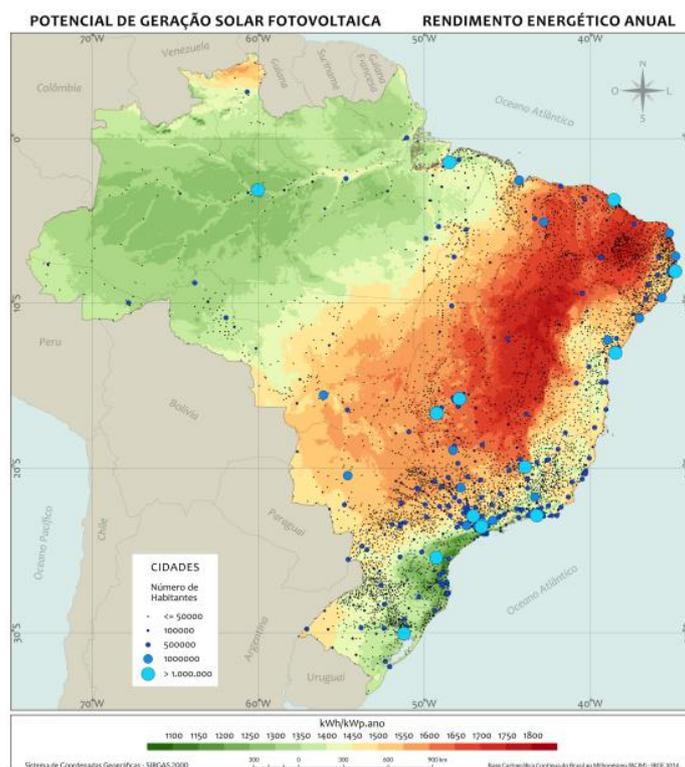


FIGURA 2.12 - Potencial de geração fotovoltaico no Brasil.
 FONTE - PEREIRA et. al., 2017, p. 59

Apesar do alto potencial de exploração da energia solar, a falta de regulamentação e de incentivos governamentais no setor fez com que a sua utilização em maior escala tenha se tornado relevante somente após a publicação da Resolução Normativa 482/2012, alterada por REN 687/2015. A FIG. 2.13 evidencia o rápido crescimento da geração de energia solar fotovoltaica a partir de 2012.

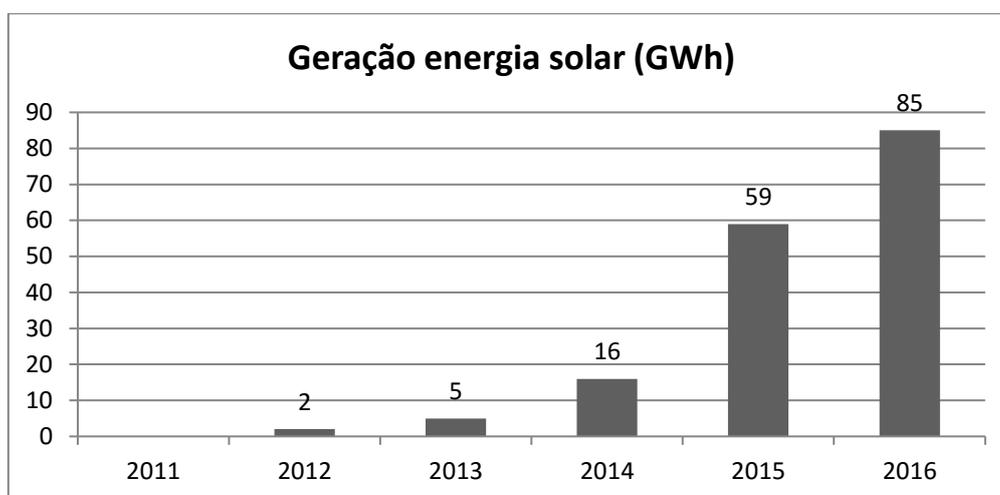


FIGURA 2.13- Oferta de energia elétrica por fonte solar.

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados do EPE, 2017

2.4.4 Modelos centralizado e distribuído de geração fotovoltaica

A geração de energia solar fotovoltaica pode ser explorada em sistemas isolados, sistemas centralizados e sistemas de geração solar fotovoltaica distribuída. Os sistemas de geração centralizados são grandes empreendimentos com produção energética em larga escala, viabilizados, em sua maioria, por leilões de energia promovidos pelo MME (PINHO et. al., 2014).

Nesses empreendimentos são utilizadas extensas áreas, com centenas a milhares de sistemas fotovoltaicos fixados em solo. Esse modelo de geração fotovoltaica busca aumentar a produção diária de energia por uso de dispositivos acoplados (“trackers”) que seguem a trajetória aparente do sol. Ademais, tais empreendimentos tornam-se ainda

mais atrativos, uma vez que costumam localizar-se em regiões semiáridas do nordeste brasileiro, locais que possuem alta incidência solar e baixo custo de terras (SILVA, 2015).

A FIG. 2.14 representa um sistema de geração fotovoltaica centralizado com seus principais componentes. Esse sistema genérico é constituído de gerador fotovoltaico, inversor de corrente, subestação e de um padrão de entrada da distribuidora que se conecta à rede elétrica.

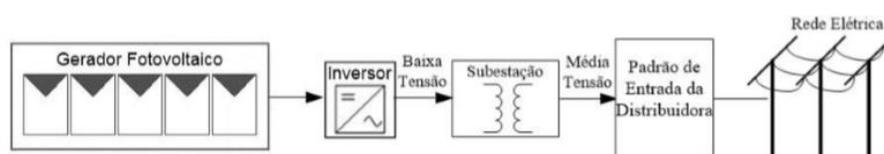


FIGURA 2.14- Representação de uma Usina Fotovoltaica de Grande Porte Conectada à Rede.

FONTE - PINHO et. al., 2014, p. 293

De outro lado, se encontra o modelo de geração distribuída, caracterizado por sistemas menores, com produção em baixa escala, normalmente localizados em telhados de residências e de empreendimentos comerciais. Tais sistemas vêm se tornando cada vez mais atrativos, devido às elevadas tarifas energéticas pagas por consumidores residenciais urbanos e comerciais para concessionárias, às linhas de crédito especiais para aquisição do sistema e, por fim, à redução do custo experimentado pelos equipamentos na última década, sobretudo com a liderança chinesa na indústria fotovoltaica (SILVA, 2015).

A FIG. 2.15 mostra uma representação dos principais constituintes de um sistema de geração fotovoltaica distribuída instalado. Esse sistema genérico é constituído de cinco painéis fotovoltaicos (gerador fotovoltaico), um inversor de corrente, um quadro de distribuição e de um relógio comparador bidirecional que se conecta à rede elétrica.

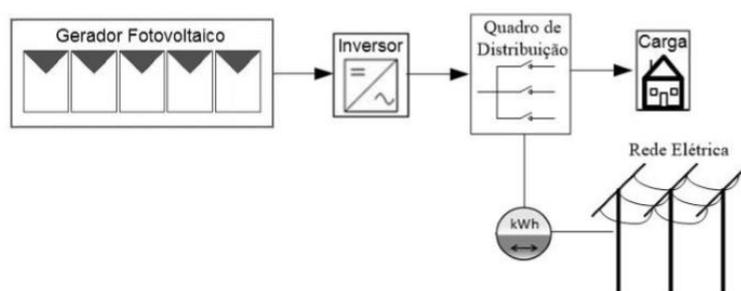


FIGURA2.15- Representação de uma usina fotovoltaica residencial de pequeno porte conectada à rede.

FONTE - PINHO et. al., 2014, p. 291

O funcionamento básico de um sistema, como o apresentado na FIG 2.15, ocorre da seguinte forma: a energia gerada por efeito fotoelétrico no gerador fotovoltaico é convertida em corrente alternada no inversor que, conectado ao quadro de distribuição da residência, passa a ser disponível para a utilização nos eletrodomésticos da residência.

Caso a energia gerada seja superior à energia demandada na residência no mesmo período, o excedente gerado é direcionado automaticamente para a rede elétrica, sendo assim, gerado crédito de energia (kWh) por meio do relógio comparador bidirecional.

Esse crédito de energia tem validade de até cinco anos e é utilizado para compensar o consumo elétrico em períodos em que a demanda é superior à energia gerada. Além disso, existe a possibilidade do excedente ser direcionado como crédito energético para outra unidade consumidora, desde que ambas utilizem da mesma concessionária de energia elétrica, e atenda a requisitos legais estabelecidos pela REN 687/2015.

O QUADRO 2.1 mostra a divisão do setor de geração distribuída em Centrais de Geração Hidrelétricas (CGH), Eólica (EOL), Fotovoltaica (UFV) e Térmica (UTE) no Brasil. Observa-se a predominância de sistemas fotovoltaicos por geração distribuída. Quanto a quantidade de usinas fotovoltaicas existentes em Janeiro de 2018, era de 26.537. Esse montante atendia a um total de 31.486 unidades consumidoras, graças ao sistema de compensação e geração remota (ANEEL, 2018).

UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
Tipo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	45	6.745	43.325,90
EOL	54	97	10.305,60
UFV	26.537	31.486	240.756,78
UTE	87	229	24.604,88

QUADRO 1.1 - Geração Distribuída por fontes de energia.

FONTE – ANEEL, 2018

Além disso, pode-se verificar, inclusive, como tem se dado a participação dos estados brasileiros na geração distribuída de energia solar fotovoltaica no ano de 2018, como demonstra a TAB 2.1. Observa-se que o estado de Minas Gerais apresenta o maior número de conexões, seguido pelos estados São Paulo e Rio Grande do Sul (ANEEL, 2018).

TABELA 2.1

Geração de energia solar fotovoltaica, modalidade distribuída, nos Estados brasileiros

UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
UF	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
AC	19	20	217,06
AL	115	133	1.364,39
AM	25	25	261,03
AP	9	9	307,60
BA	582	700	5.930,28
CE	933	1.102	24.461,50
DF	400	421	5.031,63
ES	712	735	3.280,15
GO	607	696	9.442,85
MA	309	346	3.731,96
MG	5.658	14.552	92.975,67
MS	577	1.211	5.804,21
MT	527	665	11.724,15
PA	203	204	1.319,76
PB	301	417	3.387,92
PE	451	598	7.266,31
PI	211	231	5.015,04
PR	1.719	1.727	14.596,89
RJ	1.969	2.104	20.198,83
RN	396	406	5.874,25
RO	56	74	4.188,87
RR	9	9	244,57
RS	3.182	3.678	38.918,61
SC	2.318	2.597	18.716,75
SE	167	172	1.540,89
SP	5.125	5.576	32.091,99
TO	143	149	1.100,00

FONTE:ANEEL, 2018

2.5 Posicionamento econômico da energia solar fotovoltaica

Nos últimos anos, com a queda dos preços dos sistemas fotovoltaicos e com os crescentes investimentos em fontes renováveis de energia, houve uma expansão do setor de energia solar no Brasil e no mundo. A FIG. 2.16 mostra que as energias solar e eólica são líderes mundiais em investimentos em energia renovável.

Novos Investimentos Globais em Energia Renovável por Setor - Bilhões de Dólares (2004-2017)

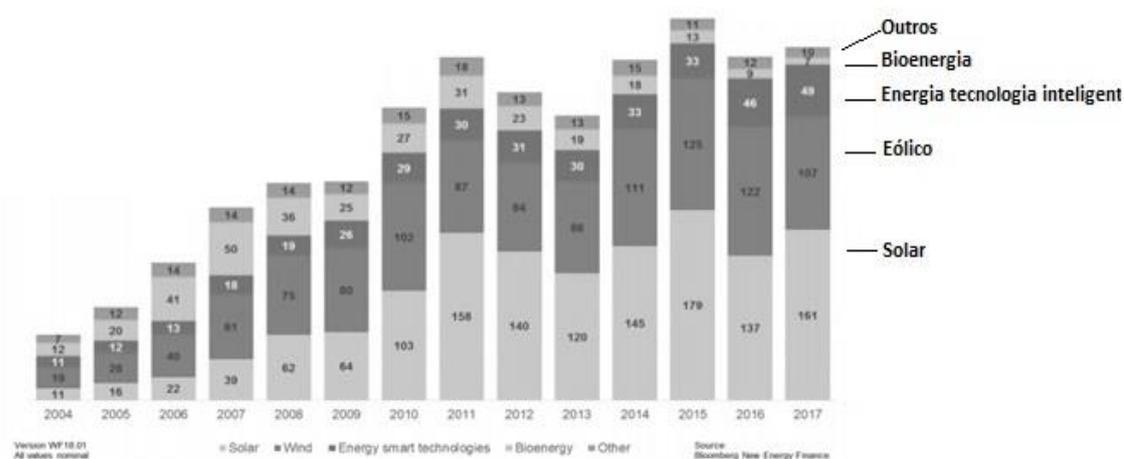


FIGURA 2.16- Investimento global em fontes renováveis de energia por setor.

FONTE – Adaptado de LOUW, p.6, 2018

Depreende-se ainda da FIG 2.16 que, dentre os anos 2004 a 2009, a energia eólica era o destino preferido dos investidores. Entretanto, em 2010, a energia solar ultrapassou a eólica, contando com investimentos de 103 bilhões de dólares, em contraposição aos 102 bilhões de dólares investidos em energia eólica (LOUW, 2018). Desde então, a energia solar se mantém no topo dos investimentos globais em fontes renováveis de energia.

Segundo levantamento publicado pela Bloomberg New Energy Finance 2017, estima-se que 40% de todo o investimento mundial tenha origem chinesa. Tal país tornou-se o principal consumidor e desenvolvedor industrial da tecnologia fotovoltaica, além de

maior produtor de painéis fotovoltaicos no mundo. A tendência de crescimento de investimentos em energia fotovoltaica é significativa para o setor, uma vez que possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias, como painéis fotovoltaicos mais eficientes, a redução do preço de seus componentes e a maior oferta de produtos no mercado (LOUW, 2018).

A liderança chinesa não se limita aos investimentos em energia fotovoltaica no mundo, se apresenta também na produção de painéis fotovoltaicos e na geração de energia fotovoltaica no país. A FIG 2.17 mostra o domínio da China e Taiwan, no ano de 2016, com 68% da produção mundial de módulos fotovoltaicos. Na mesma figura, pode-se observar uma tímida participação dos demais países e continentes nesse mercado (LOUW, 2018).

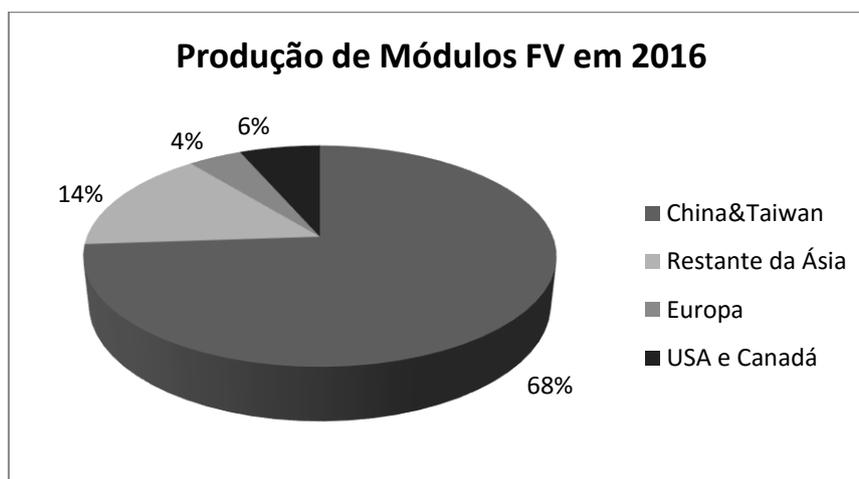


FIGURA 2.17 - Divisão de mercado na produção de módulos fotovoltaicos em 2016.

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados de LOUW, 2018

Segundo pesquisa publicada pelo Ministério de Minas e Energia, a China lidera o ranking de geração de energia solar no mundo seguido pelos Estados Unidos, Japão e Alemanha. A TAB 2.2 mostra a posição dos 15 países líderes na geração de energia solar e a porcentagem correspondente dessa geração na matriz energética de cada país (MME, 2018).

TABELA 2.2

Geração solar no mundo em 2016

País	Geração (TWh)	% da Geração Total
1 China	66,2	1,1
2 Estados Unidos	56,8	1,3
3 Japão	49,5	4,9
4 Alemanha	38,2	5,9
5 Itália	22,9	8,1
6 Espanha	13,6	5,0
7 Índia	11,9	0,8
8 Reino Unido	10,3	3,1
9 França	8,3	1,5
10 Austrália	7,2	2,8
11 Coreia do Sul	5,2	0,9
12 Grécia	4,0	8,2
13 África do Sul	3,3	1,3
14 Canadá	3,1	0,5
15 Bélgica	3,0	3,6
Outros	29,7	0,4
Mundo	333,1	1,4
% do mundo	1,4	

FONTE—Adaptado de MME, p.2, 2016

Observa-se pela tabela TAB 2.2 a liderança da China na geração de energia solar com 66,2 TWh o que corresponde a 1,1% da geração total de energia nesse país. Destaca-se também a liderança da Grécia na participação da energia solar em sua geração total de energia, representando 8,2% do total seguida de perto pela Itália com 8,1%.

A geração FV no Brasil alcançou no ano de 2016 o total de 85 GWh, valor relativamente pequeno quando comparado com os 15 maiores geradores de energia solar no mundo. Entretanto, as projeções de crescimento da energia solar no Brasil devem o colocar entre os 15 líderes na geração de energia solar já em 2018 (MME, 2016).

Apesar da pequena participação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira, observa-se uma forte tendência de crescimento da exploração dessa fonte de energia. Verifica-se na FIG. 2.18 a evolução recente na geração de energia solar fotovoltaica por sistemas centralizados e por geração distribuída. Nota-se um expressivo incremento dessa fonte de energia, considerando que a geração variou de 5 ktoe¹ em 2015, para 7 ktoe em 2016, e para 72 ktoe, em 2017 (BEN, 2018).

¹Toe = tonelada equivalente de petróleo, 10800 kcal/kg ou 6,48 barris de petróleo.

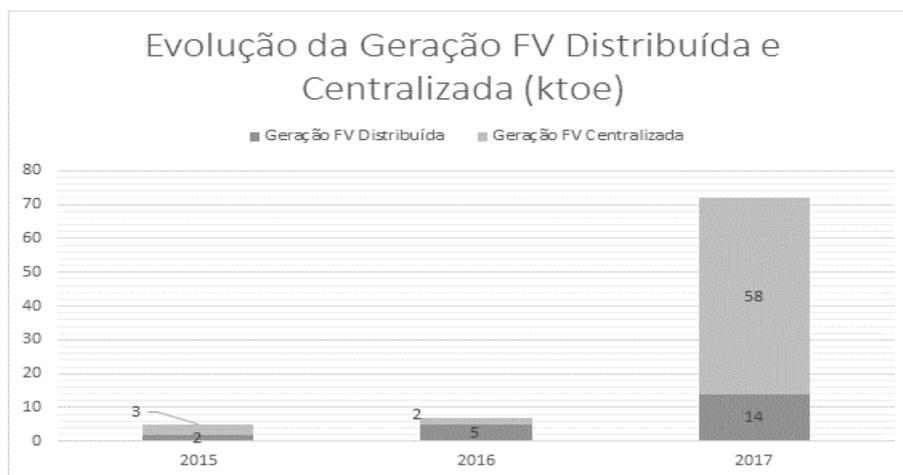


FIGURA 2.18 – Evolução da geração de energia fotovoltaica no Brasil entre os anos de 2015 a 2017.

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados do BEN, 2018

Aliada do incremento da geração de energia fotovoltaicas houve também uma redução dos custos desses sistemas. A FIG 2.19 mostra o preço médio (R\$/MWh) dos leilões de energia realizados pelo Ministério de Minas e Energia no Brasil entre os anos de 2014 e 2018 (ANEEL, 2018).

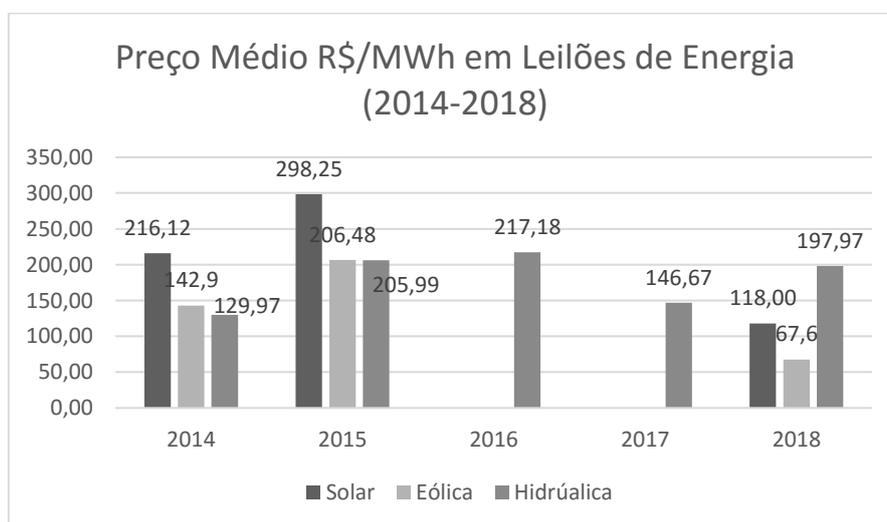


FIGURA 2.19 - Preço médio dos leilões de geração de energia R\$/MWh no Brasil (2014 a 2018).

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos da ANEEL, 2018

Como se observa na FIG 2.19, os valores praticados nos anos de 2014 e 2015 para os empreendimentos de energia solar fotovoltaica eram os maiores dentre as três fontes de energia. Em seguida, entre os anos 2016 e 2017, não foram realizados leilões para as fontes solar e eólica pelo governo brasileiro. Por fim, no ano de 2018, o preço médio (R\$/MWh) para as energias solar e eólica, apresentou considerável redução. O preço da energia solar diminuiu em 60%, comparando-se ao ano de 2015, uma vez que variou de R\$298,25, em 2015, para R\$118,00 em 2018.

2.6 Contas Economicas Ambientais da Energia

O progresso da sociedade mundial, no que tange ao desenvolvimento sustentável, possibilita uma visão realística de interdependência e correspondência entre os recursos ambientais e seus valores monetários na economia. Tal relação vem se estendendo para a composição de indicadores como o Produto Interno Bruto PIB, criando novos conceitos como o PIB Verde (EDITORIAL, 2007). Tal fato pode ser observado também por meio da evolução de órgãos internacionais e países no desenvolvimento de contas econômicas ambientais que possibilitam a contabilidade de recursos naturais nas riquezas produzidas em um país. A Noruega, ainda na década de 1970, iniciou os primeiros trabalhos referentes a contas econômicas ambientais sendo a grande precursora dessa ciência (SMITH, 2007).

A partir dos anos de 1990, países como Alemanha, Austrália, Canadá, Suíça e Japão também passam a desenvolver programas de contas econômicas ambientais. Inicialmente, cada país desenvolve uma abordagem estatística própria, tendo a sua estrutura principal influenciada por respectivas características sociais e econômico-ambientais dos mesmos. Dessa forma a Alemanha preocupada com a disponibilidade de seu solo, torna-se líder nos cálculos estatísticos referentes ao uso e cobertura do solo enquanto o Canadá e a Austrália passam a deter a primazia nas contas de estoque de recursos naturais, haja vista o caráter de exploração mineral desses países (SMITH, 2007).

O progresso do Sistema de Contas Economicas Ambientais da Energia decorre de demandas de políticas públicas como se verifica do texto da Organizações das Nações Unidas a seguir:

Em resposta às demandas de políticas públicas da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – ou Comissão Brundtland – (1983-1987) e, posteriormente, da Agenda 21 (1992), foi desenvolvido o 1993 Handbook of National Accounting: Integrated Environment and Economic Accounting (SEEA 1993). (UN, 2016, p. ix)

No ano seguinte ao desenvolvimento do SEEA 1993 cria-se um grupo internacional de líderes do segmento para o debate sobre as contas econômicas ambientais, conhecido como Grupo de Londres de Contas Ambientais. Tal grupo, orientado pela ONU, inicia em 1998 a revisão do SEEA-1993, essa revisão é aprovada pela Comissão de Estatística da ONU em 2003 e passa a ser conhecida como SEEA-2003. Dessa forma, a abordagem SEEA passa, gradativamente, a ter maior respaldo e padronização, culminando em 2012 na sua adoção como primeiro padrão internacional de Contas Econômicas Ambientais (UN, 2016).

Nesse contexto de desenvolvimento da cultura mundial sobre o tema das contas econômicas ambientais, surge o SEEA- Energy que se volta para a organização de dados estatísticos relacionados ao consumo energético de um determinado sistema em análise (UN, 2018).

Para que a metodologia SEEA-Energy seja aplicada, é de fundamental importância a obtenção de dados confiáveis para análise. Frente a esse desafio de obtenção de dados confiáveis, o Brasil divulga, anualmente, por meio da Empresa de Pesquisa Energética e do Ministério de Minas e Energia, o Balanço Energético Nacional (BEN). Esse documento reúne em série histórica, toda a contabilidade relativa à demanda e oferta de energia nacional, além dos processos de conversão de produtos energéticos e de comércio exterior dos mesmos. Trata-se, portanto, de uma fonte de dados fundamental para a aplicação da metodologia SEEA-Energy e demais atividades de planejamento, controle e acompanhamento do setor energético brasileiro.

A metodologia SEEA-Energy pode ser aplicada tanto para análise global da contabilidade energética quanto para análise individual de setores ou fontes específicas de energia, como o setor de energia solar fotovoltaica. Dessa forma, paralelo a pesquisa

e desenvolvimento de tecnologias para produção de energias renováveis, faz-se igualmente importante estabelecer metodologias de análise de dados desse setor no Brasil. Considera-se como metodologia consagrada internacionalmente, o padrão da ONU de Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Energia, a SEEA-Energy.

A abordagem SEEA-Energy organiza as informações em Tabelas de Usos e Recursos Físicos, conhecida como PSUT, do inglês *Physical Supply and Use Tables*, e Tabelas de Usos e Recursos Monetários, conhecida como MSUT, do inglês *Monetary Supply and Use Tables*, dos recursos energéticos. Tais tabelas possibilitam a contabilidade dos recursos energéticos desde sua origem até a sua utilização final nos diferentes setores da economia (UN, 2018).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho perpassapelo preenchimento de duas tabelas disponibilizadas pela Organização das Nações Unidas para o estudo do setor energético em um determinado país, ou outro recorte geográfico, nos diferentes setores de sua economia: a Tabela de Recursos e Usos Físicos (PSUT) e a Tabela De Recursos e Usos Monetários (MSUT). As tabelas foram desenvolvidas no âmbito do sistema de Contas Economicas Ambientais da Energia, termo advindo do inglês *System of Environmental EconomyAccount* (SEEA-Energy).

Este trabalho utilizou como base de dados para o preenchimento das tabelas PSUT e MSUT, o Relatório Final do Balanço Energético Nacional 2017- ano base 2016 (BEN 2017) e o Relatório Síntese - ano base 2017, ambos disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Tais relatórios fornecem dados da contabilidade da oferta e consumo de energia nos diferentes setores da economia, assim como, dados de contabilidade de comércio externo de produtos de energia e valores monetários dos produtos energéticos.

3.1 Tabela de Recursos e Usos Físicos (*Physical Supply and Use Tables- PSUT*)

O preenchimento da tabela PSUT é o primeiro passo para análise das contas econômicas ambientais, sendo ela a fonte de dados para o posterior preenchimento da tabela MSUT. A PSUT possibilita a organização de todo o fluxo energético em um país, contabilizando suas entradas e saídas, usos e transações externas em um dado período de análise.

A FIG 3.1 mostra uma estrutura básica, já preenchida, de uma tabela PSUT. Nesse trabalho foi utilizada a planilha demonstrada na FIG 3.1 apenas como exemplo-base para a construção da tabela PSUT.

PHYSICAL USE TABLE (unit: PJ)	Intermediate consumption, use of energy resources, receipt of energy losses						Final Consumption Households	Accumulation	Flows to the rest of the World (Exports)	Flows to the environment	TOTAL	
	Industries (by ISIC)											
	Agriculture Forestry & Fishing	Mining & Quarrying	Manufacturing	Electricity, gas, steam & air condition- ing supply	Transport- ation & Storage	Other Industries						Total Industry
	(ISIC A)	(ISIC B)	(ISIC C)	(ISIC D)	(ISIC H)							
1. Energy from natural inputs:												
Natural resource inputs	5	1161									1166	
Inputs of energy from renewable sources				124							124	
Other natural inputs				2							2	
2. Energy Products:												
Transformation of energy products by SIEC class:												
Coal				223			223				223	
Peat and peat products												
Oil shale / oil sands												
Natural gas				482			482				482	
Oil			360	16			376				376	
Biofuels												
Waste				31			31				31	
Electricity												
Heat												
Nuclear fuels and other fuels												
End-use of energy products by SIEC class:												
Coal	2		17				19	1	-21	2	1	
Peat and peat products												
Oil shale / oil sands												
Natural gas	2		39			12	53	26	2	201	282	
Oil	34	2	326		621	49	1032	102	-3	441	1572	
Biofuels				2			2	5			7	
Waste	3		4	37			45	33		1	79	
Electricity	7	1	22	50	10	15	105	29		100	234	
Heat	2		11	2	1	19	35	44			79	
Nuclear fuels and other fuels												
End-use of energy products for non-energy purposes			51				51				51	
3. Energy Residuals:												
Total energy residuals											1805	
4. Other residual flows:												
Residuals from end-use or non-energy purposes									51		51	
Energy from solid waste	39		55								94	
5. TOTAL USE	94	1164	885	969	632	96	3840	240	29	745	1805	

FIGURA 3.1 - Estrutura da tabela de recursos e usos físicos PSUT.

FONTE – SEEA, 2016

Observa-se que as linhas da FIG 3.1 listamos “recursos físicos energéticos ou produtos de energia” que eventualmente podem existir em um país, como o gás natural, o petróleo, a eletricidade, biocombustíveis, dentre outros. Tais produtos se relacionam com as colunas que representam os “setores da economia”, a exemplo da Agricultura, Indústria, Setor Público, Transportes, etc.

Pela análise da FIG 3.1, verifica-se que os subitens contidos em “1. Energy from natural inputs” representam os recursos energéticos de origem natural de um país. Quanto ao item “2. Energy products” se referem a produtos utilizados como fontes de energia.

A primeira subdivisão, “Transformation of energy products by SIEC class”, diz respeito aos produtos de transformação energética, correspondentes à transformação em energia obtida em um determinado setor econômico. Considera-se aqui, por exemplo, a obtenção de eletricidade pela queima de óleo diesel em termoelétricas. A segunda

subdivisão, “End-use of energy products by SIEC class”, refere-se à utilização final de um produto energético.

A FIG 3.1 apresenta ainda o item três, “3. Energy residuals” referente às perdas energéticas ocorridas nos processos de transformação energética e de obtenção de produtos energéticos. Um exemplo de perdas energéticas são as linhas de transmissão de energia elétrica.

Por fim, observa-se na FIG 3.1 o item quatro “4. Other residual flows”, o qual contempla o uso de produtos energéticos em aplicações não energéticas, como na produção de plástico enquanto derivado de petróleo e na geração de energia por meio da incineração de resíduos sólidos.

Por definição do sistema SEEA-Energy, considera-se as áreas preenchidas pela cor cinza com valor nulo (UN, 2016).

Para facilitar o estudo dos dados, a PSUT fora dividida em dois grandes blocos de informações: (i) “*Produção & Geração de Resíduos*”, e (ii) “*Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas*” da seguinte forma:

I Produção & Geração de Resíduos

(Colunas) Setores, Acumulação, Comércio Externo, Total

1. Entradas de Energia de Recursos Naturais
2. Produtos de energia
3. Resíduos Energéticos
4. Outros Fluxos Residuais
5. Total de Recursos

II Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas

(Colunas) Setores, Acumulação, Comércio Externo, Total

1. Energia de Recursos Naturais
2. Produtos de Energia
 - a. Transformação de energia
 - b. Consumo final dos produtos de energia
 - c. Consumo final de produtos de energia em fins não energéticos
3. Resíduos de Energia
4. Outros fluxos residuais
5. Total De Recursos

As colunas da tabela apresentamos diferentes setores da economia existentes no Brasil: a *Agricultura*, a *Extração Mineral*, o *Setor Industrial*, o *Setor Energético* e o *Residencial*.

A configuração dessas colunas apresenta uma certa flexibilidade, o que permite a expansão da análise dos dados por meio da adição de setores específicos. Como exemplo dessa flexibilidade, o setor *Indústria* pode ser dividido em várias colunas, como “Indústria Cimenteira, Indústria Siderúrgica e Indústria de Papel e Celulose”. Após os setores econômicos são contabilizados na tabela os valores de “Acumulação”, “Comércio Externo” e valor “Total”.

Com o preenchimento da PSUT, obtêm-se dados que permitem a análise do fluxo energético na economia de um país. Esses dados podem ser utilizados para o aprofundamento da análise energética, incluindo-se o fator monetário dos produtos de energia, por meio da MSUT.

3.2 Tabela De Recursos e Usos Monetários (*Monetary Supply And Use Tables - MSUT*)

A Tabela de Recursos e Usos Monetários (MSUT) tem como objetivo contabilizar o valor monetário dos produtos de energia de um país, ou outro recorte geográfico e apresenta algumas diferenças da PSUT.

Enquanto na PSUT é utilizada uma unidade física de energia (ktoe), na MSUT é utilizada uma base monetária equivalente (no caso, o dólar americano - US\$). Outra distinção entre as tabelas reside no fato da MSUT não considerar o fluxo residual desses produtos.

De forma geral, a MSUT permite observar o valor financeiro envolvido na produção/utilização de energia em diferentes setores econômicos, tornando-se assim uma fonte de informação para a tomada de decisão dos mesmos setores ou dos governos interessados (UN, 2016).

A FIG. 3.2, a seguir, mostra uma versão simplificada de uma planilha MSUT já preenchida.

MONETARY SUPPLY AND USE TABLE (UNIT: CURRENCY)	Industries (by ISIC)							Final consumption and other			Taxes less subsidies on products, trade and transport margins	TOTAL	
	Agriculture and Forestry & Fishery	Mining & Quarrying	Manufacturing	Electricity, gas, steam & air conditioning supply	Transportation & Storage	Other Industries	Total Industry	Rest of the world	Households	Accumulation			
	(ISIC A)	(ISIC B)	(ISIC C)	(ISIC D)	(ISIC H)								
Supply of energy products (unit: currency):													
Coal								26125				1	26126
Peat and peat products													
Oil shale / oil sands													
Natural gas		4614		4312			8926					3891	12817
Oil		12589		6164			18753	17232				562	36547
Biofuels		2		2	12		16						16
Waste		111		156			267	9					276
Electricity				14414			14414	9				8113	22536
Heat				665			665						665
Nuclear fuels and other fuels													
Use of energy products (unit: currency)													
Intermediate consumption and final use (unit: currency):													
Coal	540		4856	17869			23265	370	556	1935			26126
Peat and peat products													
Oil shale / oil sands													
Natural gas	378		785	3564			4727	7064	865	161			12817
Oil	236	75	1687	95	23580	765	26438	4102	3206	2801			36547
Biofuels				7			7	1	8				16
Waste	12		32	159		15	218	2	56				276
Electricity	1205	806	3089	6854	2304	3569	17827	3206	1503				22536
Heat	15		102	28	15	200	360		305				665
Nuclear fuels and other fuels													

FIGURA 3.2 - Estrutura básica da tabela de recursos e usos monetários MSUT.

FONTE - SEEA, 2016

Na MSUT, calcula-se o valor monetário com base na quantidade física energética dos produtos de energia, assim, todos os produtos de energia são convertidos em uma mesma base. Normalmente, adota-se a “tonelada equivalente de petróleo (tep)” (10.800 kcal/kg) que é facilmente convertida em “barril equivalente de petróleo (bep)”, uma vez que são necessários 6,48 barris de petróleo para o total de 1 tonelada equivalente de petróleo.

Dessa forma, o valor monetário é obtido pela multiplicação da quantidade de barris equivalentes de petróleo de um produto de energia pelo valor monetário daquele recurso energético, naquele período de análise.

Quanto a construção da MSUT, há sua subdivisão em apenas dois itens “Produtos de energia (*Supply of energy products*)” e “Consumo final dos produtos de energia (*Use of energy products*)”. Os valores dos produtos de energia e do consumo final dos mesmos são extraídos da PSUT, diferindo na MSUT apenas em função da multiplicação desses valores físicos pelos valores monetários correspondentes.

Para o preenchimento da MSUT, foram utilizadas fórmulas e planilhas de apoio, como será demonstrado a seguir.

A TAB 3.1 foi elaborada como uma ferramenta de apoio ao preenchimento da planilha MSUT. Nessa tabela tem-se valores energéticos, fatores de conversão e valores monetários de tais produtos em Dólares Americanos praticados no ano de 2016.

TABELA 3.1

Tabela de apoio ao preenchimento MSUT, custos dos produtos de energia ano 2016

	Produção disponível de energia (ktoe)	Entrada de Importação	Fator de conversão ktoe para toe	Fator de conversão toe para boe (x 6,84)	Custo do barril equivalente de petróleo (US\$)	Valor monetário Produto de Energia	Valor monetário Importado	Valor monetário Total
Gas natural	37622	10320	1000	6,84	69	17.653.145.328,00	4.842.391.680,00	\$ 22.495.537.008,00
Carvão	2636	2509	1000	6,84	18	328.150.368,00	312.393.299,40	\$ 640.543.667,40
Óleo diesel	37994	6476	1000	6,84	145	37.630.267.398,14	6.414.037.632,00	\$ 44.044.305.030,14
Óleo combustível	11072	-6637	1000	6,84	57	4.316.616.851,40	-2.587.633.560,00	\$ 1.728.983.291,40
Gasolina	21704	2373	1000	6,84	190	28.206.505.404,00	3.083.950.800,00	\$ 31.290.456.204,00
GLP	6239	2111	1000	6,84	152	6.486.481.385,28	2.194.764.480,00	\$ 8.681.245.865,28
Nafta	2567	6630	1000	6,84	50	869.249.977,20	2.244.785.400,00	\$ 3.114.035.377,20
Querosene	4765	-1495	1000	6,84	200	6.505.866.480,86	-2.041.132.608,00	\$ 4.464.733.872,86
Biodiesel	3308	0	1000	6,84	121	2.734.252.518,99	0,00	\$ 2.734.252.518,99
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)	35905		1000	6,84	9	2.266.783.088,50	0,00	\$ 2.266.783.088,50
Álcool	14421	-501	1000	6,84	213	21.009.893.659,20	-729.916.920,00	\$ 20.279.976.739,20
Eleticidade correspondente Hidro	32758	2262,0	1000	6,84	269	60.274.046.306,16	4.162.017.119,40	\$ 64.436.063.425,56
Eleticidade correspondente Eólica	2880	235,0	1000	6,84	269	5.299.184.157,84	432.333.561,24	\$ 5.731.517.719,08
Eleticidade correspondente Solar	7	0,5	1000	6,84	269	13.740.424,22	967.910,96	\$ 14.708.335,17
Eleticidade correspondente Termelétrica	14139	1007	1000	6,84	269	26.015.857.222,66	1.851.936.299,64	\$ 27.867.793.522,30

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Para o preenchimento da TAB 3.1 foi utilizada a conversão dos valores energéticos de quilo-tonelada equivalente de petróleo “ktoe” para “valor monetário em dólares”. Para tais conversões foram utilizadas as EQUAÇÃO (3.1), EQUAÇÃO (3.2) e EQUAÇÃO (3.3), a seguir:

$$\text{Valor Monetário do Produto de Energia (US\$)} = \text{Produção disponível de energia (ktoe)} \times \text{F. C ktoe para toe} \times \text{Valor barril de petróleo (US\$)} \quad (3.1)$$

$$\text{Valor Monetário Importado (US\$)} = \text{Entrada de Importação (ktoe)} \times \text{F. C ktoe para toe} \times \text{F. C toe para boe} \times \text{Valor barril de petróleo (US\$)} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Valor Monetário Total (US\$)} & & (3.3) \\ & = \text{Valor monetário do Produto de Energia} + \text{Valor monetário Importado} \end{aligned}$$

Utilizando-se das informações presentes na revisão bibliográfica e após o preenchimento das PSUT e MSUT, alcança-se dados suficientes para a discussão e análise de resultados do presente trabalho, os quais passam a ser apresentados no capítulo seguinte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foram analisados os resultados provenientes do preenchimento das tabelas PSUT e MSUT (Anexos A e B respectivamente) em cada tópico em que essas se dividem. Em seguida, será analisada a matriz energética brasileira distribuída nos diversos setores econômicos.

4.1 Disponibilidade de energia de recursos naturais

Quanto ao item “Entrada de Energia de Recursos Naturais”, observa-se que os valores totais referentes aos recursos renováveis e não renováveis foram inseridos na coluna “*Entrada do Ambiente*”. O valor de energia não renovável foi de 162975 ktoe enquanto de energia renovável foi de 125345 ktoe, conforme TAB 4.1.

TABELA 4.1

PSUT Entradas de Energia de Recursos Naturais

TABELA DE RECURSOS FÍSICOS (ktoe)	Produção & geração de resíduos													
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias	Total Indústria	Residencial	Acumulação	Entrada de Importação	Entrada do Ambiente	Total
1. Entradas de Energia de Recursos Naturais														
Não renovável													162975	162975
Renovável													125345	125345
													TOTAL	288320

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

4.2 Produtos de energia disponibilizados em cada setor

No item “Produtos de Energia” pode-se verificar a quantidade física dos produtos de energia disponibilizados por cada setor da economia brasileira no ano de 2016, como depreende-se da TAB4.2.

TABELA4.2

PSUT Produtos de energia

TABELA DE RECURSOS FÍSICOS (ktoe)	Produção & geração de resíduos											Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias	Total Indústria	Residencial	Acumulação		Entrada de Importação	Entrada do Ambiente
2. Produtos de energia														
<i>Produção de produtos de energia</i>														
Gas natural		37622										10320		47942
Carvão vapor		2636										12909		15545
Óleo diesel			37994									7182		45176
Óleo combustível			11072									62		11134
Gasolina			21704									2934		24638
GLP			6239									2111		8350
Nafta			2567									6630		9198
Querosene			4765									786		5551
Biodiesel		3308										0		3308
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)		35905										0		35905
Lenha		23095										0		23095
Álcool		14421										434		14855
Eletricidade														
Hidro				32758								3551		36309
Eólica				2880										2880
Solar				7										7
Térmica				14139								6353		20492
Outros								14702	14702			3596		18298
SUBTOTAL	76729	40258	84341	49785	0	0	0	14702	265814			56868	SUBTOTAL	322682

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Com os resultados apresentados acima, observa-se que para os setores “Agricultura, Silvicultura e Pesca”, o maior produto de energia no ano de 2016 é o resíduo de bagaço de cana-de-açúcar, com o total de 35905 ktoe, enquanto o menor é o biodiesel, com 3308 ktoe.

Em seguida, na coluna “*Extração Mineral*” da TAB 4.2, nota-se a contabilidade dos produtos de energia provenientes do gás natural e do carvão vapor, com 37622 e 2636 ktoe, respectivamente.

No setor “*Indústria*”, verifica-se uma maior disponibilização de produtos de energia, uma vez que a indústria transforma vários recursos energéticos em produtos finais prontos para a sua utilização. Dentro desse setor, foram considerados como produtos de energia de origem industrial, o óleo diesel, o óleo combustível, a gasolina, o gás liquefeito de petróleo, a nafta e a querosene, sendo o óleo diesel o de maior valor contabilizado, com 37994 ktoe.

Verifica-se ainda que o setor “*Energia*” é o setor de disponibilização de eletricidade, conforme TAB 4.2. Optou-se por subdividir a geração de eletricidade por valores correspondentes pela geração de hidroeletricidade, energia eólica, energia solar e energia de termoelétricas, respectivamente, com 32758 ktoe, 2880 ktoe, 7 ktoe, e 14139 ktoe de eletricidade disponibilizada.

Por fim, na coluna “*Entrada de Importação*” daTAB 4.2, quanto ao Comércio Externo de produtos de energia destaca-se o carvão vapor como produto de maior importação, totalizando 12909 ktoe. Por outro lado, como produtos de energia sem nenhuma importação têm-se o biodiesel, o bagaço de cana-de-açúcar e a lenha. Quanto à eletricidade, tem-se 3551 ktoe de energia importada, bem como o 6353 ktoe de urânio importado para sua utilização na produção de energia em termoeletricas em usinas nucleares.

4.3 Resíduos energéticos disponibilizados

Adotando a metodologia SEEA-Energy, entende-se como resíduos energéticos as perdas ocorridas em processos de exploração de um determinado recurso energético.

Pode-se observar na TAB 4.3 que as perdas no setor *Agricultura, Silvicultura e Pesca* totalizaram 3195 ktoe e decorreram do processo produtivo do biodiesel, do álcool e do carvão vegetal.

TABELA 4.3

PSUT - Resíduos energéticos

TABELA DE RECURSOS FÍSICOS (ktoe)	Produção & geração de resíduos											Entrada do Ambiente	Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias	Total Indústria	Residencial	Acumulação			Entrada de Importação	
3. Resíduos energéticos															
Total de resíduos energéticos	3195	780	323	8571											12869

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

No setor de *Extração Mineral*, o valor de 780 ktoe decorre das perdas energéticas na extração do petróleo, do gás natural e do coque. Por fim, o setor *Energia* contabiliza a maior perda energética dentre os setores da economia, devido as perdas que ocorrem na conversão energética para obtenção de eletricidade, totalizando 8571 ktoe, conforme pode-se observar na TAB 4.3.

4.4 Outros fluxos residuais disponibilizados

Observa-se na TAB 4.4 que existem dois fluxos residuais: *Resíduos de uso final não energético* e *Energia de resíduos sólidos*. O primeiro corresponde ao uso final de um produto de energia para fins não energéticos, como exemplo a utilização de petróleo para a produção de lubrificantes e materiais plásticos, enquanto o segundo corresponde à utilização de resíduos de algum processo produtivo para a produção de energia.

TABELA4.4

PSUT - Outros fluxos residuais

TABELA DE RECURSOS FÍSICOS (ktoe)	Produção & geração de resíduos													Total	
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias	Total Indústria	Residencial	Acumulação	Entrada de Importação	Entrada do Ambiente		
4. Outros fluxos residuais															
Resíduos de uso final não energético			6343												6343
Energia de resíduos sólidos															0

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Além disso, depreende-se da TAB 4.4 que o valor do *Resíduo de uso final não energético* corresponde a 6343 ktoe. Esse valor corresponde à soma dos produtos não energéticos de petróleo produzidos nas refinarias de petróleo (5243 ktoe) e nas unidades de processamento de gás natural(1100 ktoe).

Ainda na TAB 4.4,o valor de *Energia de resíduos sólidos* é deixado em branco, pois não fora possível a obtenção destes valores. Apesar disso,é notório o alto valor de energia obtido pelo volume de processamento do resíduo “bagaço de cana-de-açúcar” para fins energéticos. Veja-se que essa energia foi alocada anteriormente no item “2. *Produtos de energia*” com o valor correspondente a 35905 ktoe, assim, evita-se a duplicidade na contabilidade dos dados e opta-se por excluir esse valor da Energia de resíduos sólidos.

4.5 Total de recursos disponibilizados por cada setor

A TAB4.5 mostra os valores totais de energia disponibilizada em cada setor da economia. Esses valores são obtidos pela soma dos componentes dos itens explicados anteriormente, “Produtos de Energia”, “Outros fluxos residuais” e “Resíduos energéticos”. Como poderia ser esperado por muitos, observa-se na TAB4.5 que o setor *Indústria*, apresenta o maior valor energético, totalizando 91007 ktoe. A soma total dos recursos energéticos resultou em 341.894 ktoe.

TABELA 4.5

PSUT - Total de recursos

TABELA DE RECURSOS FÍSICOS (ktoe)	Produção & geração de resíduos												Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias	Total Indústria	Residencial	Acumulação	Entrada de Importação		Entrada do Ambiente	
	5. TOTAL DE RECURSOS	79924	41038	91007	58356	0	0	0	14702	285026	0	0		56868	341894

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

4.6 Estratificação da disponibilidade de recursos naturais energéticos

Quanto a estratificação da disponibilidade de recursos, a TAB 4.6 apresenta os valores totais de energia por fonte não renovável e por fonte renovável. Tais valores são alocados em seu setor econômico de origem.

TABELA 4.6

PSUT - Energia de recursos naturais

TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas												Total	
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias	Total Indústria	Acumulação	Exportação	Entrada do Ambiente		
	1. Energia de Recursos Naturais													
	Não renovável		162975											162975
Renovável	73413			51932								125345		

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Ademais, na TAB 4.6 foram adotados como componentes da fonte renovável a lenha, e os produtos de cana-de-açúcar, somados e atribuídos ao setor *Agricultura, Silvicultura e*

Pesca,totalizando 73413 ktoe.Foi ainda considerado como fonte renovável, o somatório de energia hidráulica, eólica, solar e outras renováveis,sendo elas atribuídas ao setor *Energia*,com o valor de 51932 ktoe. Por fim, como fonte não renovável, tem-seo total de 162975 ktoe,correspondendo integralmente ao setor de *Extração Mineral*.

4.7 Produtos de Energia e sua transformação em eletricidade

A TAB 4.7 apresenta o subitem *Transformação de energia*. Esse subitem contabiliza a quantidade de energia obtida da transformação de um produto de energia.

TABELA 4.7

PSUT - Produtos de Energia. Subitem Transformação de energia.

TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas								Acumulação	Exportação	Entrada do Ambiente	Total
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outras Indústrias				
2. Produtos de Energia												
<i>Transformação de energia</i>												
Gas natural			3014	12619								15633
Carvão vapor				2665								2665
Óleo diesel				1136								1136
Óleo combustível				1362								1362
Gasolina												0
GLP												0
Nafta			3055									3055
Querosene												0
Biodiesel				72								72
Álcool				5081								5081
Lenha				7098								7098
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)				6110								6110
Hidro												0
Eólica												0
Solar												0
Térmica												0
SUBTOTAL	0	0	6068	36144	0	0	0	0	42212			42212

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Todos os valores alocados no setor *Energia* da TAB 4.7correspondem aos valores energéticos dos produtos convertidos em eletricidade. Nota-se que o gás natural apresenta o maior valor de transformaçãoem energia elétrica, com 12619 ktoe. O valor de 3014 ktoe corresponde à energia necessária para produção de derivados de petróleo e, por isso, encontra-se alocado na coluna *Indústria*. Em segundo e terceiro lugaresna transformação de produtos energéticos em eletricidade encontram-se a lenha e o bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente, com 7098 ktoe e 6110 ktoe.

4.8 Uso dos produtos energéticos em cada setor da economia brasileira

No subitem *Consumo final dos produtos de energia* da TAB 4.8, os produtos de energia são alocados em seus respectivos destinos finais de consumo nos diferentes setores da economia.

TABELA 4.8

PSUT - Produtos de Energia. Subitem Consumo final dos produtos de energia

Consumo energético final dos produtos de energia	Agricultura, si	Mineração	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residencial	Total Setores	Acumulação	Exportação/ Impc	Ambiente	Total
Gas natural			410	9504	6559	1593	134	43	357	18190	-12695	10320	15815
Carvão vapor			3258							3258	-164	2509	5604
Óleo diesel	5240	385	1064	975	36246	8	3			43536	-240	6476	49772
Óleo combustível	11	152	2353	203	515	17	1			3100	49	-6637	-3488
Gasolina				0	24225					24225	149	2373	26747
GLP	18	41	1020	1	0	396	258	6573		8266	-82	2111	10295
Nafta										0	92	6630	6722
Querosene	0	1	1	0	3303		0	2		3306	40	-1495	1851
Biodiesel				0	2711					2711	-2	0	2709
Álcool	9			0	13880					13889	127	-501	13515
Lenha	2618		7225		0	90	0	6064		15997		0	15997
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)			17554	12237						29791			29791
Eleticidade correspondente Hidro	1540	655	10831	1632	114	4947	2399	7370		28834		2262	31096
Eleticidade correspondente Eólica	160	68	1125	170	12	514	249	766		2995		235	3230
Eleticidade correspondente Solar	0,36	0,15	2,52	0,38	0,03	1,15	0,56	1,7		6,7		0,5	7
Eleticidade correspondente Termoeletricas	685	292	4820	726	51	2201	1042	3279		12804		1007	13811
Outras	8	709	25411	3773				429		29621		1384	31005
SUBTOTAL	10289	2713	84169	26277	82650	8308	3996	24841	240530		-12726	26674	254478
<i>Consumo final de produtos de energia em fins não energéticos</i>			14752						14752		109	438	15299

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Nesse ponto de preenchimento da planilha PSUT já podemos visualizar o fluxo dos produtos energéticos sendo utilizados em cada setor da economia. Observa-se na TAB 4.8 que alguns produtos de energia são utilizados em vários setores da economia, enquanto outros são restritos a um determinado setor. Tem-se, por exemplo, a energia elétrica presente em todos os setores da economia, enquanto o biodiesel é utilizado apenas no setor de Transporte.

Verifica-se na TAB 4.8 que, pelo cruzamento da coluna *Total Setores* com a linha *SUBTOTAL*, o total de produtos energéticos consumidos ao longo de todos os setores da economia brasileira no ano de 2016 foi de 240530 ktoe.

Quanto à variação de estoques, na coluna “*Acumulação*” tem-se o valor negativo de -12726 ktoe. Na coluna “*Exportação*” são atribuídos os valores de comércio exterior líquidos, contabilizando a soma do que foi exportado com o que foi importado de cada produto energético no dado período. Observa-se que o valor total desse comércio externo foi positivo, com 26674 ktoe. Logo, houve menor saída de produtos de energia e maior importação de produtos de energia para o mercado interno brasileiro.

4.9 Resíduos de Energia

A TAB 4.9 mostra o valor total de resíduos de energia. Esse valor corresponde aos mesmos dados contabilizados no item 3 do bloco *Produção & geração de resíduos*, correspondente a 12869 ktoe.

TABELA 4.9

PSUT - Resíduos de Energia

3. Resíduos de Energia	Agricultura, si	Mineração	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residencial	Total Indústria	Acumulação	Exportação	Ambiente	Total
Total de resíduos de energia												12869	12869

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

4.10 Outros fluxos residuais

Quanto a outros fluxos residuais, a TAB 4.10 mostra o valor de resíduos de uso final não energético e energia de resíduos sólidos. Observa-se que o valor alocado na coluna “*Acumulação*” é obtido do valor total consumido de produtos de energia para fins não energéticos, somado a um valor residual de 1735 ktoe, totalizando 15299 ktoe.

Como dito anteriormente, nesse trabalho não foi determinada a energia de resíduos sólidos. Entretanto, questiona-se na PSUT acerca do correto posicionamento do subproduto bagaço de cana de açúcar, já listado anteriormente como um produto de energia. Isso porque, o bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerado um resíduo sólido, no entanto, optou-se por mantê-lo como produto de energia em função de sua relevância em termos de quantidade física de energia e de seu valor comercial.

TABELA 4.10

PSUT - Outros fluxos residuais

4. Outros fluxos residuais	Agricultura, si Mineração	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residencial	Total Indústria	Acumulação	Exportação	Ambiente	Total
Resíduos de uso final não energético									15299			15299
Energia de resíduos sólidos												0

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

4.11 Total de recursos energéticos utilizados em cada setor

O valor total dos recursos energéticos utilizados em cada setor da economia está listado na TAB 4.11. Esse valor corresponde à soma dos valores apresentados anteriormente nas tabelas de Transformação de Energia (TAB 4.7), Consumo Final dos Produtos de Energia e Consumo Final de Produtos de Energia em Fins Não Energéticos (TAB 4.8), Resíduos de Energia (TAB4.9) e, por fim, Outros Fluxos Residuais (TAB4.10).

TABELA 4.11

PSUT - Total de recursos

TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas								Acumulação	Exportação	Entrada do	Total	
	Agricultura, Extração	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residencial	Total Setores					
5. TOTAL DE RECURSOS	84042	165688	104989	110848	82650	8308	3996	24841	297494	2683	27112	14281	341571

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Observa-se na TAB 4.11 que o total de recursos energéticos utilizados no ano de 2016, foi de 341571 ktoe. Esse valor, como esperado pelo sistema SEEA-Energy, se aproxima do valor disponibilizado de recursos energéticos, como observado em *Produção & geração de resíduos* na TAB 4.5 que foi de 341894 ktoe. Com isso, verifica-se a validade da tabela para observar o fluxo físico dos recursos energéticos.

4.12 Tabela monetária do uso dos recursos energéticos MSUT

A tabela apresentada a seguir (TAB 4.12) é o resultado do preenchimento da MSUT no presente trabalho. Essa tabela mostra o valor monetário de cada produto de energia disponibilizado nos diferentes setores da economia brasileira no ano de 2016.

TABELA 4.12

Tabela De Usos e Recursos Monetários (US\$), item Produtos de Energia

TABELA DE USOS E RECURSOS MONETÁRIOS (US\$)	Setores							Consumo final e outros			Total
	Agricultura, silvicultura e pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Total Setores	Exportação/ Importações líquidas	Residencial	
1. Produtos de energia											
Gas natural		17.653.145.328							4.842.391.680		22.495.537.008
Carvão vapor		328.150.368							312.393.299		640.543.667
Óleo diesel			37.630.267.398						6.414.037.632		44.044.305.030
Óleo combustível			4.316.616.851						-2.587.633.560		1.728.983.291
Gasolina			28.206.505.404						3.083.950.800		31.290.456.204
GLP			6.486.481.385						2.194.764.480		8.681.245.865
Nafta			869.249.977						2.244.785.400		3.114.035.377
Querosene			6.505.866.481						-2.041.132.608		4.464.733.873
Biodiesel		2.734.252.519							0		2.734.252.519
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)		2.266.783.088							0		2.266.783.088
Álcool		21.009.893.659							-729.916.920		20.279.976.739
Eleticidade correspondente Hidro			60.274.046.306						4.162.017.119		64.436.063.426
Eleticidade correspondente Eólica			5.299.184.158						432.333.561		5.731.517.719
Eleticidade correspondente Solar			13.740.424						967.911		14.708.335
Eleticidade correspondente Termoelétricas			26.015.857.223						1.851.936.300		27.867.793.522
TOTAL											239.790.935.665

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

A TAB 4.12, item “*Produtos de energia*” revela que o produto de maior valor disponibilizado no Brasil em 2016 é a “Eleticidade”. Veja que a Eleticidade é subdividida entre suas principais fontes, hidráulica, eólica, solar e termoelétrica. Tais fontes resultaram em um valor monetário total de US\$ 91.602.828.111,00, sendo US\$60.274.046.306,00 advindos das fontes hidráulicas, US\$5.299.184.158,00 da energia eólica, US\$13.740.424,00, da energia solar, e US\$ 26.015.857.223,00 das termoelétricas.

Os valores de consumo final dos produtos energéticos distribuídos nos diferentes setores da economia brasileira no ano de 2016 podem ser observados pela análise da TAB 4.13, a seguir.

TAB 4.13

Tabela De Usos E Recursos Monetários (US\$), item Consumo Final de Energia

3. Consumo final (US\$)	Extração								Exportação/Importações			Taxas	Total
	Agricultura...	Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Total Indústria	Residencial	Acumulação	Líquidas		
Gas natural	0	192.944.360	4.472.544.384	3.086.639.164	749.659.428	63.059.864	20.235.628	8.392.138.468	168.002.772	5.973.986.569	4.856.550.720		19.390.678.529
Carvão vapor	0	0	0	331.800.356	0	0	0	331.800.356	0	312.393.299	312.393.299		956.586.955
Óleo diesel	5.189.863.680	381.316.320	1.053.819.648	965.671.200	35.899.198.272	7.923.456	2.971.296	43.119.447.552	0	-237.687.833	6.414.037.632		49.295.797.351
Óleo combustível	4.288.680	59.261.760	917.387.640	79.145.640	200.788.200	6.627.960	389.880	1.208.628.000	0	19.068.641	-2.587.633.560		-1.359.936.919
Gasolina	0	0	0	0	31.482.810.000	0	0	31.482.810.000	0	193.133.556	3.083.950.800		34.759.894.356
GLP	18.714.240	42.626.880	1.060.473.600	1.039.680	0	411.713.280	268.237.440	1.760.178.240	6.833.816.640	85.758.005	2.194.764.480		10.874.517.365
Nafta	0	0	830.198.160	0	0	0	0	830.198.160	0	31.030.857	2.244.785.400		3.106.014.417
Querosene	0	1.365.306	1.365.306	0	4.509.606.023	0	0	4.510.971.329	2.730.612	54.991.799	-2.041.132.608		2.527.561.132
Biodiesel	0	0	0	0	2.240.765.122	0	0	2.240.765.122	0	-1.471.251	0		2.239.293.870
Álcool	13.112.280	0	0	0	20.222.049.600	0	0	20.235.161.880	0	185.014.271	-729.916.920		19.690.259.231
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)	0	0	1.080.624.240	753.309.720	0	0	0	1.833.933.960	0	0	0		1.833.933.960
Elettricidade correspondente Hidro	2.832.830.015	1.205.762.587	19.929.499.141	3.003.725.500	210.059.033	9.102.558.114	4.414.800.024	39.493.471.828	16.130.952.576	0	139.249.643		55.763.674.047
Elettricidade correspondente Eólica	294.262.963	125.249.757	2.070.196.035	312.014.897	21.820.086	945.537.044	458.591.630	4.102.422.655	1.675.618.330	0	4.162.017.119		9.940.058.104
Elettricidade correspondente Solar	658.798	280.410	4.634.767	698.541	48.851	2.116.874	1.026.698	9.184.528	3.751.384	0	432.333.561		445.269.474
Elettricidade correspondente Termoe	1.260.499.557	536.517.616	8.867.854.656	1.336.541.424	93.468.128	4.050.285.548	1.916.502.336	17.525.151.650	7.177.648.666	0	967.911		24.703.768.227
TOTAL	9.614.230.213	2.545.324.997	40.288.597.577	9.870.586.122	95.630.272.743	14.589.822.141	7.082.754.932	177.076.263.728	31.992.520.980	6.616.217.913	18.482.367.478		\$ 234.167.370.099

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

A TAB 4.14 foi construída com o objetivo de analisar o valor percentual de cada produto energético utilizado no Brasil. No ano de 2016, observa-se que 94,2% do consumo final dos produtos de energia destina-se para fins energéticos e o restante se destina a fins não energéticos no sistema produtivo como produção de lubrificantes e subprodutos do petróleo. Verifica-se ainda que o setor da economia que mais utiliza produtos energéticos é a Indústria, com 33%, e o setor que menos os utiliza é o Setor Público, com 1,6%.

TABELA 4.14

PSUT - Consumo final dos produtos de energia por setores e valor percentual final

Consumo final dos produtos de energia	Agricultura, Mineração e silvicultura e pesca	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residencial	Total Setores	Valor Percentual		
Gas natural		410	9504	6559	1593	134	43	18190	7,1%		
Carvão vapor			3258					3258	1,3%		
Óleo diesel		5240	385	1064	975	36246	8	43536	17,1%		
Óleo combustível		11	152	2353	203	515	17	3100	1,2%		
Gasolina				0	24225			24225	9,5%		
GLP		18	41	1020	1	0	396	258	6573	3,2%	
Nafta									0,0%		
Querosene			1	1		3303		2	3306	1,3%	
Biodiesel						2711			2711	1,1%	
Álcool		9				13880			13889	5,4%	
Lenha		2618		7225				6064	15997	6,3%	
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)			17554	12237					29791	11,7%	
Elettricidade correspondente Hidro		1540	655	10831	1632	114	4947	2399	7370	28834	11,3%
Elettricidade correspondente Eólica		160	68	1125	170	12	514	249	766	2995	1,2%
Elettricidade correspondente Solar		0,36	0,15	2,52	0,38	0,03	1,15	0,56	1,7	7	0,003%
Elettricidade correspondente Termoe		685	292	4820	726	51	2201	1042	3279	12804	5,0%
Outras		8	709	25411	3773			429	29621	11,6%	
SUBTOTAL		10289	2713	84169	26277	82650	8308	3996	24841	240530	94,2%
Consumo final de produtos de energia em fins não energéticos			14752						14752	5,8%	
TOTAL		4,0%	1,1%	33,0%	10,3%	32,4%	3,3%	1,6%	9,7%	100%	

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

O produto de energia “*Eletricidade*” foi subdividido em seus componentes hidráulica, eólica, solar e termoeletricidade, denominados na TAB 4.14 como *Eletricidade correspondente Hidro, Eletricidade correspondente Eólica, Eletricidade correspondente Solar e Eletricidade correspondente Termoelétrica*. Essa subdivisão é fundamental para que possamos observar a fatia de cada uma dessas fontes na matriz energética e também na matriz elétrica brasileira e a sua utilização nos diferentes setores da economia.

Apresenta-se ainda a TAB 4.15, na qual é observado o consumo final energético em termos monetários (Dólares Americanos – US\$). Com isso, é possível estabelecer uma comparação entre os valores de cada produto de energia da matriz energética brasileira e como se dá o seu consumo final nos diferentes setores da economia.

Vale ressaltar que dos valores contabilizados na tabela, não foram extraídos os constituintes de impostos e outras tarifas, como por exemplo o frete dos produtos energéticos, por isso, a coluna “*Taxas*” se encontra em branco.

TABELA 4.15

MSUT - Consumo final dos produtos de energia em valores monetários por setores e valor percentual final.

3. Consumo final (US\$)	Extração								Total Indústria	Residencial	Acumulação Líquidas	Exportação / Importações	Taxas	Total	Valor percentual
	Agricultura...	Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público								
Gas natural	0	192.944.360	4.472.544.384	3.086.639.164	749.659.428	63.059.864	20.235.628	8.392.138.468	168.002.772	5.973.986.569	4.856.550.720		19.390.678.529	8,3%	
Carvão vapor	0	0	0	331.800.356	0	0	0	331.800.356	0	312.393.299	312.393.299		956.586.955	0,4%	
Óleo diesel	5.189.863.680	381.316.320	1.053.819.648	965.671.200	35.899.198.272	7.923.456	2.971.296	43.119.447.552	0	-237.687.833	6.414.037.632		49.295.797.351	21,1%	
Óleo combustível	4.288.680	59.261.760	917.387.640	79.145.640	200.788.200	6.627.960	389.880	1.208.628.000	0	19.068.641	-2.587.633.560		-1.359.936.919	0,6%	
Gasolina	0	0	0	0	31.482.810.000	0	0	31.482.810.000	0	193.133.556	3.083.950.800		34.759.894.356	14,8%	
GLP	18.714.240	42.626.880	1.060.473.600	1.039.680	0	411.713.280	268.237.440	1.760.178.240	6.833.816.640	85.758.005	2.194.764.480		10.874.517.365	4,6%	
Nafta	0	0	830.198.160	0	0	0	0	830.198.160	0	31.030.857	2.244.785.400		3.106.014.417	1,3%	
Querosene	0	1.365.306	1.365.306	0	4.509.606.023	0	0	4.510.971.329	2.730.612	54.991.799	-2.041.132.608		2.527.561.132	1,1%	
Biodiesel	0	0	0	0	2.240.765.122	0	0	2.240.765.122	0	-1.471.251	0		2.239.293.870	1,0%	
Álcool	13.112.280	0	0	0	20.222.049.600	0	0	20.235.161.880	0	185.014.271	-729.916.920		19.690.259.231	8,4%	
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)	0	0	1.080.624.240	753.309.720	0	0	0	1.833.933.960	0	0	0		1.833.933.960	0,8%	
Eletricidade correspondente Hidro	2.832.830.015	1.205.762.587	19.929.499.141	3.003.725.500	210.059.033	9.102.558.114	4.414.800.024	39.493.471.828	16.130.952.576	0	139.249.643		55.763.674.047	23,8%	
Eletricidade correspondente Eólica	294.262.963	125.249.757	2.070.196.035	312.014.897	21.820.086	945.537.044	458.591.630	4.102.422.655	1.675.618.330	0	4.162.017.119		9.940.058.104	4,2%	
Eletricidade correspondente Solar	658.798	280.410	4.634.767	698.541	48.851	2.116.874	1.026.698	9.184.528	3.751.384	0	432.333.561		445.269.474	0,2%	
Eletricidade correspondente Termoe	1.260.499.557	536.517.616	8.867.854.656	1.336.541.424	93.468.128	4.050.285.548	1.916.502.336	17.525.151.650	7.177.648.666	0	967.911		24.703.768.227	10,5%	
TOTAL	9.614.230.213	2.545.324.997	40.288.597.577	9.870.586.122	95.630.272.743	14.589.822.141	7.082.754.932	177.076.263.728	31.992.520.980	6.616.217.913	18.482.367.478		\$ 234.167.370.099	100%	
PERCENTUAL	4,1%	1,1%	17,2%	4,2%	40,8%	6,2%	3,0%	75,6%	13,7%	2,8%	7,9%		100,0%		

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

É de fundamental importância destacar que, quanto ao produto energia elétrica, são praticados no mercado diferentes valores para consumidores finais distintos. Por

exemplo, para consumidores residenciais, o valor considerado foi de US\$ 320,30/bep, enquanto que para os demais setores foi considerado o valor de US\$ 269,90/bep(BEN, 2017).

A TAB 4.16 a seguir, apresenta a porcentagem de uso final energético dos produtos de energia utilizados nos diferentes setores da economia brasileira em 2016, obtidos da PSUT e da MSUT. Analisando-se a tabela, é possível estabelecer uma comparação entre os percentuais de uso físico, de uso monetário e a percepção do impacto do valor monetário da matriz por setor econômico.

TABELA 4.16

Valor percentual de PSUT e MSUT por setores e comparação entre uso e valor agregado da matriz utilizada por cada setor

	Agricultura...	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residencial
Percentual de Uso Físico	4,0%	1,1%	33,0%	10,3%	32,4%	3,3%	1,6%	9,7%
Percentual de Uso Monetário	4,1%	1,1%	17,2%	4,2%	40,8%	6,2%	3,0%	13,7%
Percepção do Impacto do Valor Monetário da Matriz Utilizada em Cada Setor	1,8%	2,2%	-47,8%	-59,1%	26,1%	91,3%	89,0%	40,3%

FONTE - Elaborado pelo autor através de dados obtidos do BEN 2017

Inicialmente, observa-se a linha “*Percentual de Uso Físico*”, onde a Indústria é o setor econômico brasileiro que demandou a maior utilização de produtos energéticos, com o valor de 33% do uso total desses produtos. Em segundo lugar, tem-se o setor de Transportes com 32,4%; em terceiro encontra-se o setor de Energia com 10,3%, e em quarto lugar, o setor Residencial, com 9,7% da utilização final dos produtos energéticos.

Quanto a linha “*Percentual de Uso Monetário*” da TAB 4.16, verifica-se o valor percentual monetário do uso final dos produtos energéticos em cada setor da economia brasileira. O maior valor percentual monetário se encontra no setor de Transportes, com 45,2% do total financeiro movimentado. O setor Indústria, com 19%, apresenta-se como o segundo maior percentual. Em terceiro lugar, tem-se o setor Residencial com 15,1% do valor monetário agregado total dos produtos de energia da matriz energética brasileira.

Os resultados da linha “*Percepção do Impacto do Valor Monetário da Matriz Utilizada em Cada Setor*”(PIVMMUCS)daTAB 4.16foram obtidospor meio da divisão do percentual de uso monetário pelo percentual de uso físico, menos um: [(percentual de uso monetário/ percentual de uso físico) - 1].

Para facilitar o entendimento daPIVMMUCS, pense em uma situação hipotética em que o valor monetário de todos os produtos de energia fossem os mesmos. Nessa situação,não haveria impacto algum do valor monetário decada produto energético presente nos diferentes setores da economia.

Entretanto, na realidade,os valores dos produtos energéticos são distintos, por isso, resultam em uma grande amplitude daPIVMMUCS na economia brasileira, como se observa na TAB 4.16. Essa amplitude varia desde - 59,1% para o setor Energia até 91,3% para o setor Comercial.

A explicação para essa variação negativa no setor Energia é o baixo custo dos produtos utilizados para o aproveitamento energético, como o bagaço de cana-de-açúcar com valor monetário de US\$9,00/bep (nove dólares por barril equivalente de petróleo). Já para o setor onde se observa o maior impacto,o setor Comercial, a explicação pode ser dada pela predominância de fontes energéticas mais caras, como a energia elétrica que corresponde a 92,2% do total de recursos energéticos utilizados nesse setor. Sabe-se que o custo da energia elétrica para o setor comercial fica entre US\$ 269,90/bepe US\$ 320,30/bep.

Por todo o exposto, considerando que

- (i) os consumidores do setor Residencialpagam a maior tarifa em sua conta mensal de energia elétrica (US\$ 320,30/bep)em comparação aos demais setores da economia brasileira;
- (ii) o Brasil possui um elevado potencial de geração de energia solar fotovoltaica, tendo apresentado entre os anos de 2016 e 2017, índice de crescimento de 929% em sua geração, como pode ser calculado pelos dados do capítulo 2.5;
- (iii) há uma tendência de redução do custo de produção e instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, tendo em vista que houve uma redução de 60% do valor da energia fotovoltaica nos leilões de energia realizados pelo governo brasileiro entre os anos 2015 e 2018, e ainda, que os investimentos mundiais

em energia fotovoltaica tem sido os maiores dentre os investimentos em fontes renováveis de energia (FIG 2.15) , como apresentado no capítulo 2.5;

vislumbra-se que, sobretudo para os setores Residenciais e Comerciais, há grande possibilidade de crescimento dos investimentos em geração de energia fotovoltaica no Brasil, comparado aos demais setores da economia brasileira.

A Indústria é o setor que utilizou a maior quantidade de energia elétrica em 2016, 16779 ktoe, o que representa 19,9% do total de recursos energéticos por ele utilizados. O setor é o que paga o menor valor para o uso de energia elétrica (US\$ 269,90/bep).

O segundo maior consumidor de energia elétrica no Brasil é o setor Residencial, com 11416 ktoe utilizados no ano de 2016. Esse valor correspondeu a 46,0% do total de recursos energéticos utilizados nesse setor. Além disso, consumidores residenciais pagam o maior valor para a utilização de energia elétrica (US\$ 320,30/bep).

O setor Comercial apresentou o maior valor percentual de utilização de energia elétrica dentre os demais setores da economia brasileira, correspondente a 92,4%, com a utilização de 7663 ktoe de energia elétrica em 2016. O custo dessa energia apresenta um valor intermediário entre o valor pago pelo setor Industrial (US\$ 269,90/bep) e o setor Residencial (US\$ 320,30/bep).

Dessa forma, para os setores Industrial, Residencial e Comercial, a utilização da energia fotovoltaica pode ser uma alternativa de redução dos custos com energia elétrica, haja vista que essa fonte de energia encontra-se competitiva frente às fontes comumente exploradas pelo setor privado - energia hidráulica e eólica-, conforme FIG 2.18.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a situação atual da matriz energética brasileira, no âmbito do Sistema de Contas Economicas Ambientais da Energia adotado pela ONU, o SEEA-Energy, sobretudo, com ênfase sobre a ótica da energia fotovoltaica.

Inicialmente, utilizando-se os dados obtidos do Balanço Energético Nacional BEN-2017, foram preenchidas a Tabela de Uso e Recurso Físicos (PSUT) e a Tabela de Uso e Recurso Monetário (MSUT) para o ano base de 2016.

Em seguida, com os resultados, foi feita uma análise do impacto financeiro da composição da matriz energética de cada setor produtivo brasileiro. Essa análise revelou que os setores de maior custo energético relativo são o setor Comercial, o Público e o Residencial, sendo observado que nesses setores, a energia elétrica apresenta os maiores custos monetários dentre os demais produtos energéticos.

A partir de uma observação mais analítica dos resultados, pode-se concluir que:

- (i) a energia elétrica é o produto energético de maior valor agregado na matriz energética brasileira e por isso os setores da economia que a utilizam em maior proporção apresentam desequilíbrio em termos de valor físico energético como visto na relação de barris equivalentes de petróleo por valor monetário (valores em Dólar Americano - U \$);
- (ii) há uma necessidade de diversificação da matriz elétrica nacional, visto que a matriz brasileira se concentra na geração de energia elétrica por fonte hidráulica. Tal modelo torna o Brasil susceptível à diminuição da oferta da energia elétrica em períodos de seca e consequente aumento do custo da energia elétrica o que desequilibra ainda mais a relação unidade física energética por custo do respectivo produto energético nos setores que a consomem;
- (iii) o Brasil possui altíssimo potencial de exploração de energia solar comparado aos demais países no mundo, porém a sua aplicação como fonte energética, corresponde para o ano de 2016 a apenas 0,003% do total de produtos energéticos utilizados no Brasil;
- (iv) houve uma redução nos custos de implantação de usinas fotovoltaicas no Brasil, considerando os últimos leilões promovidos pelo governo brasileiro;

- (v) o custo da energia elétrica é o produto energético advinda das Concessionárias para os setores Residencial e Comercial é elevado, sendo que os consumidores residenciais pagam o maior valor para a utilização de energia elétrica;
- (vi) o sistema de geração de energia fotovoltaica, na modalidade descentralizada, é uma possível alternativa frente à busca pela redução de custos da energia elétrica pelos consumidores desses setores.

Diante dessas observações, verifica-se que o Sistema de Contas Economicas Ambientais da Energia é um sistema apto a estabelecer uma análise do perfil de consumo energético dos diferentes setores da economia brasileira, em termos físicos e monetários, fornecendo dados consistentes para a análise da matriz energética utilizada por cada setor econômico o que pode vir a estudos de viabilidade para uma melhor seleção das mesmas como novas alternativas na produção energética do país.

Por fim, após a regulamentação do setor fotovoltaico a partir de 2012 e pela análise dos dados obtidos com o preenchimento da PSUT e da MSUT, conclui-se que a geração de energia solar fotovoltaica vem se tornando uma opção viável tanto para os setores da economia que utilizam predominantemente a energia elétrica como produto de energia, como no caso dos setores Comercial e Público, como para os setores que utilizam alto volume de energia elétrica a um custo elevado, como se enquadrar o setor Residencial.

Dessa forma, mantendo-se a tendência atual de redução de custo dos sistemas geradores fotovoltaicos e mantendo-se a regulamentação pró-consumidor a mesma deve favorecer sobretudo os setores Público, Residencial e Comercial na busca pela redução do impacto do custo monetário sobre o valor físico energético utilizado, uma vez que dessa forma, para sistemas viáveis, tais consumidores passam a utilizar de energia elétrica a um custo inferior ao cobrado pelas concessionárias de energia.

ABSTRACT

With the regulation of the energy sector since 2012 and the establishment of the energy compensation system in the country, there has been an expansion of the photovoltaic market. This expansion is due to the greater legal certainty provided to investors in the energy sector in Brazil, as well as to the increase in the financial viability of photovoltaic generation projects, due to factors such as: the reduction of the cost of components of photovoltaic generation systems, the cost of electric power supplied by the concessionaires, the increase in the supply of specialized labor and the competitiveness among integrating companies. The present work aims to present the energy matrix used in the various sectors of the Brazilian economy, adopting the method of Economic Environmental Accounting - Energy, from the English "System of Economic Energy Accounting" (SEEA-Energy) adopted by the United Nations UN). The methodology used was to fill in the Available and Used Energy Physical Resources Sheets (PSUT) and, later, to fill out the Available and Used Money Resource Sheet (MSUT), using data from the Brazilian energy matrix. The analysis of the results showed: (i) the percentage of use of each energy source in the different Brazilian productive sectors; and (ii) the cost of energy products for each sector of the Brazilian economy. It was concluded that (i) electric energy is the highest value-added energy product in the Brazilian energy matrix; (ii) the highest cost of electric energy falls on the consumer of the residential sector; (iii) the generation of photovoltaic solar energy, in the decentralized mode, is a possibility of reducing costs for consumers in the residential and commercial sector and should be encouraged.

Keywords: System of Economic Environmental Accounting - Energy, SEEA-Energy, Brazilian Energy Balance, Photovoltaic Energy.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPCH, Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas, Disponível em: <http://www.abrapch.org.br> Acessado em 19/04/18

AMARANTE, O. A. C., ZACK, M. B. J., SA, A. L., Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 2001.

EDITORIAL, Environmental Accounting: Introducing SEEA-2003, Ecological Economics 61 589 – 591, 2007.

El, Energia Inteligente UFJF 2017, Disponível em <http://energiainteligenteufjf.com/como-funciona/como-funciona-energia-eolica/>. Acessado em 20/04/18

EPE. “Balanço Energético Nacional 2017 - Ano Base 2016”. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2017

GREEN, M. A., Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years, Prog. Photovolt: 13:447–455, 2005

GOETZBERGERA et. al., “Photovoltaic materials, history, status and outlook” Materials Science and Engineering R 40 1–46, 2003

INATOMI, A. H.; UDAETA, M. E. M. “Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos”. Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (GEPEA-USP), 2005

ISE. Photovoltaics Report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acessado em 21/04/2018

KALDELLIS, J. K., ZAFIRAKIS, D., Review The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. Renewable Energy 36. pp.1887-1901, 2011

LOUW, A., Clean Energy Investment Trends, 2017, Bloomberg New Energy Finance, 2018

MME, Energia Eólica - Brasil e Mundo - ano ref. 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>, Acessado em 23/04/18

MME, Energia Solar no Brasil e Mundo Ano de referência – 2016, Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154> Acessado em 28/10/18

NEED, “Exploring Photovoltaics Student Guide” (2016). Disponível em: <www.need.org/files/curriculum/guides/Photovoltaics%20Student%20Guide.pdf> Acessado em 20/04/2018.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., GONÇALVES, A. R., COSTA, R. S., LIMA, F. J. L., RUTHER, R., ABREU, S. L., TIEPOLO, G. M., PEREIRA, S. V., SOUZA, J. G., Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição, INPE/CCST/LABREN/ UNIFESP/ UFSC, 2017

PINHO et. al., “Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos”, 2014

SILVA, R. M., Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios, Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa, Textos para Discussão 166, Fevereiro de 2015.

SMITH, R., Development of the SEEA 2003 and its implementation, Ecological Economics 61 592 – 599, 2007.

SUNFLOWER-SOLAR, Diferença entre célula policristalina e monocristalina, 2018. Disponível em: http://www.sunflower-solar.com/index_pt.php?act=content&scheduler_id=2029. Acessado 24/03/18

UN, Sistema de Contas Economicas Ambientais - 2012 Marco Central, 2016.

UN, System of Environmental Economic Accounting. Disponível em: <https://seea.un.org/seea-energy>. Acessado em 26/01/18

UNITED NATIONS. “System of Environmental Economic Accounting”. Disponível em: <<https://seea.un.org/content/about-seea>>. Acessado em 25/01/18

ANEXO A

A.1 Resultado do preenchimento da PSUT, item “Produção & geração de resíduos” desenvolvida no presente trabalho

TABELA DE RECURSOS FÍSICOS (ktoe)	Produção & geração de resíduos													
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outros Setores	Total Setores	Residencial	Acumulação	Entrada de Importação	Entrada do Ambiente	Total
1. Entradas de Energia de Recursos Naturais														
Não renovável													162975	162975
Renovável													125345	125345
													TOTAL	288320
2. Produtos de energia														
<i>Produção de produtos de energia</i>														
Gas natural		37622							37622			10320		47942
Carvão vapor		2636							2636			12909		15545
Óleo diesel			37994						37994			7182		45176
Óleo combustível			11072						11072			62		11134
Gasolina			21704						21704			2934		24638
GLP			6239						6239			2111		8350
Nafta			2567						2567			6630		9198
Querosene			4765						4765			786		5551
Biodiesel	3308								3308			0		3308
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)	35905								35905			0		35905
Lenha	23095								23095			0		23095
Álcool	14421								14421			434		14855
Eletricidade correspondente Hidro				32758					32758			3551		36309
Eletricidade correspondente Eólica				2880					2880					2880
Eletricidade correspondente Solar				7					7					7
Eletricidade correspondente Termoelétricas				14139					14139			6353		20492
Outros								14702	14702			3596		18298
SUBTOTAL	76729	40258	84341	49785	0	0	0	14702	265814			56868	SUBTOTAL	322682
3. Resíduos energéticos														
Total de resíduos energéticos	3195		780	8571					12546					12546
4. Outros fluxos residuais														
Resíduos de uso final não energético			6343						6343					6343
Energia de resíduos sólidos														0
5. TOTAL DE RECURSOS	79924	40258	91464	58356	0	0	0	14702	284703	0	0	56868		341571

A.2 Continuação do preenchimento da PSUT, item “Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas”, desenvolvida no presente trabalho

TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas													Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outros Setores	Total Setores	Residencial	Acumulação	Exportação	Entrada do Ambiente			
1. Energia de Recursos Naturais																
Não renovável		162975														162975
Renovável	73753			48427												122180
TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas													Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Outros Setores	Total Setores	Residencial	Acumulação	Exportação	Entrada do Ambiente			
2. Produtos de Energia																
<i>Transformação de energia</i>																
Gas natural			3014	12610					15633							15633
Carvão vapor				2665					2665							2665
Óleo diesel				1136					1136							1136
Óleo combustível				1362					1362							1362
Gasolina									0							0
GLP									0							0
Nafta			3055						3055							3055
Querosene									0							0
Biodiesel				72					72							72
Alcool				5081					5081							5081
Lenha				7098					7098							7098
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)				6110					6110							6110
Eleticidade correspondente Hidro																
Eleticidade correspondente Eólica																
Eleticidade correspondente Solar																
Eleticidade correspondente Termoeletricas																
SUBTOTAL	0	0	6068	36144	0	0	0	0	42212							42212
TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas													Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residência I	Total Setores	Acumulação	Exportação	Entrada do Ambiente				
Consumo final dos produtos de energia																
Gas natural		410	9504	6559	1593	134	43	357	18190		-12695	10320				15815
Carvão vapor			3258						3258		-164	2509				5604
Óleo diesel	5240	385	1064	975	36246	8	3		43536		-240	6476				49772
Óleo combustível	11	152	2353	203	515	17	1		3100		49	-6637				-3488
Gasolina				0	24225				24225		149	2373				26747
GLP	18	41	1020	1	0	396	258	6573	8266		-82	2111				10295
Nafta											92	6630				6722
Querosene		1	1		3303			2	3306		40	-1495				1851
Biodiesel	9				2711				2711		-2	0				2709
Alcool					13880				13889		127	-501				13515
Lenha	2618		7225					6064	15997			0				15997
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)			17554	12237					29791							29791
Eleticidade correspondente Hidro	1540	655	10831	1632	114	4947	2399	7370	28834			2262				31096
Eleticidade correspondente Eólica	160	68	1125	170	12	514	249	766	2895			235				3230
Eleticidade correspondente Solar	0,36	0,15	2,52	0,38	0,03	1,15	0,56	1,7	6,7			0,5				7
Eleticidade correspondente Termoeletrica	685	292	4820	726	51	2201	1042	3279	12804			1007				13811
Outras	8	709	25411	3773				429	29621			1384				31005
SUBTOTAL	10289	2713	84169	26277	82650	8308	3996	24841	240530		-12726	26674	0			254478
Consumo final de produtos de energia em fins não energéticos			14752						14752		109	438				15299
3. Resíduos de Energia																
Total de resíduos de energia																14281
4. Outros fluxos residuais																
Resíduos de uso final não energético											15299					15299
Energia de resíduos sólidos																0
TABELA DE USO FÍSICO (ktoe)	Consumo intermediário, uso de recursos energéticos, quantificação de perdas													Total		
	Agricultura, Silvicultura e Pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Residência I	Total Setores	Acumulação	Exportação	Entrada do Ambiente				
5. TOTAL DE RECURSOS	84042	165688	104989	110848	82650	8308	3996	24841	297494		2683	27112	14281			341571

ANEXO B

B.1 Resultado do preenchimento da Tabela de Usos e Recursos Monetários MSUT desenvolvida no presente trabalho

TABELA DE USOS E RECURSOS MONETÁRIOS (US\$)	Setores								Consumo final e outros			Total	
	Agricultura, silvicultura e pesca	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Total Setores	Exportação/Importações líquidas	Residencial	Acumulação		
1. Produtos de energia													
Gas natural		17.653.145.328										4.842.391.680	22.495.537.008
Carvão vapor		328.150.368										312.393.299	640.543.667
Óleo diesel			37.630.267.398									6.414.037.632	44.044.305.030
Óleo combustível			4.316.616.851									-2.587.633.560	1.728.983.291
Gasolina			28.206.505.404									3.083.950.800	31.290.456.204
GLP			6.486.481.385									2.194.764.480	8.681.245.865
Nafta			869.249.977									2.244.785.400	3.114.035.377
Querosene			6.505.866.481									-2.041.132.608	4.464.733.873
Biodiesel		2.734.252.519										0	2.734.252.519
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)		2.266.783.088										0	2.266.783.088
Álcool		21.009.893.659										-729.916.920	20.279.976.739
Eletricidade correspondente Hidro			60.274.046.306									4.162.017.119	64.436.063.426
Eletricidade correspondente Eólica			5.299.184.158		91.602.828.111							432.333.561	5.731.517.719
Eletricidade correspondente Solar			13.740.424									967.911	14.708.335
Eletricidade correspondente Termoeletricas			26.015.857.223									1.851.936.300	27.867.793.522
TOTAL													239.790.935.665
3. Consumo final (US\$)	Agricultura...	Extração Mineral	Indústria	Energia	Transportes	Comercial	Público	Total Indústria	Residencial	Acumulação	Exportação/Importações líquidas	Taxas	Total
Gas natural	0	192.944.360	4.472.544.384	3.086.639.164	749.659.428	63.059.864	20.235.628	8.392.138.468	168.002.772	5.973.986.569	4.856.550.720	0	19.390.678.529
Carvão vapor	0	0	0	331.800.356	0	0	0	331.800.356	0	312.393.299	312.393.299	0	956.586.955
Óleo diesel	5.189.863.680	381.316.320	1.053.819.648	965.671.200	35.899.198.272	7.923.456	2.971.296	43.119.447.552	0	-237.687.833	6.414.037.632	0	49.295.797.351
Óleo combustível	4.288.680	59.261.760	917.387.640	79.145.640	200.788.200	6.627.960	389.880	1.208.628.000	0	19.068.641	-2.587.633.560	0	-1.359.936.919
Gasolina	0	0	0	0	31.482.810.000	0	0	31.482.810.000	0	193.133.556	3.083.950.800	0	34.759.894.356
GLP	18.714.240	42.626.880	1.060.473.600	1.039.680	0	411.713.280	268.237.440	1.760.178.240	6.833.816.640	85.758.005	2.194.764.480	0	10.874.517.365
Nafta	0	0	830.198.160	0	0	0	0	830.198.160	0	31.030.857	2.244.785.400	0	3.106.014.417
Querosene	0	1.365.306	1.365.306	0	4.509.606.023	0	0	4.510.971.329	2.730.612	54.991.799	-2.041.132.608	0	2.527.561.132
Biodiesel	0	0	0	0	2.240.765.122	0	0	2.240.765.122	0	-1.471.251	0	0	2.239.293.870
Álcool	13.112.280	0	0	0	20.222.049.600	0	0	20.235.161.880	0	185.014.271	-729.916.920	0	19.690.259.231
Resíduo (Bagaço de cana-de-açúcar)	0	0	1.080.624.240	753.309.720	0	0	0	1.833.933.960	0	0	0	0	1.833.933.960
Eletricidade correspondente Hidro	2.832.830.015	1.205.762.587	19.929.499.141	3.003.725.500	210.059.033	9.102.558.114	4.414.800.024	39.493.471.828	16.130.952.576	0	139.249.643	0	55.763.674.047
Eletricidade correspondente Eólica	294.262.963	125.249.757	2.070.196.035	312.014.897	21.820.086	945.537.044	458.591.630	4.102.422.655	1.675.618.330	0	4.162.017.119	0	9.940.058.104
Eletricidade correspondente Solar	658.798	280.410	4.634.767	698.541	48.851	2.116.874	1.026.698	9.184.528	3.751.384	0	432.333.561	0	445.269.474
Eletricidade correspondente Termo	1.260.499.557	536.517.616	8.867.854.656	1.336.541.424	93.468.128	4.050.285.548	1.916.502.336	17.525.151.650	7.177.648.666	0	967.911	0	24.703.768.227
TOTAL	9.614.230.213	2.545.324.997	40.288.597.577	9.870.586.122	95.630.272.743	14.589.822.141	7.082.754.932	177.076.263.728	31.992.520.980	6.616.217.913	18.482.367.478	0	\$ 234.167.370.099