



## **TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

# **DESCENTRALIZAÇÃO DA OFERTA DE ENERGIA DIANTE A CRISE ENERGÉTICA BRASILEIRA**

**Felipe Silva Lucinda**

**Brasília, Dezembro de 2015.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**Felipe Silva Lucinda**

**DESCENTRALIZAÇÃO DA OFERTA DE  
ENERGIA DIANTE A CRISE ENERGÉTICA  
BRASILEIRA**

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília (UnB) como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Alcides Leandro da Silva

Brasília, 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica

## TRABALHO DE GRADUAÇÃO

# DESCENTRALIZAÇÃO DA OFERTA DE ENERGIA DIANTE A CRISE ENERGÉTICA BRASILEIRA

**Felipe Silva Lucinda**

### **Banca Examinadora**

Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva, UnB/ ENE  
(Orientador).

Prof. Dr. Francisco Damasceno Freitas, UnB/ENE

Prof. Dr. Rafael Shayani, UnB/ ENE

**Brasília, 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Lucinda, Felipe Silva

### **Descentralização da oferta de energia diante a crise energética brasileira**

[Distrito Federal] 2015.

xii,70 p. (ENE/FT/UnB, Graduação, Engenharia Elétrica, 2015).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energias Renováveis

2. Autoprodução

3. Crise hídrica

4. Oferta de Energia.

I. ENE/FT/UnB

II. Engenheiro

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LUCINDA, FELIPE S (2015). **Descentralização da oferta de energia diante a crise energética brasileira**. Trabalho de Conclusão de Curso, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Silva Lucinda

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: **Descentralização da oferta de energia diante a crise energética brasileira**

Engenheiro/2015: Graduação em Engenharia Elétrica/2015.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Felipe Silva Lucinda  
Quadra 205 Lote 06 Bloco "B"  
71925000 – Brasília – DF – Brasil  
Email: felipelucinda@gmail.com

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho aos meus avós que apesar de não termos tido a oportunidade de compartilhar de muitas experiências juntos, colocaram no mundo meu dois maiores exemplos de vida. Tenho certeza que estão nesse momento muito felizes por mais essa conquista.*

## **Agradecimentos**

A Deus, por ter me dado saúde, coragem e sabedoria para superar todas as barreiras encontradas em meu caminho.

A minha maior heroína e mãe, Elciane Helena, por todo o amor e dedicação na minha criação e dos meus irmãos. Agradeço todo o esforço que permitiu que eu chegasse até aqui, sempre me dando conselhos e ensinamentos que me tornaram uma pessoa melhor e mais sábia.

Ao meu maior exemplo e pai, Luiz Lucinda, que sempre esteve ao meu lado me apoiando sem medir esforços para que eu tivesse uma educação de qualidade. Agradeço todo ensinamento e conselhos que me fizeram enxergar o mundo da melhor forma.

Aos meus irmãos, Natália e Pedro, que sempre me apoiaram em minhas aventuras, sendo amigos e companheiros nos momentos de dificuldades. Agradeço a todos os conselhos e por todos os momentos juntos, felizes ou tristes, que compartilhamos.

A minha segunda mãe, Maria Lúcia, que dedicou boa parte de sua vida na minha criação e dos meus irmãos, sempre nos dando muito amor e carinho.

Aos meus amigos, por todos os momentos vividos juntos, pelas risadas e pelos conselhos. Agradeço a todos que nos momentos de dificuldades estiveram ao meu lado, me apoiando e me dando forças para superar as dificuldades.

Ao meu professor orientador, Alcides Leandro, que tornou possível a conclusão desse trabalho, me aconselhando e orientando.

A Universidade de Brasília e a todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia.

Felipe Lucinda

---

## RESUMO

Atualmente, o setor energético brasileiro passa por crise agravada principalmente por crise hídrica, o que tem requerido maior uso de fontes elétricas alternativas, como as termelétricas. Este cenário sugere que os próximos anos serão pautados por acréscimo de potência instalada por usinas hidrelétricas a fio d'água e expansão de fontes geradoras de energia não renováveis e um aumento das emissões de gases do efeito estufa. Este trabalho visa prospectar um cenário futuro, eleito 2050, baseado no aumento da energia elétrica gerada por fontes renováveis, o que corrobora com o desenvolvimento sustentável do país.

Uma revisão bibliográfica do atual cenário da matriz energética brasileira é apresentada, bem como as principais formas de geração de energia. Para vislumbrar um cenário futuro, foi realizada uma sistematização de diversos dados governamentais e de órgãos nacionais e internacionais. A partir desses dados, foi realizado um planejamento energético pautado nos recursos renováveis disponíveis no país, acelerando a descentralização da oferta de energia com grandes benefícios socioambientais e ao sistema elétrico brasileiro. O resultado é um sistema mais confiável e limpo, menos dependente de hidrelétricas, com maior participação de fontes renováveis e da participação independente: cogeração, autoprodução, e geração distribuída.

Palavras Chaves: Energias Renováveis, Autoprodução, Crise hídrica, Oferta de Energia.

# Sumário

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação do Trabalho .....	1
1.2 Objetivo do Trabalho.....	3
1.3 Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Considerações Iniciais .....	5
2.1.1 Geração distribuída de Eletricidade.....	5
2.1.2 Geração distribuída de combustíveis.....	6
2.2 Principais vantagens da descentralização da oferta de energia na matriz energética.....	6
2.2.1 Benefícios do sistema .....	6
2.2.2 Benefícios socioeconômicos.....	7
2.2.3 Benefícios ao Sistema Interligado Nacional.....	7
2.3 Inserção do modelo proposto no mercado brasileiro .....	8
2.3.1 Energia fotovoltaica.....	8
2.3.2 Biogás .....	9
2.3.3 Autoprodução e cogeração de grande porte .....	9
<b>3 AS PRINCIPAIS FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS.....</b>	<b>11</b>
3.1 As principais formas de oferta descentralizada de energia no Brasil.....	11
3.1.1 Energia Hidráulica .....	12
3.1.2 Biomassa.....	15
3.1.3 Energia eólica .....	17
3.1.4 Energia Fotovoltaica.....	18
3.1.5 Biogás .....	21
3.1.6 Autoprodução de grande Porte .....	22
3.1.7 Descentralização na produção de combustíveis .....	23
<b>4 O USO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL .....</b>	<b>25</b>
4.1 Análise da atual matriz energética brasileira .....	25
<b>5 OS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS E BARREIRAS À DESCENTRALIZAÇÃO DA OFERTA DE ENERGIA.....</b>	<b>30</b>
5.1 Benefícios da descentralização da oferta de energia .....	31
5.1.1 Benefícios ao Consumidor: .....	31
5.1.2 Benefícios a Concessionária:.....	32
5.1.3 Benefícios ao Sistema Interligado (SIN).....	32
5.1.4 Benefícios à sociedade.....	33
5.2 Principais dificuldades .....	33
5.2.1 Barreiras Financeiras: .....	34
5.2.2 Barreiras Sociais e Culturais.....	34
5.2.3 Barreiras Ambientais .....	34
5.2.4 Barreiras Técnicas e Tecnológicas .....	35
5.2.5 Barreiras a Operação do Sistema.....	35
5.2.6 Barreiras no Mercado .....	35



<b>6</b>	<b>FORMAS DE PROMOVER O CRESCIMENTO DA OFERTA</b>	
	<b>DESCENTRALIZADA DE ENERGIA .....</b>	<b>36</b>
6.1	Os instrumentos de promoção.....	36
6.1.1	Instrumentos de Mercado .....	36
6.1.2	Instrumentos públicos.....	38
6.2	Contexto Brasileiro na Geração Distribuída.....	39
<b>7</b>	<b>VISLUMBRANDO UM CENÁRIO FUTURO ALTERNATIVO PARA A MATRIZ</b>	
	<b>ENERGÉTICA BRASILEIRA .....</b>	<b>43</b>
7.1	Sistematização .....	44
7.2	Projeção por fonte e fatores de capacidade .....	48
7.3	Expansão das fontes de energia até 2050.....	52
7.3.1	Repotenciação de UHEs .....	52
7.3.2	Expansão de novas UHEs.....	53
7.3.3	Expansão das PCHs .....	53
7.3.4	Expansão das UTEs .....	54
7.3.5	Expansão das EOLs .....	54
7.3.6	Expansão SOLs .....	54
7.4	Análise de Dados e Resultados.....	54
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. AUTOPRODUÇÃO DE ELETRICIDADE, 2013 – 2050 (TWh) (EPE, 2014).....	10
FIGURA 3.1. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL ENTRE 1973 E 2006 (ANEEL, 2014).....	13
FIGURA 3.2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 2015 (ANEEL, 2015).....	15
FIGURA 3.3. IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANETA TERRA (INPE, 2006).....	19
FIGURA 3.4. NUMERO DE CONEXÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR TIPO DE FONTE NO BRASIL EM 2014 (ANEEL, 2014).....	20
FIGURA 4.1. VARIAÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E A OFERTA INTERNA DE ENERGIA (EPE, 2015).....	26
FIGURA 4.2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA EM 2013 E 2014 (EPE, 2015).....	27
FIGURA 4.3. PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA RENOVÁVEL NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA (EPE, 2015).	27
FIGURA 4.4. PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DAS FONTES RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA EM 2014 (ANEEL, 2014).....	29
FIGURA 7.1. EVOLUÇÃO ESTIMADA DO CONSUMO PER CAPITA DE ELETRICIDADE (KWH/HAB) (EPE, 2015). .....	46
FIGURA 7.2. PERSPECTIVA DA REPOTENCIAÇÃO (IEE, 2004).....	53
FIGURA 7.3. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA EM 2012 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	55
FIGURA 7.4. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA EM 2018 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	56
FIGURA 7.5. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA EM 2050 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	57
FIGURA 7.6. PARTICIPAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA 2018 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	58
FIGURA 7.7. PARTICIPAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA 2050. (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	58
FIGURA 7.8. ACRÉSCIMO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA EM 2018 COMPARADA A 2012 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	59
FIGURA 7.9. ACRÉSCIMO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA EM 2050 COMPARADA A 2018. (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	60
FIGURA 7.10. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)..	61

# LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. ESTIMATIVA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA GERADA (EPE, 2014). .....	8
TABELA 7.1. RESUMO DOS DADOS UTILIZADOS NA PROJEÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA DE 2050. (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	45
TABELA 7.2. BRASIL: CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E EFICIÊNCIA ELÉTRICA (EPE, 2015). .....	47
TABELA 7.3. FATORES MÉDIOS DE CAPACIDADE DAS PRINCIPAIS FONTES CONSIDERADAS E A SUA PRODUÇÃO EM 2018 (ELABORAÇÃO PRÓPRIA). .....	52
TABELA 7.4. TABELA RESUMO EXPANSÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA. (ELABORAÇÃO PRÓPRIA). .....	61

# LISTA DE SIGLAS

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANACE - Associação Nacional de Consumidores de Energia

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

BIG - Banco de Informações da Geração

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CVU - Custo Variável Unitário

EPE - Empresa de Pesquisa Energética GEEs - Gases do Efeito Estufa

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviço

IEA - International Energy Agency

IEA International Energy Agency

IEEE- Institute of Electrical and Electronic Engineers

NEM - Net energy metering

PD&D - Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração.

PEN - Plano Nacional de Expansão de Energia

PWC- Price Water House & Coopers

RECs - Renewable Energy Certificates

RES - Renewable Electricity Standar

RPS - Renewable Portfolio Standard

Unica - União da Indústria de Cana-de-açúcar de São Paulo

WEC - World Energy

# **1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 Motivação do Trabalho**

Desde o início de 2015, o Brasil tem vivido uma grave crise no setor elétrico motivado por fatores diversos, delineados ao longo deste trabalho. Este fato tem afetado a população brasileira.

O sistema elétrico brasileiro possui como principal fonte produtora de eletricidade as hidrelétricas. Contudo, como aponta dados do balanço energético nacional de 2015 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), pelo terceiro ano consecutivo, a oferta de energia hidráulica teve redução por causa das condições hidrológicas desfavoráveis. O decréscimo hídrico no ano de 2014 foi de 5,6% o que afetou a participação da energia hidráulica na matriz energética do Brasil. Foi uma queda de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013, chegando a 65,2% no ano de 2015. Somado a este fator, o consumo de energia elétrica no país aumentou no ano anterior em 2,9%, impulsionado principalmente pelo setor residencial e comercial. Para suprir essa demanda, o governo federal tem ordenado a expansão da geração térmica. Estas usinas têm como pilares as usinas movidas a carvão mineral (24,7%), gás natural (17,5%) e biomassa (14,1%) que aumentaram suas participações na matriz energética em 0,6%, 1,7% e 0,8% respectivamente, elevando o preço da energia elétrica para o consumidor final. (EPE, 2014)

Diante desse cenário, conclui-se que o Brasil depende basicamente da gestão dos estoques de água nos seus reservatórios para conseguir superar a alternância entre períodos chuvosos e períodos de seca, aumentando o uso de energia não renovável e de maior custo para o consumidor final.

Para suprir o déficit orçamentário no setor elétrico, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que o setor elétrico seja responsável por R\$ 269 bilhões em investimentos até 2021, dos quais R\$ 213 bilhões em geração e R\$ 56 bilhões em transmissão. Porém, diante da recente crise hídrica, a Empresa de Pesquisa Energética prevê no Plano Nacional de Expansão de Energia 2050 uma descentralização na oferta de energia para os próximos anos. Isso porque as termelétricas têm contribuído para o

encarecimento das tarifas de energia do setor elétrico, além de contribuir para o aumento dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Outro fator que corrobora com a diversificação da oferta de energia no país é o alto custo de transmissão e de perdas causadas pelas longas distâncias entre as grandes hidrelétricas e os centros consumidores. Somadas às perdas técnicas, estão às perdas por furto de energia, consideradas perdas comerciais. Estas perdas têm chamado à atenção da Associação Nacional de Consumidores de Energia (ANACE) que atingiram 40 milhões de kWh causando um prejuízo de US\$ 2,8 bilhões ao setor (ANACE, 2014).

Diante do aumento do uso de energia não renováveis e de maior custo para o consumidor, dos gastos cada vez mais elevados em linhas de transmissão de longas distâncias, da crise hídrica, além das perdas inerentes ao sistema energético atual, tem-se buscado no restante do mundo alternativa a atual forma de gerar energia no Brasil. Nesse sentido, a descentralização da oferta de energia vem ganhando cada vez mais adeptos à solução em longo prazo da crise vivida atualmente. Um indicador de que essa solução penetrará facilmente no mercado brasileiro são os chamados edifícios verdes e a utilização de carros elétricos que simbolizam a aplicação da energia alternativa em substituição a energia convencional. Desta forma, é inevitável a modernização da rede elétrica, e a melhora da gestão de recursos: bacias hídricas, expansão da rede de gás e aproveitamento de resíduos orgânicos. A essas formas alternativas de produção de energia elétrica sustentável integrando diferentes sistemas a rede elétrica e combinando a geração distribuída à produção descentralizada de combustíveis, define-se a descentralização da oferta de energia no sistema energético brasileiro.

Assim, o conceito de oferta descentralizada de energia utilizado nesse trabalho será o mesmo definido pela Empresa de Pesquisa Energética que é a união dos conceitos de geração distribuída de energia e produção descentralizada de combustíveis. Ou seja, oferta de energia perto do ponto de consumo, com atendimento prioritário à demanda e com escalas relativamente reduzidas (EPE, 2014). Com isso, consegue-se uma maior diversificação da matriz energética brasileira, diminuindo a dependência das hidrelétricas e, conseqüentemente, de fatores climáticos, aumentando a proximidade da produção de energia aos grandes centros consumidores, reduzindo os custos com transmissão de energia e possíveis furtos. Adicionalmente, consegue-se aumentar a participação das energias renováveis e reduzir os impactos negativos ao ambiente.

## **1.2 Objetivo do Trabalho**

Este trabalho objetiva demonstrar como a descentralização na produção de energia elétrica pode ser a solução à crise energética vivida atualmente no Brasil, com a identificação de um modelo de transição da matriz energética atual para 2050. Esse modelo proporcionará a sintonia do parque produtor brasileiro no desenvolvimento sustentável, o que propiciará mais confiabilidade ao sistema, menores taxas de emissões de gases do efeito estufa e de custos inerentes ao processo como um todo.

## **1.3 Estrutura do Trabalho**

O trabalho foi dividido em sete capítulos, organizados de forma a apresentar um embasamento teórico necessário para o desenvolvimento das ideias, com uma progressão lógica que facilite o entendimento do tema. No capítulo 1 foram introduzidas motivações para o desenvolvimento desse trabalho e o principal objetivo.

O capítulo 2 aborda o histórico da geração distribuída de combustíveis e eletricidade no Brasil, as principais vantagens e uma análise da penetração da tecnologia no mercado brasileiro.

No capítulo 3 serão apresentados os conceitos e aplicações das principais formas de geração de energia utilizada no Brasil focando-se nas principais fontes de energia utilizada que compõe a descentralização da oferta de energia proposta.

O atual cenário da matriz energética no Brasil será discutido no capítulo 4, assim como o crescimento do uso das energias renováveis e as tendências futuras na oferta da energia.

No capítulo 5, serão analisados os principais benefícios da descentralização da oferta de energia e as possíveis barreiras que poderão ser enfrentada no seu desenvolvimento.

Como parte importante desse trabalho, serão introduzidas no capítulo 6 as principais formas de promoção da geração distribuída utilizadas no mundo e quais delas estão em vigor no Brasil. Além disso, serão abordados os mecanismos para superar as

barreiras discutidas no capítulo anterior e o contexto brasileiro diante do mundo, as tarifas, legislações e financiamentos em vigor no país.

No capítulo 7, serão analisados os dados do balanço energético nacional desde 2012 objetivando com base na avaliação dos dados disponibilizados pelos órgãos públicos brasileiros e internacionais, vislumbrar um possível cenário da matriz energética do Brasil para os próximos anos.

No capítulo 8 das conclusões, resume os principais pontos desse trabalho e avalia os resultados encontrados no capítulo 7. Esse capítulo ainda sugere temas importantes para futuros trabalhos.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Considerações Iniciais**

A descentralização da oferta de energia ganha cada vez mais espaço nas discussões dos especialistas do setor. A diversificação na geração de energia no mundo tem sido uma das principais formas encontradas por estudiosos para mitigar a crise energética vivida pelo Brasil, sendo a principal base para novas projeções para os próximos anos.

#### **2.1.1 Geração distribuída de Eletricidade**

Até 2012, a geração distribuída de energia elétrica era utilizada no Brasil apenas para produção de energia em locais isolados, onde as linhas de distribuição advindas das grandes centrais produtoras de energia não abastecia. Esse cenário começou a mudar a partir de 2012, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa 482 que regularizou a conexão à rede principal dos chamados micro e mini geradores de energia individual. A essas diferentes modalidades de oferta de energia elétrica, a ANEEL classificou-os da seguinte maneira:

- Micro geração distribuída – capacidade menor ou igual a 100 kW;
- Mini geração distribuída ou Pequena escala – capacidade superior a 100 kW e menor ou igual a 1MW;
- Média geração distribuída ou de Média escala – capacidade superior a 1 MW e menor ou igual a 5MW;
- Grande geração distribuída ou de Grande Escala – capacidade superior a 5 MW e menor ou igual a 30 MW.

Dessa forma, foram traçados diferentes perfis para classificar essa nova modalidade de geração de energia. O primeiro tipo, os micros e mini geradores seguem uma lógica de decisão totalmente dispersa e dependente da realidade dos consumidores

individuais. O segundo tipo é a autoprodução industrial, geração que segue a lógica de investimento industrial de grandes projetos. A geração na ponta é outra tipologia bastante difundida, onde o consumidor instala uma geração para retirar/reduzir o consumo e demanda de ponta, principalmente por conta dos elevados custos de atendimento neste horário. O último tipo é a cogeração ou multi geração, que além da geração de energia elétrica ainda há produção de utilidades.

### **2.1.2 Geração distribuída de combustíveis**

O conceito de geração distribuída de combustíveis com a finalidade de contribuição na oferta de energia elétrica ainda é pouco difundida e não tem um conceito claro e definido na literatura. Será adotada a definição da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que define como produção de energéticos, perto de pontos ou centros de consumo e com escala relativamente reduzida quando comparada a produção centralizada. O principal vetor energético que compõe essa modalidade de geração de energia no Brasil é a energia advinda dos biocombustíveis. O Brasil por ser um grande produtor de biomassa é estrategicamente favorecido nesse tipo de oferta que depende da difusão e inovação de tecnologias de produção na área para alcançar uma maior participação na matriz energética, ajudando a equilibrar a participação das energias renováveis.

## **2.2 Principais vantagens da descentralização da oferta de energia na matriz energética.**

### **2.2.1 Benefícios do sistema**

A descentralização da oferta de energia ganha cada vez mais força entre os especialistas da área, pois traz uma solução ambientalmente aceita e tecnicamente viável para o sistema energético brasileiro que carece hoje de novas alternativas na geração de energia. Com a Resolução 482 da ANEEL prevê-se que a microgeração seja baseada em recursos renováveis, contribuindo imensamente para a redução das emissões de poluentes e conseqüentemente o efeito estufa, colaborando para as políticas internacionais de redução de poluentes (ANEEL, 2012). Além disso, a adoção da geração distribuída diminui significativamente a necessidade de grandes projetos, como

as usinas hidrelétricas, que tem afetado os grupos minoritários, como comunidades indígenas. Além disso, com a geração de energia mais próxima aos centros consumidores diminui-se também a necessidade de linhas de transmissão que muitas vezes encontram barreiras em sua construção como áreas de preservação ambiental. Por último, a adoção desse sistema, tornará mais eficiente o sistema energético já que reduzirá os gastos com furtos de energia.

### **2.2.2 Benefícios socioeconômicos**

Além dos benefícios ambientais, o sistema descrito trará vários benefícios socioeconômicos para o Brasil já que lugares remotos onde o abastecimento de energia elétrica é deficitário poderão ser supridos com o novo modelo, reduzindo a exclusão energética atual. Além disso, a adoção do modelo proposto irá gerar empregos e atenderá de forma mais eficiente pontos críticos como hospitais. Somados a esses benefícios, a descentralização da oferta de energia tornará a matriz energética brasileira mais eficiente, aumentando a qualidade de energia e a confiança do sistema já que dependeríamos menos de linhas de transmissão e das distribuidoras. O barateamento da conta de energia para o consumidor final é outro importante ponto que o sistema proporcionará já que o consumidor não terá gastos adicionais, dependendo apenas de recursos renováveis.

### **2.2.3 Benefícios ao Sistema Interligado Nacional**

Somados aos benefícios sociais e ambientais citados, um dos principais benefícios da descentralização da oferta de energia será a enorme contribuição ao Sistema Interligado Nacional (SIN) que terá várias fontes geradoras de energia interligadas, aumentando a confiabilidade do sistema e facilitando o planejamento energético, tornando-o mais dinâmico e confiável já que dependerá menos das condições hídricas das bacias.

## 2.3 Inserção do modelo proposto no mercado brasileiro

Após apresentada às motivações e os benefícios da adoção do modelo de descentralização na oferta de energia, serão analisados como os principais vetores que compõe a matriz energética brasileira serão inseridos no mercado brasileiro de energia.

### 2.3.1 Energia fotovoltaica

Estima-se que ao longo das próximas duas décadas, a tecnologia para geração solar deverá se desenvolver gradualmente, tornando-se economicamente atrativa para os consumidores. No entanto, acredita-se que o grande crescimento ocorra depois da década de 2030, quando a geração fotovoltaica distribuída já estará consolidada no mercado, com baixos custos e acessível ao grande público através de diferentes modelos de negócio, ao passo que o consumidor já estará também familiarizado com o conceito de geração de sua própria energia.

Segundo a EPE, estima-se que a geração distribuída fotovoltaica atingirá uma capacidade instalada de aproximadamente 78 GWp em 2050 (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Estimativa de energia fotovoltaica gerada (EPE, 2014).

	Referência				Novas Políticas			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Potência Instalada (GWp)	0,5	10	50	78	1	20	82	118
Energia Gerada (MWméd)	78	1.523	7.466	11.797	153	3.001	12.511	18.029
% da Carga Total (SIN)	0,1%	1,3%	4,7%	5,7%	0,2%	2,6%	7,9%	8,7%

Fonte: Elaboração EPE

A projeção realizada representa a convicção de que a geração distribuída deve desempenhar um papel importante no atendimento à demanda elétrica nacional nas próximas décadas. A potência estimada é capaz de gerar quase 12 GW médios ao final do período, o que corresponde a 5,7% da projeção da demanda total de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional no mesmo ano.

Essa penetração poderá ser ainda maior se o governo se comprometer a estimular a adoção do sistema fotovoltaico, definido como novas políticas no documento, que poderá atingir no final de 2050 118 GW de potência instalada, gerando

pouco mais de 18 GW médios de eletricidade, o que corresponderia a 8,7% da carga do SIN.

### **2.3.2 Biogás**

A geração distribuída de biogás pode chegar em 2050 a 2.850 MW médio o que pode parecer a princípio insignificante comparado ao sistema fotovoltaico, contudo é importante observar que nessa modalidade, a matéria prima é também utilizada para a produção de biometano, sendo considerado apenas 6% do potencial de produção para geração de eletricidade em 2050. Ainda assim, vale ressaltar que os números poderão ser ainda mais otimistas se o governo promover ações para incentivar a oferta de bioeletricidade advindo do biometano, podendo chegar aos 5.188 MW médios em 2050, número bastante expressivo e que ajudará na diversificação da matriz energética. (EPE, 2014)

### **2.3.3 Autoprodução e cogeração de grande porte**

Será analisada penetração do terceiro pilar que compõe a geração distribuída de eletricidade considerada nesse trabalho: a autoprodução de grande porte. Entende-se por autoprodução a geração de eletricidade do consumidor com instalações próprias de geração de energia elétrica, localizadas junto às unidades de consumo, que não utiliza para o auto suprimento de eletricidade, a rede elétrica das concessionárias de transmissão/distribuição. O mercado potencial de cogeração é constituído, essencialmente, pelos segmentos industriais que utilizam grandes quantidades de vapor e eletricidade no próprio processo industrial.

Os principais segmentos que apresentam tais características são: papel e celulose, químico e petroquímico, siderurgia, açúcar e álcool, alimentos e bebidas, e têxtil. Prevê-se um expressivo crescimento da autoprodução até 2020, em torno de 7% ao ano, em média. Posteriormente, a autoprodução expande a taxas progressivamente mais baixas, atingindo uma taxa média de 2,6% ao ano no horizonte de longo prazo deste estudo. A Figura 2.1 abaixo demonstra a previsão da autoprodução para o período 2013-2050. (EPE, 2014)

A participação da autoprodução no consumo total de eletricidade do país passará de quase 10% (valor verificado nos últimos anos) para cerca de 12% em 2020, caindo gradualmente a partir daí até o final do horizonte, quando representará em torno de 8% do consumo total. O montante de autoprodução em 2050, caso esse consumo fosse atendido pelo sistema elétrico, equivaleria a uma carga da ordem de 17 GW médios, o que representa quase o dobro da garantia física da usina hidroelétrica de Itaipu (EPE, 2014).

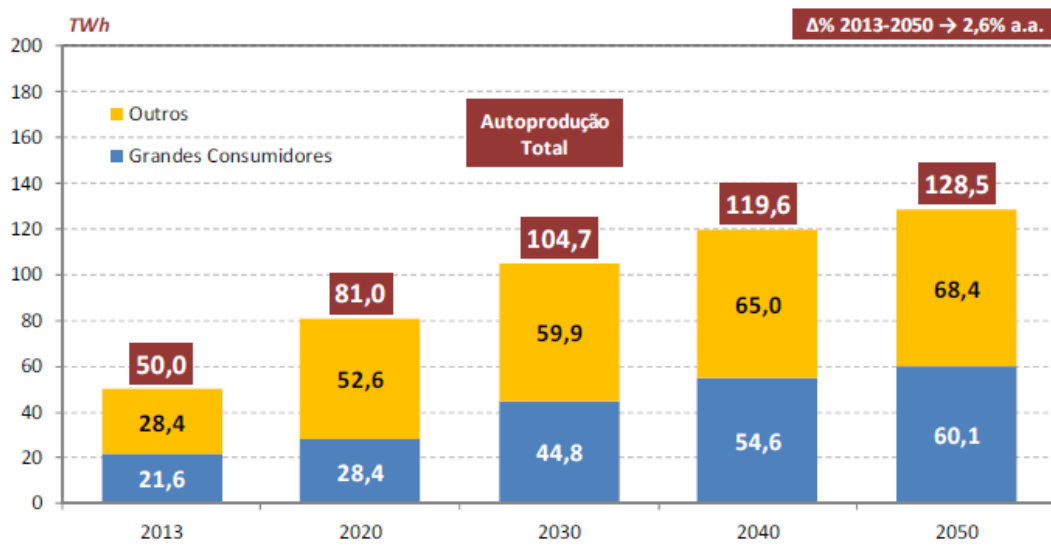


Figura 2.1. Autoprodução de eletricidade, 2013 – 2050 (Twh) (EPE, 2014).

Exposto o cenário atual, a solução proposta para tal e os benefícios prováveis na adoção do sistema, além da possível penetração no mercado energético, serão apresentada no próximo capítulo as principais formas de geração de energia elétrica.

# **3 AS PRINCIPAIS FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Nessa seção serão abordadas as principais fontes utilizadas na geração de energia elétrica no Brasil. Podem-se classificar as fontes de energia elétrica a partir da fonte utilizada para gerá-la. Quando essa fonte de energia é encontrada na natureza ela é classificada como fonte primária de energia.

As fontes primárias de energia podem ser divididas em dois subgrupos: as fontes de energias convencionais e as fontes de energia alternativas. As fontes de energia convencionais são aquelas que foram inicialmente utilizadas como principal forma de geração de energia elétrica, sendo as fontes alternativas as novas formas de geração de energia elétrica em relação às fontes tradicionais. Essas fontes cada vez mais ganham espaço no mundo e especialmente no Brasil por possuir um grande potencial de desenvolvimento.

Considerando que o objetivo do trabalho é abordar a importância das energias renováveis no novo cenário que se apresenta no Brasil, serão abordadas neste trabalho apenas as principais fontes de energia convencionais ofertadas no Brasil, as quais vêm causando preocupação aos órgãos competentes e das possíveis alternativas de geração de energia para o Brasil, as quais representam a esperança de um cenário melhor para os brasileiros no futuro.

## **3.1 As principais formas de oferta descentralizada de energia no Brasil**

A produção descentralizada de energia ou microgeração refere-se à possibilidade de o consumidor, particular ou empresa, produzir a sua própria energia, recorrendo para tal a equipamentos de pequena escala, como, por exemplo, painéis solares, microturbinas, micro eólicas ou mini-hidrelétricas. A energia produzida pode ser

aproveitada para o aquecimento de águas sanitárias ou para a produção de energia elétrica, que pode ser vendida à rede de distribuição nacional.

Nesse capítulo será discutido o uso dos principais vetores energéticos como solução da crise energética brasileira.

### **3.1.1 Energia Hidráulica**

A energia gerada a partir da água é a principal fonte convencional de energia explorada no Brasil. A água é o recurso natural mais abundante na Terra: com um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos (km<sup>3</sup>) recobre 2/3 da superfície do planeta sob a forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos. A grande vantagem da utilização desse recurso natural como forma de gerar energia elétrica é o baixo impacto ambiental causada por ela quando comparada às outras fontes tradicionais. Além disso, ela pode ser reaproveitada, pois faz parte de um ciclo onde se transforma em vapor, se condensa nas nuvens e retorna a superfície da terra sob a forma líquida de novo (ANEEL, 2008).

Contudo a utilização desse recurso na geração de energia é pouco aproveitada no mundo, apesar de que ela representar atualmente mais de 65% de toda energia gerada no país. Segundo o último relatório Key World Energy Statistics, da International Energy Agency (IEA), publicado em 2008, entre 1973 e 2006 a participação da força das águas na produção total de energia passou de 2,2% para apenas 1,8%. No mesmo período, como mostra a Figura 3.1 a seguir, a posição na matriz da energia elétrica sofreu recuo acentuado: de 21% para 16%, inferior à do carvão e à do gás natural, ambos combustíveis fósseis não renováveis, cuja combustão é caracterizada pela liberação de gases na atmosfera e sujeitos a um possível esgotamento das reservas no médio e longo prazo (ANEEL, 2008).



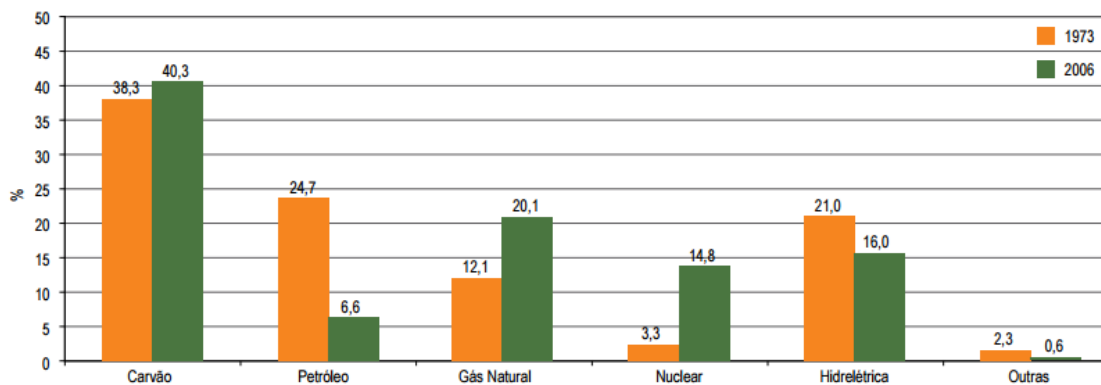


Figura 3.1. Geração de energia elétrica no Brasil entre 1973 e 2006 (ANEEL, 2014).

O principal fator que explica esse paradoxo é a distribuição não uniforme do recurso sobre a superfície terrestre. A tecnologia para aproveitamento da força das marés ainda não é suficientemente sofisticada e eficaz para gerar energia, restando apenas aquelas que fluem através de um desnível acentuado do terreno e que são aproveitadas nas hidrelétricas.

A primeira hidrelétrica instalada no Brasil foi durante o reinado de D. Pedro II no município de Jequitinhonha com capacidade de gerar 0,5MW. Hoje há tecnologias mais avançadas que permite construir hidrelétricas como a de Itaipu com capacidade de gerar 14 mil MW de potência (ANEEL, 2008).

Um dos principais pontos que determinam a eficiência da hidrelétrica é o seu reservatório, que pode ser de acumulação ou fio d'água. O primeiro, geralmente localizado na cabeceira dos rios, em locais de altas quedas d'água, dado o seu grande porte permite o acúmulo de grande quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. Além disso, como está localizada a montante das demais hidrelétricas, regulam a vazão da água que irá fluir para elas, de forma a permitir a operação integrada do conjunto de usinas. As unidades a fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, ou seja, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico.

O Brasil possui um grande potencial instalado a ser explorada das hidrelétricas, porém a maior parte é de reservatórios a fio d'água que vem sofrendo grande oposição de ambientalistas por apresentarem menor eficiência.

As usinas hidrelétricas podem ser classificadas quanto à altura da queda d'água, vazão, capacidade ou pela potência instalada. De acordo com a ANEEL as hidrelétricas que possuem até 1MW instalado de potência é classificada como centrais geradoras hidrelétricas, entre 1,1MW e 30 MW de potência são classificadas como Pequenas Centrais Hidrelétricas e a cima de 30MW são chamadas de Usina Hidrelétrica de Energia (UHE). Enquanto as grandes centrais hidrelétricas necessitam de longas linhas de dimensão para a entrega da energia a grandes centros urbanos, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) são geralmente instaladas em locais com pequenas quedas d'água e abastecem pequenos centros consumidores situados a pequenas distâncias (ANEEL, 2008).

No Brasil, de acordo com o Banco de Informações da Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), atualmente existem em operação 531 CGHs, com potência total de 381.372 kW; 465 PCHs com potência total de 4.835.227 kW e 197 UHE com uma capacidade total instalada 89.518.401 kW. Atualmente, as usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, respondem por 61,71% da potência total instalada no país gerando 91.057.737 kW, como mostra a Figura 3.2 abaixo. (ANEEL, 2014).

O parque hidrelétrico brasileiro já chegou a representar 90% da capacidade instalada no país. Esta redução tem três razões. Primeira, a necessidade da diversificação da matriz elétrica prevista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança do abastecimento. Segunda razão, a dificuldade em ofertar novos empreendimentos hidráulicos pela ausência da oferta de estudos e inventários. Terceira razão, o aumento de entraves jurídicos que protelam o licenciamento ambiental de usinas de fonte hídrica e provoca o aumento constante da contratação em leilões de energia de usinas de fonte térmica, a maioria com queima de derivados de petróleo ou carvão.

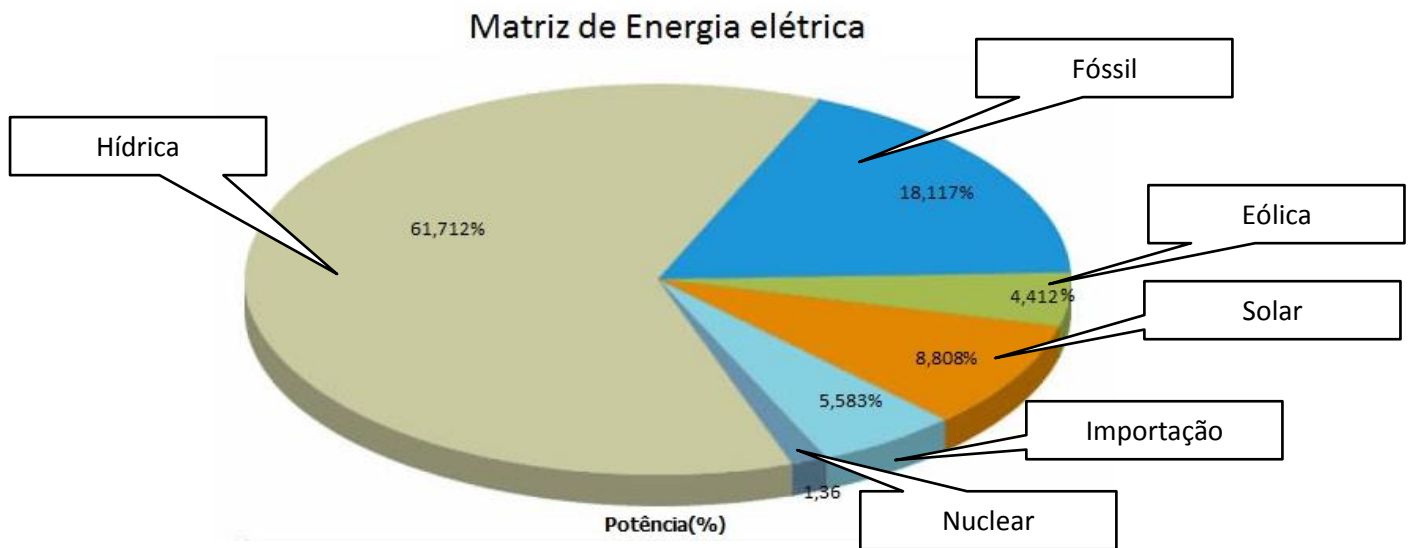


Figura 1.2. Matriz Energética Brasileira 2015 (ANEEL com adaptações, 2015).

O Brasil é o país com o maior potencial hidrelétrico do mundo (Eletrobrás, 2014), um total de 260 mil MW, segundo o Plano 2014 da Eletrobrás. Desse total, restam ainda a ser explorado em torno de 126MW, segundo o Plano Nacional de Energia 2030. Desse total, mais de 70% estão nas bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia. Essas hidrelétricas são de reservatórios a fio d'água que sofrem bastante resistência de ambientalistas, além disso, os profissionais da área argumentam que as construções, principalmente na região da Amazônia, provocam impacto na vida da população, na flora e fauna locais, por interferirem no traçado natural e no volume de água dos rios. Entretanto, para o contínuo desenvolvimento do país se faz necessário à ampliação do potencial instalado do país (ELETROBRÁS, 2014).

### 3.1.2 Biomassa

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2014).

A principal fonte em larga escala de energia elétrica está relacionada à biomassa agrícola e a utilização de tecnologias eficientes. A pré-condição para a sua produção é a existência de uma agroindústria forte e com grandes plantações, sejam elas de soja, arroz, milho ou cana-de-açúcar. A biomassa é obtida pelo processamento dos resíduos dessas culturas. Assim, do milho é possível utilizar, como matéria-prima para energéticos, sabugo, colmo, folha e palha. Da soja e arroz, os resíduos que permanecem no campo, tratados como palha. Na cana-de-açúcar, o bagaço, a palha e o vinhoto. Nesse cenário o Brasil é muito privilegiado representando um potente vetor energético para os próximos anos.

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos (ANEEL, 2014). Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis.

O Brasil é um dos países com a maior produção de Biomassa do mundo, atrás apenas do líder mundial EUA que segundo o World Energy Council (WEC) em 2005 produziu 56,3 TWh (terawatts-hora), respondendo por 30,7% do total mundial, na sequência estão Alemanha e Brasil, ambos com 13,4 TWh no ano e participação de 7,3% na produção total (WEC, 2005).

A utilização da biomassa como fonte de energia elétrica tem sido crescente no Brasil, principalmente em sistemas de cogeração (pela qual é possível obter energia térmica e elétrica) dos setores industriais e de serviços. Em 2014, ela foi responsável pela oferta de 7,3% de toda energia gerada no país segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2015. Este volume representa um grande salto em relação a 2008 onde a produção de energia elétrica oriundo da biomassa representava 3,7% da oferta total de energia elétrica. (EPE, 2015)

A cana-de-açúcar é um recurso com grande potencial, dentre as fontes de biomassa, para geração de eletricidade existente no país, por meio da utilização do bagaço e da palha. De acordo com estimativas da Unica (União da Indústria de Cana-de-açúcar de São Paulo), em 2020 a eletricidade produzida pelo setor poderá representar 15% da matriz brasileira, com a produção de 14.400 MW médios (ou produção média

de MWh ao longo de um ano), considerando-se tanto o potencial energético da palha e do bagaço quanto à estimativa de produção da cana. A participação é importante não só para a diversificação da matriz elétrica, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período auxilia, portanto, a preservação dos níveis dos reservatórios das UHEs (UNICA, 2014).

Além de todos os benefícios citados, a biomassa pode ser considerada como uma forma indireta de energia solar. Essa energia é responsável pela fotossíntese, base dos processos biológicos que preservam a vida das plantas e produtora da energia química que se converterá em outras formas de energia ou em produtos energéticos como carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e óleos vegetais combustíveis, entre outros. A fotossíntese permite, também, a liberação de oxigênio e a captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>, principal agente do efeito estufa). Portanto, contribui para a contenção do aquecimento global.

### **3.1.3 Energia eólica**

A energia eólica é gerada da conversão da energia cinética (do movimento) de massas de ar que se movem devido às diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta. Não existem informações precisas sobre o período em que ela começou a ser aplicada, visto que desde a antiguidade da origem à energia mecânica utilizada na movimentação dos barcos e em atividades econômicas básicas como bombeamento de água e moagem de grãos.

O potencial energético advindo da força dos ventos no planeta possuem estimativas da ordem de 500 mil TWh (terawatts-hora) por ano, embora, por restrições socioambientais, apenas 10% sejam tecnicamente aproveitáveis. Ainda assim, 50 mil TWh por ano correspondem a mais de 250% da produção mundial total de energia elétrica em 2007, que foi de 18,9 mil TWh (ANEEL, 2008).

O Brasil é favorecido em termos de ventos, que se caracterizam por uma presença duas vezes superior à média mundial e pela volatilidade de 5% (oscilação da velocidade), o que dá maior previsibilidade ao volume a ser produzido. Além disso, como a velocidade costuma ser maior em períodos de estiagem, é possível operar as

usinas eólicas em sistema complementar com as usinas hidrelétricas, de forma a preservar a água dos reservatórios em períodos de poucas chuvas. Sua operação permitiria, portanto, a “estocagem” da energia elétrica (ANEEL, 2008).

A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 12.210 GWh em 2014, equivalente a um aumento de 85,6% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 6.578 GWh. Em 2014, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 122,0%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu 2.686 MW, alcançando 4.888 MW ao final de 2014 (ANEEL, 2014).

### **3.1.4 Energia Fotovoltaica**

A energia solar fotovoltaica é a tecnologia que gera energia elétrica em corrente contínua a partir de semicondutores quando estes são iluminados por fótons presentes na radiação solar. Enquanto a luz incide na célula solar (nome de cada elemento individual do sistema fotovoltaico), há conversão de energia.

Durante a noite e em condições nubladas, esse processo diminui e chega até mesmo a cessar. Células solares típicas têm cerca de 100 cm<sup>2</sup> de área e produzem três ampères de corrente a 0,5V. Elas são combinadas em série e em paralelo, formando módulos, para aumentar a corrente e a tensão, com valores de potência típicos entre 50-200 W. Tais módulos, combinados com uma série de outros componentes do sistema (inversores, baterias, componentes elétricos) formam um sistema fotovoltaico. As células solares não armazenam energia, mas o uso de baterias é aplicável para essa finalidade (CEMIG, 2012).

Esta tecnologia de produção de energia elétrica recebe grande quantidade de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D), cujo principal objetivo é a redução de custos, que ainda são muito altos quando comparados a fontes convencionais. Apresenta alta aceitação do público, sobretudo devido aos aspectos ambientais, e é considerada uma das mais apropriadas formas de levar eletricidade a populações dispersas em comunidades remotas.

O nosso país apresenta condições bastante favoráveis ao aproveitamento da maior parte das fontes de energia renovável existentes, destacando-se a energia solar pelo fato do Brasil se encontrar próximo à linha do Equador, de modo que a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia pouco durante o ano. As maiores variações ocorrem no Rio Grande do Sul. A média anual de energia incidente na maior parte do Brasil varia entre 4 kWh/m<sup>2</sup> dia e 5 kWh/m<sup>2</sup> dia (CEMIG, 2012).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar lançado pelo INPE em 2006 apresentou estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites. Como resultado, o Atlas identificou a região de valor máximo de irradiação solar global, localizada ao norte da Bahia, próximo à fronteira com o Piauí (6,5 kWh/m<sup>2</sup>) e a região de valor mínimo, no litoral norte de Santa Catarina (4,25 kWh/m<sup>2</sup>). É importante ressaltar que todas as regiões do território brasileiro apresentaram potenciais superiores aos da maioria da União Europeia (Figura 3.3), onde os incentivos em energia solar são amplamente disseminados (INPE, 2006).

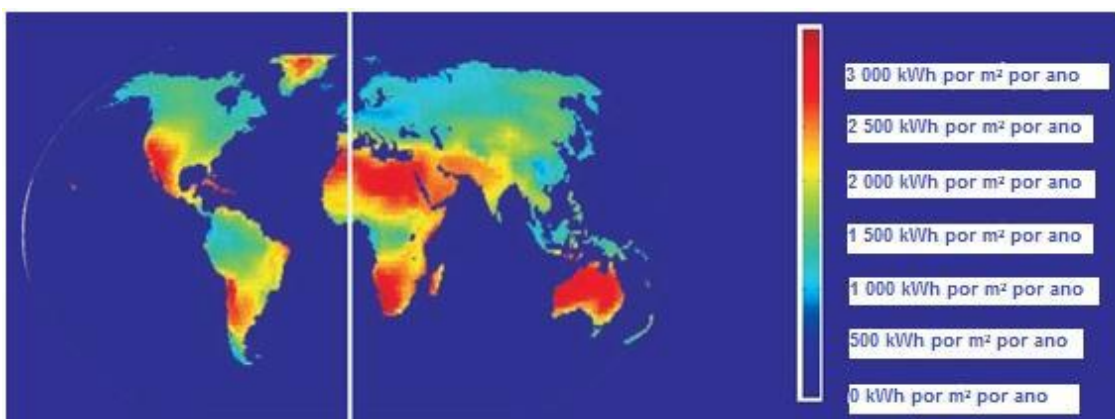


Figura 3.3. Irradiação solar no planeta Terra (INPE, 2006).

Contudo, o país ainda engatinha na geração de energia fotovoltaica. Segundo pesquisa realizada pela ABRADDEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, entre 67,3 milhões de consumidores residenciais, existem apenas 167 consumidores que injetam energia na rede elétrica, 17 aguardando a ligação, 44 em fase de projeto e 36 que devem informações complementares à distribuidora para finalizar o processo (ABRADDEE, 2014).

Como se pode observar na figura 3.4, existia no país até 2014 apenas 167 micro geradores conectados a rede, sendo que destes: 145 são solares, 17 eólicos, 3 biomassa e 2 híbridos (solar e eólico). Apesar de ainda ser um número pequeno, a ANEEL destaca que a tendência é a expansão.

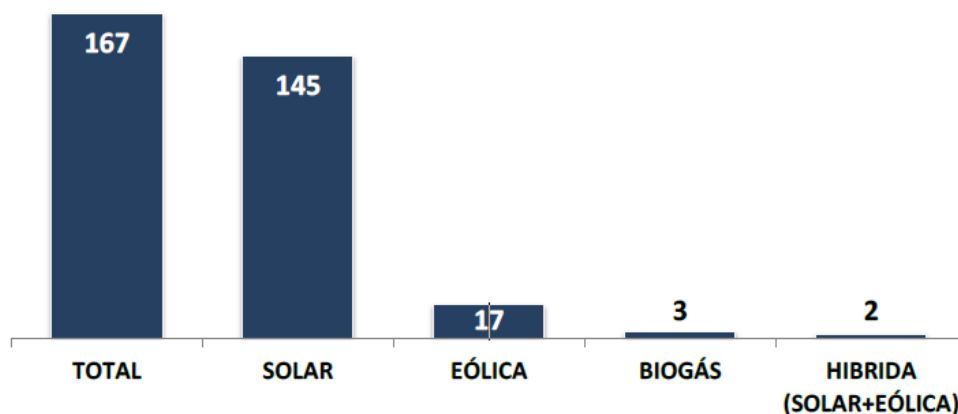


Figura 3.4. Numero de conexões de Geração distribuída por tipo de fonte no Brasil em 2014 (ANEEL, 2014).

O principal entrave a expansão do sistema fotovoltaico no Brasil ainda é o alto custo de instalação do sistema. O custo de implantação da geração fotovoltaica pode chegar a 5,0 vezes o custo de uma pequena central hidrelétrica (PCH), se for realizada uma análise do custo da energia gerada durante a vida útil do sistema, de aproximadamente 30 anos, a energia fotovoltaica mostra-se dez vezes maior para sistemas isolado e três vezes maior para geração interligada à rede elétrica (ANEEL, 2014).

Ao serem agregados os impostos, custos ambientais e sociais, a energia fotovoltaica passará a ser economicamente competitiva em um futuro breve. Entretanto, para que essa tecnologia seja amplamente adotada em todo o mundo, devem-se reduzir os custos substancialmente, para que os subsídios não sejam mais necessários no futuro (CEMIG). Contudo, de acordo com EPE, os preços dos componentes da microgeração solar tendem a diminuir graças à evolução tecnológica e dos ganhos de escala, o que permitirá os consumidores decidirem entre a instalação do sistema fotovoltaico no telhado da sua residência para uma geração descentralizada ou comprar energia da concessionária local.



Além do Brasil se destacar pelos altos níveis de radiação solar por todo país, outro ponto que favorece a inserção da microgeração solar residencial está na análise dos recursos naturais. O Brasil é o quarto maior produtor de Silício no nível denominado grau metalúrgico, primeira etapa da produção do Silício grau solar ou grau eletrônico, produto de alto valor agregado para a indústria fotovoltaica (ABINEE, 2012).

### **3.1.5 Biogás**

O biogás é composto por uma mistura de gases, cujo tipo e percentagem variam de acordo com as características dos resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão. Os principais constituintes do biogás são o metano e o dióxido de carbono, no qual biogás é composto em média de 65% de metano, sendo o restante basicamente de dióxido de carbono. Outros gases, como sulfeto de hidrogênio, o nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono também compõe o biogás em menores concentrações (CEMIG, 2012).

No Brasil pode-se citar o exemplo do aproveitamento de resíduos da cana de açúcar e de resíduos rurais que é uma importante matéria-prima para a produção do biogás. A possibilidade de geração de energia para o sistema elétrico e principalmente para o consumo local. Os resíduos rurais incluem todos os tipos gerados pelas atividades produtivas nas zonas rurais, qual seja: os resíduos agrícolas, florestais e pecuários. Os resíduos da pecuária são constituídos por dejetos e outros produtos resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético.

A digestão anaeróbica e consequente produção do biogás já possui tecnologia dominada internacionalmente a custos competitivos. Por este motivo, por conta da flexibilidade do uso e de armazenamento do biogás, por iniciativas de promoção de produção e uso do biogás, e do cenário traçado para a geração distribuída, a penetração do biogás no mercado de energia é extremamente promissora.

As estimativas segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas sugerem que a partir de 2030, com a difusão e consolidação dos projetos pioneiros e estabelecimento da cadeia de serviços, o mercado do biogás encontrará condições para o seu

desenvolvimento, juntamente com as condições de cenário estabelecidas anteriormente. Esta eletricidade será contratada majoritariamente do esquema de compensação de energia, por conta da escala da unidade geradora de até 1 MW. Os setores públicos, por conta dos resíduos urbanos, e rurais, serão os principais consumidores (EPE, 2015).

### **3.1.6 Autoprodução de grande Porte**

A geração distribuída de grande porte é definida nessa monografia como autoprodução de energia elétrica, ou seja, produção independente do sistema principal, localizada junto à unidade consumidora que não utiliza a energia advinda do sistema interligado nacional (SIN). A autoprodução constitui-se em importante elemento na análise do atendimento à demanda de eletricidade, uma vez que ela representa atualmente em torno de 10% de toda a energia elétrica consumida no país e tem grande potencial de expansão nos próximos anos (EPE, 2015).

A principal forma de autoprodução é a cogeração, uma forma de uso racional da energia, uma vez que o rendimento do processo de produção de energia é significativamente aumentado a partir da produção combinada de energia térmica e elétrica, com melhor aproveitamento do conteúdo energético do combustível.

As indústrias fazem parte do principal segmento que adota esse tipo de geração que utilizam grandes quantidades de vapor e eletricidade no próprio processo industrial e que, simultaneamente, gera resíduos de processo que podem ser utilizados tanto como combustível para a geração de eletricidade, quanto como fonte energética com fins térmicos. Especialmente a indústria de siderurgia, química e petroquímica, refino de petróleo, setor sucroalcooleiro, alimentos e bebidas e a produção têxtil compõe o grupo que gera a própria energia que consome.

Adicionalmente, é expressivo o montante de autoprodução de eletricidade da geração termoeleétrica a gás natural nas plataformas “off shore”. Tal parcela ainda deverá ganhar maior importância nos próximos anos com a exploração do pré-sal.

### **3.1.7 Descentralização na produção de combustíveis**

A principal forma de se gerar energia descentralizada de combustíveis no Brasil é a partir da produção de biocombustíveis. As principais experiências brasileiras na produção incluem micro destilarias de etanol, pequenos produtores de biodiesel, produção de biogás e produção de combustíveis sólidos.

Nessa monografia, será escolhido o biometano e os biocombustíveis sólidos, pois o país além de possuir uma grande escala na produção de etanol, é um país que possui uma eficiente lógica de contratação centralizada do biodiesel e a flexibilidade no uso do biogás.

O principal cenário que favorece, contudo o desenvolvimento dessas fontes é a questão ambiental. A necessidade de mitigação de impactos locais e globais da disposição dos resíduos orgânicos ocasionará na criação de modelos que busquem a correta destinação destes resíduos e, como consequência, o aproveitamento dos mesmos.

#### **3.1.7.1 Biometano**

As características geofísicas e ao destaque no setor de agroindústria contribuem para que o Brasil tenha alto potencial para produção de biometano, obtido a partir da purificação do biogás com a remoção de gás carbônico, ácido sulfídrico, oxigênio, nitrogênio e outros contaminantes. No entanto, para que o insumo seja explorado de maneira mais eficiente é necessário investir em plantas de purificação e no controle de qualidade.

O biogás é armazenado e pode ser usado em geradores, para produzir energia elétrica 100% limpa, comercializada no mercado livre, ou ser transformado em biometano para uso como biocombustível em tratores, colheitadeiras, caminhões e ônibus. Os resíduos da produção desse biogás também não geram qualquer impacto ambiental, pois voltam à natureza na forma de dois subprodutos agrícolas: adubo orgânico sólido e fertilizante líquido (CEMIG, 2012).

### **3.1.7.2 Biocombustíveis Sólidos**

As tecnologias de briquetagem e de peletização são capazes de transformar a biomassa na sua forma moída em blocos compactos com diversas dimensões e prontos para a queima em fornos, caldeiras, lareiras e fogões. Essas tecnologias são conhecidas há muitas décadas e aplicadas na indústria, porém a necessidade de aproveitamento energético de resíduos tem dado especial destaque à aplicação na produção de biocombustíveis sólidos. O produto da briquetagem é o briquete e da peletização é o pélete (ou pellet) (ABIPEL, 2014).

Os pellets e briquetes serão os biocombustíveis sólidos analisados por possuírem grande potencial de crescimento, Segundo a ABIPEL (Associação Brasileira das Indústrias de Pellets) a produção anual de pellets em 2012 foi de aproximadamente 60 mil toneladas, com uma capacidade instalada de aproximadamente 290 mil toneladas

Os objetivos dessas tecnologias de compactação de biomassa são o aumento da concentração energética, a uniformidade de tamanho e formato dos produtos, a facilidade de armazenamento, a segurança contra incêndios e a agregação de valor à biomassa residual.

A grande vantagem na produção de briquetes e de péletes é poder aproveitar resíduos que antes seriam descartados. Geralmente, a matéria-prima usada na produção de briquetes e péletes é um resíduo ou coproduto sem aplicação originado por outro processo produtivo. Um fabricante de briquetes e péletes para autoconsumo pode ter grande vantagem econômica, devido à substituição de combustíveis (lenha, óleo combustível) ou energia elétrica.

# 4 O USO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Após apresentado os motivos da crise energética vivida no Brasil e a necessidade na diversificação de sua matriz energética, serão discutida alguns vetores energéticos que de acordo com os dados atuais se apresentam como possíveis soluções ao problema. Nesse sentido é interessante analisarmos o atual consumo de energia no Brasil para discutirmos a modernização do sistema energético brasileiro.

## 4.1 Análise da atual matriz energética brasileira

Em 2014, o crescimento do consumo final de eletricidade foi superior ao crescimento da oferta interna de energia elétrica, isso gerou consequências que apontam a tendência para os próximos anos no Brasil:

1. Redução das perdas (%): a redução nesse caso se explica pelo fato da energia estar mais cara para o consumidor, portanto está acontecendo uma autoconscientização sobre o uso eficiente da energia. É importante observar que não se inclui nessa redução os furtos de energia que tendem infelizmente aumentar seguindo o aumento da inadimplência no setor.
2. Aumento da auto produção de energia: Com o atual ambiente de insegurança no setor energético, as indústrias têm cada vez mais investidas na autossuficiência energética. Além disso, a autoprodução tem aumentado no setor residencial explicado pelo aumento das tarifas.
3. Geração térmica próxima ao centro de carga: outro fator interessante observado é a aproximação das termelétricas aos centros consumidores de energia, esse fato se explica pela necessidade de reduzir gastos com transmissão de energia e as perdas técnicas inerentes ao processo.

Outro fator interessante, como pode ser observado na figura 4.1 foi o crescimento do consumo total de eletricidade superior ao crescimento do consumo total

de energia, esse fato é facilmente compreendido quando observamos que no mesmo período o acesso a Energia Elétrica também aumentou, além disso, o aumento da renda per capita da população impulsionou o acesso à energia elétrica. É importante observar também que o clima influenciou esse cenário, pois nos últimos anos registraram-se temperaturas extremas em todo território brasileiro, o que impulsionou o mercado de ar condicionado e aquecedores.

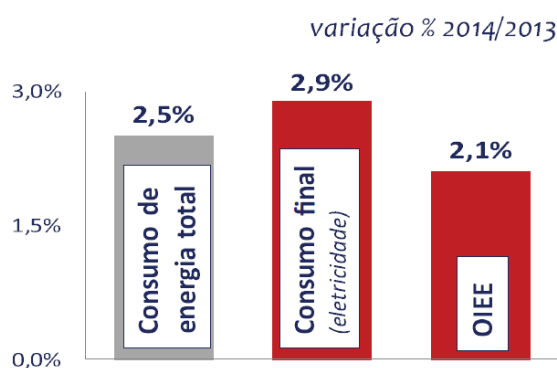


Figura 4.1. Variação no consumo de energia elétrica e a oferta interna de energia (EPE, 2015).

É importante também analisar a composição geral da matriz energética brasileira em 2013 e 2014. Observa-se na figura 4.2 que com a crise hídrica brasileira, houve uma redução da participação da energia advinda das hidrelétricas ao passo que o gás natural, carvão e derivados utilizados nas termelétricas sofreram um aumento para compensar o déficit energético nas hidrelétricas. Na contramão da redução da oferta de energia hidráulica, observa-se que em 2014 houve um aumento da geração total, o que corrobora com os fatores já descritos. (EPE, 2014)

## Matriz Elétrica Brasileira

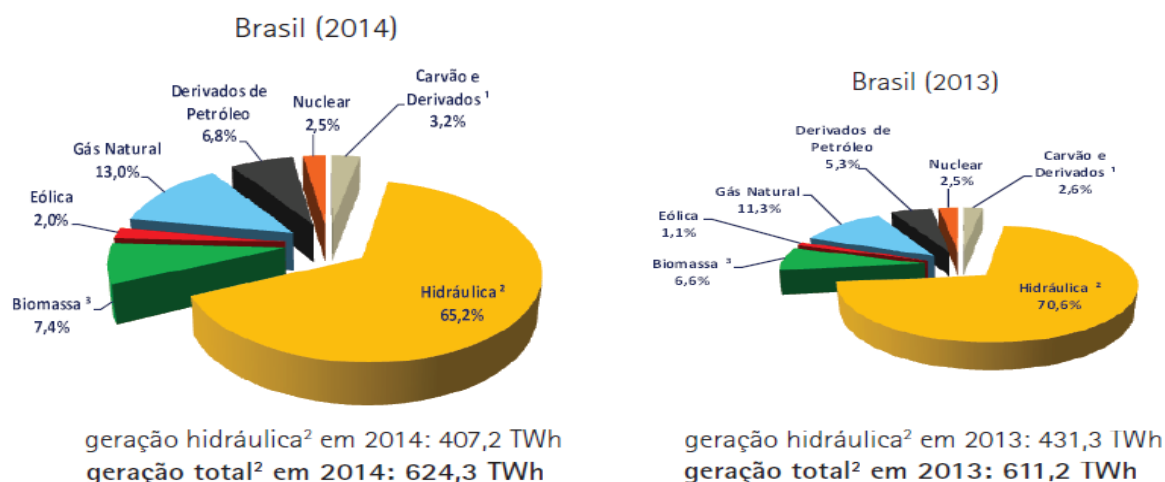


Figura 4.2. Matriz energética brasileira em 2013 e 2014 (EPE, 2015).

Outro ponto importante a ser analisado é o aumento da participação da energia eólica e da biomassa na matriz energética, que contribuíram para amenizar a queda da participação das energias renováveis devida redução da energia hidráulica (Figura 4.3). Contudo, observa-se ainda que o Brasil se encontra em um cenário bastante privilegiado comparado com a média mundial.

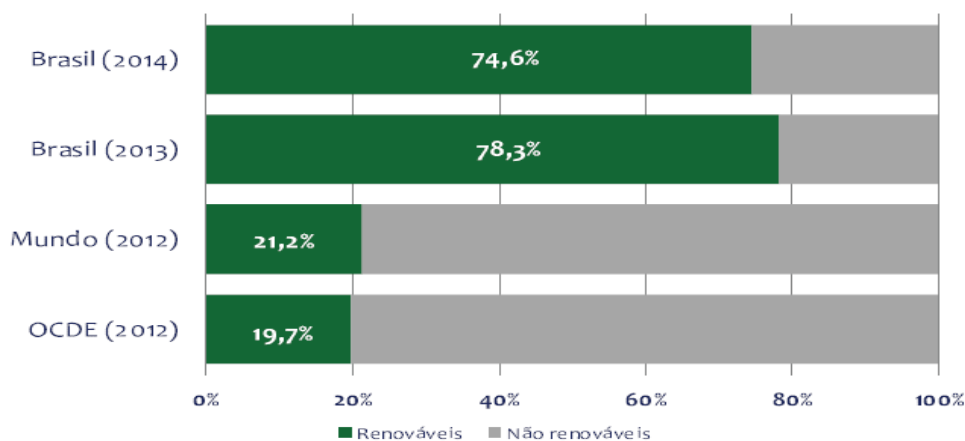


Figura 4.3. Participação da energia renovável na matriz elétrica brasileira (EPE, 2015).

Por fim, é importante analisar a participação crescente da geração termelétrica de energia na matriz energética do Brasil no último ano. Como já descrito, diante da redução da disponibilidade de água nos reservatórios das hidrelétricas causada pela

seca. A necessidade de utilizar as termelétricas para suprir o déficit energético e, por conseguinte suprir a demanda crescente de energia dos consumidores brasileiros. A alternativa encontrada possui custo variável unitário (CVU) mais elevado o que acarretou no aumento da conta de energia para o consumidor, além de aumentar a participação brasileira na emissão de gases do efeito estufa.

O sistema aqui proposto de descentralização da oferta de energia procura alternativa mais sustentável e barata que as termelétricas para suprir a crescente demanda energética, além de diminuir a dependência das condições climáticas para a geração de energia. De 2013 para 2014 houve um aumento de 18% na geração de energia a partir das termelétricas, um dado bastante preocupante para o Brasil que deixa um alerta para os próximos anos (EPE, 2015).

A matriz energética carece de novos investimentos e modernização para gerar energia sustentável, eficiente e com menos dependência de fatores climáticos. O planejamento energético porém deve continuar se baseando em expansão dos parques hídricos nos próximos anos segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), isso porque esse método de gerar energia ainda é o mais barato em longo prazo e muito vantajoso diante o potencial energético do Brasil. Contudo, já se buscam alternativas ao aumento das hidrelétricas, o principal fator é as consequências socioambientais que a construção das hidrelétricas causa o que tem gerado bastante resistência dos institutos socioambientais.

Ainda que o planejamento energético preveja a construção de pelo menos mais 22 hidrelétricas até 2024 segundo a ANEEL, a participação da energia hídrica na matriz energética deve diminuir em mais de 10% dando espaço ao crescimento das energias renováveis de forma distribuída. O Brasil como já apresentado possui um potencial de penetração muito grande a autoprodução a larga escala, além de apresentar bons números no crescente mercado de energia fotovoltaica e também de biogás. Segundo a Aneel em 2014 a maior parte da energia distribuída produzida foi gerada por painéis fotovoltaicos seguidos pela a energia eólica, como se pode observar na Figura 4.4. (ANEEL 2014)



Portanto, é importante observar que há uma participação majoritária da energia fotovoltaica na matriz energética de forma distribuída assim como acontece com a energia hidráulica na matriz energética do Brasil. Portanto, deve-se preocupar em diversificar a expansão das outras fontes, como a eólica e o biogás, para que não se cometa o mesmo equívoco que ocorreu no desenvolvimento dos principais vetores produtores de energia elétrica, procurando sempre diversificar e modernizar o sistema elétrico a fim de ter uma matriz mais confiável e renovável.

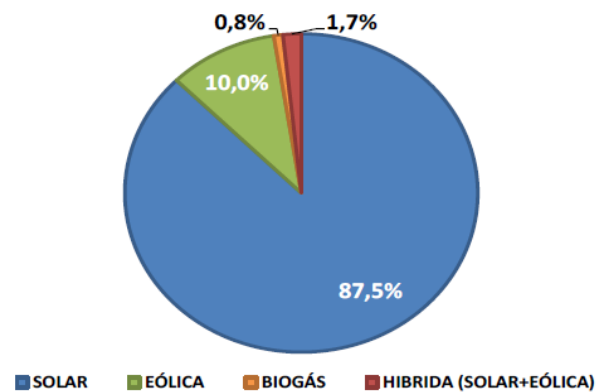


Figura 4.4. Participação percentual das fontes renováveis na matriz energética distribuída em 2014 (ANEEL, 2014).

# **5 OS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS E BARREIRAS À DESCENTRALIZAÇÃO DA OFERTA DE ENERGIA**

A constante procura por serviços e tecnologias mais eficientes, e com reduzidos impactos ambientais, seja no processo de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, associadas aos necessários investimentos para o aumento da capacidade instalada no setor elétrico brasileiro, tem colocado a descentralização da oferta de energia como alternativa às tradicionais soluções seja para instalação local ou para integração regional.

As três principais tendências que estão formando a base para uma possível introdução difundida da oferta descentralizada são a reestruturação do setor energético, a necessidade do aumento de capacidade do sistema e os avanços tecnológicos dos acionadores primários. Conforme já descrito, a oferta descentralizada refere-se à geração elétrica em pequena escala (modulares) para consumidores integrados ou isolados, localizados perto do ponto de consumo final. Isto engloba os segmentos industrial, comercial e residencial. Localizando a geração distribuída a jusante na rede de distribuição de potência podem-se obter benefícios para consumidores e/ou para o próprio sistema de distribuição (caso esteja interligado à rede).

Além disso, os equipamentos que compõe a geração distribuída de energia podem operar isolados e serem utilizadas em uma ampla faixa de aplicações, para consumidores e locais onde plantas centralizadas poderiam ser impraticáveis. Para entender como a geração distribuída se ajusta no mercado global de energia, é preciso olhar para a natureza do serviço (geração apenas de eletricidade ou geração de eletricidade e energia térmica - cogeração), a localização na rede e os benefícios aos usuários.

## **5.1 Benefícios da descentralização da oferta de energia**

A oferta descentralizada de energia pode trazer vários benefícios à sociedade e todas as camadas envolvidas se bem implementada e otimizada. Os benefícios vão desde a qualidade da energia entregue até o atendimento ao consumidor final. O sistema pode beneficiar não só os consumidores, mas também a concessionária e principalmente o sistema interligado que carece de fontes alternativas.

Pode-se então dividir os benefícios em quatro categorias principais, são eles: os que tangem o consumidor, a concessionaria, a sociedade em geral e claro o Sistema Interligado Nacional (SIN), objetivo do nosso trabalho.

### **5.1.1 Benefícios ao Consumidor:**

- Se bem instalado e mantido, o principal benefício ao usuário é a confiabilidade da energia gerada que podem chegar a taxas próximas de 100%;
- A qualidade de energia ofertada pelos sistemas geração distribuída é mais elevada que aquela entregue pelo sistema elétrico, ou seja, o consumidor terá uma energia com melhores níveis de tensão, frequência e minimização de harmônicas;
  - A geração distribuída é uma alternativa ao horário de pico extremamente oneroso em nosso país, ou seja, esse sistema trará em longo prazo compensações financeiras;
  - Se utilizada no arranjo de cogeração, o sistema também poderá trazer benefício de calor e frio distribuído;
  - Fornecimento de energia para áreas remotas, onde regiões que não são atendidas pelo sistema interligado por razões socioeconômicas poderão desfrutar dos benefícios da energia elétrica.

### **5.1.2 Benefícios a Concessionária:**

- Redução de perdas ativas e reativas em sua rede, proporcionando aos seus clientes maior estabilidade a tensão elétrica. Além disso, redução dos custos com subestações de transformação;
- Aumento da confiabilidade do sistema, já que depende menos das linhas de transmissão;
- Redução de investimentos para atendimento da demanda na ponta;
- Planejamento mais fácil já que o sistema é menos dependente de fatores climáticos;
- Menos burocracia devido a problemas políticos e também ambientais relacionada à faixa de servidão.

### **5.1.3 Benefícios ao Sistema Interligado (SIN)**

- Redução da sobrecarga na rede e conseqüentemente maior flexibilidade operativa;
- Melhora no perfil de tensão dos ramais;
- Redução das perdas técnicas da rede;
- Maior eficiência energética com a conexão das fontes distribuídas ao sistema centralizado;
- Maior estabilidade ao sistema com inserção de máquinas síncrona de porte apreciável ao sistema;
- Maior opção na prestação de serviços: monitoramento de frequência, reserva de potência e auto restabelecimento.

#### **5.1.4 Benefícios à sociedade**

- Diversificação da matriz energética brasileira, reduzindo a dependência de uma única fonte e de fatores hídricos;
- Redução da importação de recursos, priorizando os recursos locais;
- Aumento da competição na geração de energia, reduzindo o preço das tarifas;
- Desenvolvimento econômico, maior uso de recursos locais e automatização de processos, ex.: iluminação de áreas isoladas;
- Redução dos impactos ambientais, projetos de menor porte e mais próxima do centro consumidor. Consequentemente, maior qualidade de vida para a população.

### **5.2 Principais dificuldades**

Apresentada os principais benefícios da inserção da geração distribuída e consequente descentralização da oferta de energia, serão analisadas agora quais são as principais barreiras à penetração dessa tecnologia no mercado atual.

A descentralização da oferta de energia é ainda pouco difundida em todo mundo o que aliada às fontes renováveis que apresentam pouca maturidade tecnológica causa bastante resistência e obstáculos das mais diversas naturezas. Esses fatores podem causar ainda riscos econômicos o que inibe investimentos massivos na área.

A seguir são listados os benefícios da oferta distribuída, que essa nova tecnologia pode encontrar que vão desde barreiras regulatórias a barreiras de mercado. Os obstáculos quando não solucionados podem ocasionar na diminuição de investimentos, portanto é extremamente importante que analisamos cuidadosamente os principais fatores que podem retardar o desenvolvimento do sistema.

### **5.2.1 Barreiras Financeiras:**

Talvez o maior entrave que o sistema distribuído encontra ao desenvolvimento e consequente conexão ao sistema elétrico principal é o custo elevado de instalação arcada pelo consumidor. Esse fato gera um longo período de amortização do investimento inicial o que se agrava ao fato da energia injetada na rede ser variável, dependendo da sua produção mensal. Além disso, os modelos atuais de negócios são muito dinâmicos e rápidos, o que vai de encontro com o investimento em fontes renováveis que ainda engatinha devido às incertezas econômicas e políticas. As instituições de financiamento que poderiam ser uma saída para esse problema ainda não estão seguras suficientemente para investir no setor devido à instabilidade regulatória.

### **5.2.2 Barreiras Sociais e Culturais**

A descentralização da oferta de energia é ainda cercada por muitos mitos. Muitos ainda questionam o alto custo de instalação, o tempo de amortização dos custos iniciais e a taxa de evolução prevista para o sistema. Além disso, ainda é possível identificar muitas análises tendenciosas e pessimistas quanto ao verdadeiro potencial destas fontes, principalmente no que rege ao custo marginal de expansão.

### **5.2.3 Barreiras Ambientais**

Aliada a falta de regulamentação para os requisitos de conexão, a burocracia excessiva na fase de permissão e obtenção de licenças ambientais pode atrasar a construção do empreendimento, além de aumentar seus custos.

Os modelos econômicos utilizados pelos investidores ainda não contemplam todos os benefícios citados nesse trabalho, custos esses como os de transmissão e distribuição pela concessionária, além dos benefícios ambientais e sociais já citados que infelizmente não remuneraram o investido.

## **5.2.4 Barreiras Técnicas e Tecnológicas**

Como já citado, o desenvolvimento tecnológico ainda é um empecilho que poderia diminuir os custos dos equipamentos e por consequência aumentar a aderência à geração distribuída.

## **5.2.5 Barreiras a Operação do Sistema**

O planejamento da operação apresenta ainda dificuldades operativas devido a fluxos de energia bidirecionais, maiores dificuldades operativas que surgem com os novos arranjos (recomposição com re-sincronização, restrições de religamento durante manutenções, capacidade para black start).

Além disso, as fontes de energia possuem pouca previsibilidade atualmente o que onera significativamente o investimento. Deve-se mencionar também que a variabilidade dos insumos encarece o projeto, pois também reduz o fator de capacidade, ou seja, produz-se menos energia para uma mesma capacidade instalada.

## **5.2.6 Barreiras no Mercado**

A falta de associações diminui a força dos investidores junto ao governo no momento em que estes precisam reivindicar modificações na legislação, visando diminuição de barreiras regulatórias, como as citadas anteriormente. Tal barreira começa a mostrar sinais de que será combatida com o recente anúncio da criação da COGEN-RJ (Porta GD, 2005).

# 6 FORMAS DE PROMOVER O CRESCIMENTO DA OFERTA DESCENTRALIZADA DE ENERGIA

A partir desse capítulo serão abordadas as possíveis ações do governo e do setor privado para mitigar o processo de modernização da rede elétrica, além de sugerir algumas formas de promover o investimento na área. Por fim, será analisado o mercado brasileiro, a legislação que regulamentaria a geração distribuída, assim como as tarifas e incentivos governamentais.

## 6.1 Os instrumentos de promoção

As políticas de incentivo a oferta distribuída tem sido adotado em cada país de uma maneira peculiar. Essas políticas usam de instrumentos do próprio mercado ou até mesmo de instrumentos públicos para promover a instalação de equipamentos capazes de gerar energia remotamente.

### 6.1.1 Instrumentos de Mercado

Será apresentado a seguir as principais políticas de mercado que tem sido adotado no mundo e qual delas o Brasil têm aderido. Em seguida serão apresentadas as políticas governamentais brasileiras de incentivo a geração distribuída assim como outras políticas adotadas no mundo.

- 1) **Renewable Portfolio Standard (RPS):** também chamada de Renewable Electricity Standard (RES) é uma regulação que procura aumentar a produção de energias renováveis como a solar, eólica e biomassa. Esse mecanismo geralmente obriga companhias do setor elétrico a gerar uma específica fração de energia renovável de toda a energia gerada. Toda fração de energia gerada de forma sustentável é certificada por uma órgão regulador sendo que o excedente ao determinado pode ser vendido a outras companhias que não atingiram a



meta em forma de um certificado verde. Essa modalidade tende a permitir maior concorrência de preços entre os diferentes tipos de energia renovável. Os defensores dessa política alegam que o próprio mercado pode se autorregular resultando em maior concorrência entre as fontes de energia, promovendo a eficiência e a inovação com o menor custo possível, competindo assim com as fontes fósseis de combustível.

2) **Feed-in Tariff ou Feed-in Premium:** é um mecanismo criado para acelerar os investimentos em novas tecnologias de energia renovável e geração distribuída. O mecanismo consiste em oferecer aos produtores de energia renovável um contrato de longa duração para a venda da energia gerada baseada em um valor fixado no início do contrato, cada fonte de energia nesse caso possui um valor fixado diferente. Esse mecanismo ainda prevê uma redução no preço inicial do contrato em longo prazo com o objetivo de incentivar novas tecnologias. Nessa modalidade a grande vantagem é garantir um contrato em longo prazo que permita o produtor adquirir financiamentos mais seguros e com taxa de juros menores.

3) **Green Certificate:** conhecido também como Renewable Energy Certificates (RECs) é um mecanismo de promoção do uso de energia renovável a partir de certificados que geralmente representam 1 MWh gerado. O certificado pode ser comercializado no mercado de energia de forma menos burocrática ao mercado financeiro.

4) **Net energy metering (NEM):** é uma política destinada a promover o investimento privado em energia renovável. O único mecanismo de mercado adotado no Brasil até o presente momento consiste na medição de energia gerado pelo consumidor e injetada na rede elétrica. O excedente de energia pode então ser creditado em kWh na conta de luz do mês posterior. Essa política varia bastante de país para país, ou até mesmo de estado para estado. As principais variáveis é quanto ao tempo de duração do crédito, o valor dos créditos e o preço de conexão do sistema distribuído ao sistema.

## 6.1.2 Instrumentos públicos

Além dos instrumentos de mercado citados, serão apresentadas a seguir os instrumentos públicos de promoção e incentivo a descentralizada da oferta de energia.

**1) Empréstimos e financiamento público:** o governo pode a partir de políticas públicas facilitar o financiamento de projetos que promovem a produção de energia sustentável, este modelo adota taxas de juros menores o que atrai investidores a financiar grandes projetos em geração distribuída (IEDI/FGV, 2010).

**2) Incentivos fiscais:** a partir da redução de impostos sobre projetos que envolvem energia sustentável, o governo estimula a adesão ao do sistema além de tornar os projetos mais viáveis (IEDI/FGV, 2010).

**3) Leilões públicos de energia renovável:** instituído com o objetivo de atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis – eólica biomassa e energia proveniente de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) – na matriz energética brasileira (IEDI/FGV, 2010).

**4) Pagamento por produção de energia renovável:** esse modelo se aproxima muito dos dois primeiros conceitos, contudo o mecanismo aqui apresentado prevê a redução de impostos ou créditos fiscais proporcionalmente a quantidade de energia sustentável gerada (IEDI/FGV, 2010).

**5) Subsídios de custo de capital:** Esse modelo de incentivo é diretamente ligado ao custo do projeto, nesse caso o governo pode subsidiar parte ou todo o custo do projeto em energia renovável, fazendo parcerias público-privada (IEDI/FGV, 2010).

**6) Subsídios e outros incentivos para P&D e capital:** o mesmo conceito do item anterior, contudo o financiamento é para pesquisas e especialização da mão de obra que envolve projetos na área

de sustentabilidade que podem em longo prazo tornar o preço da geração distribuída mais barato (IEDI/FGV, 2010).

Após apresentadas as principais formas de promover a descentralização da oferta de energia no mundo, o próximo tópico abordará como o Brasil está situado nesse cenário.

## **6.2 Contexto Brasileiro na Geração Distribuída**

Este tópico abordará o histórico da produção distribuída de energia na matriz energética desde 1960, como essa modalidade vem ganhando espaço no mercado brasileiro a partir dos decretos e incentivos governamentais.

A geração de energia independente teve um crescimento significativo apenas após a década de 70, sendo que nos anos anteriores a produção não possuía nenhuma legislação reguladora e tida como ilegal. A partir de então, com o crescimento da geração distribuída não interligada a rede houve a necessidade de criar decretos e resoluções para regularizar a modalidade e modernizar a legislação. Destaca-se a seguir as principais leis criadas que nortearam o crescimento da produção de energia independente no Brasil.

A primeira lei importante foi a Lei nº 9.074 de 10 de setembro de 1996, que regularizou a produção de energia elétrica para o produtor independente e para o autoprodutor. O decreto define ainda que o produtor independente se caracteriza pela produção de energia para o mercado, sob autorização ou concessão do estado. Já o autoprodutor é definido como gerador de energia para utilização própria (BRASIL, 1996).

No artigo 13 do Decreto nº 2.003, de 1996 é definido que para garantir a utilização e a comercialização da energia produzida, o produtor independente e o autoprodutor terão assegurado o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido, sendo que o órgão regulador e fiscalizador do poder concedente definirão, em ato específico, os critérios para determinação do custo de transporte, que deverá explicitar as parcelas relativas à

transmissão e à distribuição, asseguradas o tratamento isonômico para os produtores independentes e autoprodutores perante os concessionários e permissionários do serviço público de energia elétrica (BRASIL, 1996).

Em 1999 a ANEEL publicou a Resolução nº 112 (ANEEL, 2005) todos os requisitos necessários para instalação ou repotenciação de termelétricas, energia eólicas e outras fontes de energia renováveis.

Em 2004, a Lei nº 10.848 criou um novo marco no mercado de energia distribuída no Brasil. Pela primeira vez foi definido o conceito de geração distribuída a partir do Decreto nº 5.163, e oficialmente introduzido à geração distribuída no país. Contudo, apenas oferta de energia gerada da potência da água e as térmicas descentralizadas tiveram suas atividades oficialmente definidas, sendo reconhecida como geração hidráulica distribuída aquela igual ou inferior a potência de 30 MW e a geração térmica distribuída aquela que incluía cogeração qualificada com eficiência energética superior a 75% e para geração a partir da biomassa com qualquer eficiência. (BRASIL, 2004).

Apesar do decreto N. 5.163 de 30 de Julho de 2004 não definir os conceito de geração distribuída a partir de fontes alternativas, o decreto regulamentou a comercialização elétrica gerada por essas fontes e também regulamentou a geração a partir de fontes renováveis. Estabeleceu-se então que as distribuidoras poderiam contratar energia de empreendimentos de geração distribuída proveniente de fontes alternativas apenas se comprovar que o processo ocorreu a partir de chamada pública e não poderia exceder a 10% da carga da distribuidora de energia (BRASIL, 2004). Este decreto, portanto não incentivou a expansão da geração distribuída renovável uma vez que 10% imposto limitavam a contratava o de projetos renováveis por empresas do setor elétrico. (BRASIL, 2004)

Com intuito então de regularizar o conceito de geração distribuída conectada a rede elétrica, a ANEEL em 17 de abril de 2012 estabeleceu algumas regram para diminuir os entraves para a instalação do sistema de geração independente no Sistema Interligado Nacional (SIN) a partir da Normativa 482. A microgeração, classificada até com 100kW de potência e a inigeração, com potência entre 100 kW e 1 MW foram reconhecidas nessa normativa como importantes fontes na modernização da rede

elétrica brasileira, permitindo a conexão do sistema à rede da distribuidora a partir do sistema citado anteriormente conhecido como net-meeting. (ANEEL, 2012)

Após desse importante passo para incentivo e promoção da geração renovável de energia na forma distribuída, a ANEEL lançou outra resolução normativa a fim de complementar e corrigir alguns erros apresentados na norma anterior. Com esse intuito a Resolução Normativa ANEEL N. 517 de 11 de Dezembro de 2012 alterou a Resolução Normativa N. 482 de 17 de Abril de 2012 e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Esta nova resolução definiu como sistema de compensação de energia elétrica, o sistema no qual a energia ativa injetada na rede, por unidade consumidora com micro ou mini geração distribuída, é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa da mesma unidade consumidora ou de outra da mesma titularidade, onde os créditos são gerados desde que possua o mesmo CPF ou CNPJ. Esta norma também dispensa a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora para micro e mini geração distribuída, que participe do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, sendo suficiente acordo operativo para mini geradores ou relacionamento operacional para micro geradores (ANEEL, 2012).

A partir então da resolução normativa 482, de 17 de abril de 2012, o Brasil deu um grande passo para o desenvolvimento e expansão da geração distribuída no país. Com isso, criou-se um ambiente favorável para adesão residencial já que do ponto de vista regulatório, esta resolução permitiu a introdução do sistema de compensação nas faturas de energia, conhecido como net metering e já descrito anteriormente.

O consumo de energia individual brasileiro passou a ser faturado a partir da diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede, por horário, caso o consumidor-gerador injete mais energia do que se consuma no mês, a distribuidora é obrigada a abater essa diferença de consumo nos meses subsequentes, a partir de crédito que devem ser utilizados em um prazo de até 36 meses.

A norma também menciona que o consumidor que instalar micro ou minigeração distribuída será responsável pelos custos de adequação do sistema de medição a fim de

adaptar o sistema de compensação, cabendo à distribuidora adequar seus sistemas comerciais, assim como elaborar ou revisar normas técnicas para esta finalidade e só após a adequação do sistema de medição a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de alguma eventual substituição ou adequação.

Apesar de ter sido um grande avanço para a promoção da geração distribuída no Brasil, aproveitando adequadamente os recursos naturais, a normativa da ANEEL ainda apresenta alguns pontos polêmicos que precisam ser solucionados. O primeiro ponto a ser destacado é quanto a possível instabilidade que a intermitência da geração solar pode causar ao sistema, tornando a rede menos confiável e afetando a adesão por parte dos consumidores.

# **7 VISLUMBRANDO UM CENÁRIO FUTURO ALTERNATIVO PARA A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Nesse capítulo final será analisado um possível cenário da matriz energética brasileira para os próximos anos com base nos dados disponibilizados pelos órgãos públicos e privados brasileiros e de dados internacionais. As projeções aqui apresentadas tem como base o ano de 2050 que foi escolhido estrategicamente por ser o ano das projeções da EPE na nota técnica publicada em agosto de 2014 com o título de Demanda de Energia 2050, sendo, portanto uma boa base de dados para nossos estudos.

Como mencionado nos capítulos anteriores, o Brasil se encontra em um cenário de agrave na geração de energia elétrica no Brasil, causado por períodos longos sem chuva o que gerou uma escassez de água nos reservatório das hidrelétricas. Essa situação exige que as termelétricas sejam acionadas, o que aumenta o nível de poluição já que muito delas utilizam energia não renovável, além de gerar energia elétrica mais cara para o consumidor final. No futuro, a tendência é a construção de outras hidrelétricas com reservatório a fio d'água que são muito menos eficientes durante o ano. Se continuarmos, portanto com essa linha de desenvolvimento a tendência é que tenhamos uma matriz completamente dependente de termoelétricas e com um grau menor de sustentabilidade. Esse modelo não se alinha a busca de desenvolvimento sustentável e mais eficiente.

Portanto o objetivo desse capítulo é projetar um cenário alternativo futuro, baseado principalmente na aceleração do uso das fontes renováveis, gerando menor pressão socioambiental. A solução proposta que vem sendo discutido durante todos os capítulos propõe uma descentralização da oferta de energia, híbrido com maior expansão das fontes térmicas sustentáveis, eólica e solar, com ênfase na cogeração, autoprodução e geração distribuída. Portanto, o cenário prospectado é uma síntese de todo o conceito estudado, em uma avaliação quantitativa e qualitativa das estatísticas disponíveis.

Além disso, o cenário traçado tem o desafio de reduzir as emissões de gases poluentes, permitir o crescimento econômico do país e atender cerca de 1 milhão de pessoas sem acesso a energia no país utilizando para isso energias sustentáveis como eólica, biomassa, solar fotovoltaica e térmica. Segundo o Greenpeace, essas fontes são capazes de fornecer cerca de seis vezes mais energia do que a quantidade consumida mundialmente hoje e de forma inesgotável (Greenpeace, 2011).

Os princípios básicos adotados para traçar o cenário são:

- Reduzir fontes que geram poluentes e não são renováveis;
- Implementar sistemas descentralizados movidos a energias renováveis;
- Respeitar a natureza e os órgãos ambientais;
- Desmitificar a ideia de crescimento econômica e maior consumo de combustível fóssil.

Será adotado o seguinte possível cenário para o ano 2050 para nossa matriz energética:

A partir dos dados da Empresa de Pesquisa Energética, publicados no Plano Nacional de Energia 2050 e Balanço Energético 2015, e dos dados do Greenpeace publicados na cartilha Revolução Energética, é prospectado um cenário futuro idealizado a partir da sistematização de dados no presente existente.

Além disso, será considera a expansão do mercado de energias renováveis, e na evolução do sistema de energia, com novas tecnologias mais eficientes, a partir de maior investimento do poder público na exploração de biocombustíveis e redução de fontes não renováveis.

## **7.1 Sistematização**

Em 2014, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), publicou o Plano Nacional de Energia – PNE 2050 documento o qual contém um estudo de planejamento



energético para os próximos anos. O documento vem sendo utilizado como referência em outros estudos, como os planos decenais publicados pela mesma empresa e em trabalhos acadêmicos espalhados pelo Brasil e até mesmo fora dele.

O cenário futuro em questão foi planejado com base em dados atuais da economia e da matriz energética e também em estudos probabilísticos e estatísticos do cenário global energético para os próximos anos publicados por agências internacionais como a da International Energy Agency – IEA (Agência Internacional de Energia), do Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), da Exxon Mobil Corporation, e da Price Water House & Coopers – PWC. Será considerado nesse estudo também o documento publicado pelo Greenpeace e o Conselho Europeu de Energia Renovável – EREC, em 2010 com foco no Brasil.

A análise realizada segue critérios próprios visando atender às nossas perspectivas para o futuro para uma matriz energética mais eficiente no ano de 2050. Nesse documento são propostos dois Cenários: Cenário Referência e Cenário Revolução Energética. Em 2013, foi apresentada outra atualização com dados mais novos (TESKE, 2013). Portanto será realizada uma análise crítica, tanto quantitativa como qualitativa dos dados a fim de se obter uma boa projeção para o cenário de 2050.

Além das fontes citadas, outros documentos embasaram nosso estudo, fazendo parte deste vários relatórios, resoluções e publicações que poderão ser conferidas na bibliografia.

Os dados base para projetar o cenário da matriz energética brasileira para o ano de 2050 pode ser observados na tabela 7.1 com a respectiva referência. Os dados aqui apresentados são projeções do governo para o ano de 2050. Em seguida é possível verificar os números prospectados para a matriz energética que atenderão as expectativas do governo para a demanda de energia.

Tabela 7.1. Resumo dos dados utilizados na projeção da demanda de energia de 2050. (elaboração própria)

Índice	Dados	Valor	Unidade	Referencia
1	Populacao	2,2635	x 10 <sup>7</sup> habitantes	IBGE 2014
2	Intensidade Elétrica	7,182	MWh/habitante/ano	EPE-DE 2014
3	Demanda Prevista	16,256457	TWh/ano	=(1)*(2)
4	Oferta Necessária	116,7538742	TWh/ano	
5	Perdas Técnicas	10	%	Estimada através de EPE-DE 2014
6	Ganhos de Eficiencia	20	%	Estimada através de EPE-DE 2014
7	Autoproducao	10	%	Estimada através de EPE-DE 2014
8	Oferta prevista	13,0051656	TWh/ano	=(4)+(5)-(6)-(7)

1. População: 226,35 milhões em 2050 disponibilizada na Projeção do IBGE, revisão 2013;

2. Intensidade Elétrica per capita (IEE): 7,182 kwh/habitante/ano dado que leva em consideração o desenvolvimento econômico (Figura 7.1), tecnológico e social do país por unidade de energia consumida por habitante ao longo de um ano. Disponibilizado em EPE – DE (2014);

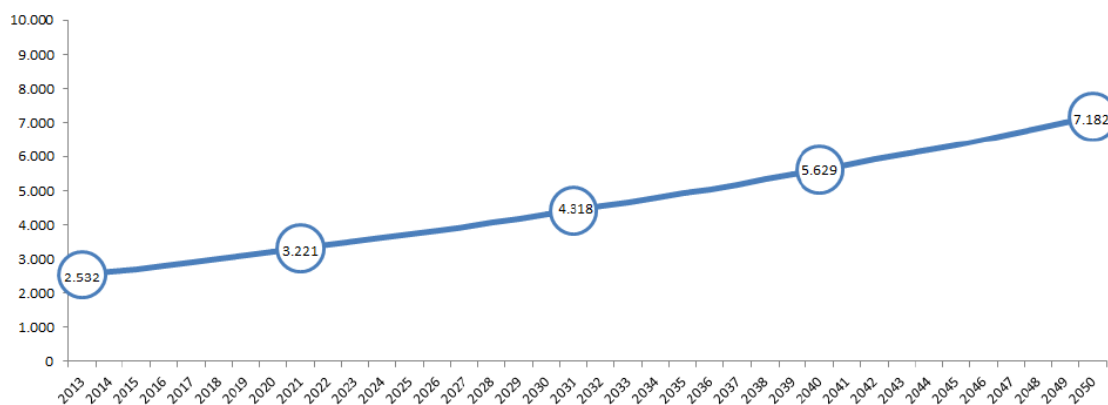


Figura 7.1. Evolução estimada do consumo per capita de eletricidade (kWh/hab) (EPE, 2015).

3. Demanda resultante: Multiplicação da população total pela intensidade media per capita;

4. Oferta mínima necessária: A oferta mínima necessária é equivalente à demanda resultante para o ano de 2050;

5. Perdas técnicas: total de energia perdida a partir de perdas técnicas estimado em 13,7%. Projeção EPE – DE (2014). Porém a média mundial para as perdas técnicas apontam um cenário bem mais favorável em torno de 8%. Adicionado que o nossa projeção engloba sistemas distribuídos que diminuirão significativamente as perdas técnicas e não foram contabilizados no documento em questão, adota-se o valor de 10% da oferta, projeção modesta, porém bem mais realista.

6. Ganhos de eficiência: a partir de avanços tecnológicos projeta-se um ganho substancial na geração da energia, estimado em 18,3% para 2050. Dados da EPE-DE (2014) (Tabela 7.2). Esse dado foi redimensionado uma vez que o sistema proposto proporcionará um maior ganho de eficiência com tecnologias avançadas e inteligentes na oferta descentralizada de energia, para não incorrer no risco de superdimensionamento, adota-se 20%.

Tabela 7.2. Brasil: consumo de energia elétrica e eficiência elétrica (EPE, 2015).

Consumo (GWh) <sup>1</sup>	2020	2030	2040	2050
Consumo potencial sem conservação	722.043	1.069.742	1.494.799	1.987.116
Energia conservada	36.824	104.696	210.229	363.568
Energia conservada (%)	5,1%	9,8%	14,1%	18,3%
Consumo final, considerando conservação	685.219	965.046	1.284.570	1.623.548
<b>Energia conservada por setor</b>				
Setor Industrial <sup>1</sup>	15.121	45.671	93.738	159.968
Setor transporte	210	712	1.543	2.627
Setor serviços	7.213	26.095	59.278	112.781
Setor residencial	13.726	30.697	53.119	83.976
Setor Agropecuário	554	1.521	2.551	4.216

7. Autoprodução: energia gerada localmente estimada em 8% para 2050. Dados do EPE – DE (2014). Pelos mesmos motivos anteriormente explanados, adotar-se 10% como estimativa para esse quesito.

Os dados apresentados anteriormente que foram recalculados se basearam na previsão dos seguintes fatores: (Greenpeace: Revolução Tecnológica)

1. Acelerar a participação das fontes renováveis como a eólica e a biomassa, combinada as termelétricas a gás operando em ciclo combinada. Aliada a redução da utilização de combustíveis fósseis;
2. Redução na taxa de crescimento de hidrelétricas no Brasil. Apesar da energia hídrica ser renovável e considerada limpa, a sua construção tem causado grandes impactos ambientais e gerado energia cada vez com menor eficiência devido à característica dos reservatórios a fio d'água. Em conjunto, é possível aumentar a eficiência termodinâmica das hidrelétricas já existentes, reduzindo perdas técnicas;
3. Evitar emissões de gases do efeito estufa a partir da substituição gradativa dos combustíveis fósseis por biomassa, incentivando o desenvolvimento da geração eólica e solar;
4. Descentralizar a oferta a partir de auto produção, coprodução e geração distribuída.

## **7.2 Projeção por fonte e fatores de capacidade**

Com as premissas utilizadas, é possível vislumbrar um cenário para a matriz energética do Brasil. Os números aqui atualizados são estimativas baseadas na prática das ações descritas para promover o uso mais efetivo da energia limpa e sustentável, o que dependem dos resultados de investimentos do setor público e privado além da conscientização da população.

O objetivo é melhorar a previsão baseado em experiências internacionais de países já desenvolvidos e de dados dos anos anteriores que sugerem uma melhora significativa do que aquelas previstas pela EPE, evitando assim números superdimensionados e fora da realidade do país.

A seguir, as capacidades instaladas e seus respectivos fatores médios de capacidade das principais fontes serão apresentadas, aqui consideradas, que irão compor a matriz energética brasileira no ano de 2050. Foram consideradas as seguintes fontes de energia elétrica:

- Usina hidroelétrica (UHE): 0,55 baseados nos dados da (EPE, 2014).
- Pequena Central Hidroelétrica (PCH): 0,57 baseados nos dados da (EPE, 2014);
- Usina Termoelétrica (UTE): 0,14 para as usinas fósseis e 0,6 para a usina a biomassa (EPE, 2014);
- Usina Termonuclear (UTN): 0,85 (EPE, 2014);
- Central Eólica (EOL): 0,32 para as centrais já construídas e 0,47 para as futuras (EPE, 2014);
- Central Solar (SOL): diretas 0,18 e 0,7 para indiretas (EPE, 2014);
- Usina Hidroelétrica Maremotriz (MAR): 0,2 (EPE, 2014).

A seguir, será apresentado todo potencial energético disponível até 2012. Somados aos que já estão em implementação ou foi contratado para ser implementado até 2018 compondo a matriz energética brasileira. Com esses dados é possível fazer estimativas para os anos seguintes.

Conhecendo todos os fatores médios de capacidade das fontes, é possível calcular a potência/ano instalada em 2018 e assim ter uma base concreta para projetarmos os números para 2050. A seguir estão apresentadas as fórmulas utilizadas para encontrar os resultados da tabela 7.3.

A potência instantânea natural disponível em uma usina hidrelétrica é dada pela seguinte expressão:

$$P = K * \rho . h . Q \quad (1)$$

Onde,

P = potência natural disponível ou capacidade instantânea de produção de energia elétrica (em MW);

$K$  = constante que depende da aceleração da gravidade e da densidade específica da água;

$\rho$  = rendimento do conjunto turbina-gerador (valor médio sobre todas as unidades);

$h$  = altura de queda líquida, correspondente à diferença entre os níveis de montante e de jusante, menos as perdas medias por atrito na tubulação (em m);

$Q$  = vazão total turbinada pelo conjunto de unidades geradoras (em m<sup>3</sup>/s)

A potência instalada da usina é determinada com base nos critérios de dimensionamento de usinas hidrelétricas (MME, 2007), tendo em conta que os valores de  $h$  e  $Q$  podem variar significativamente com o tempo e com a operação da usina. Assim, de forma simplificada, o cálculo da potência instalada é dado pela seguinte expressão:

$$PI = K \cdot \rho \cdot hr \cdot Qr \quad (2)$$

onde,

$PI$  = potência instalada na usina (em MW);

$hr$  = altura de queda líquida usada como referência para o projeto da turbina, ou seja, para a qual o rendimento da turbina será máximo (em m);

$Qr$  = vazão total turbinada de referência, ou seja, vazão nominal utilizada como referência para se determinar a potência nominal dos geradores (em m<sup>3</sup>/s).

Naturalmente, a capacidade de produção de energia elétrica de uma usina estará sempre limitada pela potência efetiva total dos geradores. Além disso, em um instante qualquer, a potência total disponível para geração pode estar reduzida devido às indisponibilidades forçadas e programadas de unidades geradoras. Assim, em media, tem-se:

$$Pd = fd \cdot PI \quad (3)$$

onde,

$Pd$  = potência media disponível ou capacidade media de geração da usina (em MW);

$fd$  = fator de disponibilidade média das unidades geradoras;

Para se determinar a produção de energia de uma usina ao longo de um ano, é necessário conhecer a evolução dos parâmetros  $h$  e  $Q$  ao longo do ano. Entretanto, utilizando-se valores médios para os parâmetros  $\rho$ ,  $h$  e  $Q$ , ou seja, admitindo-se uma potência efetiva média constante ao longo do ano, pode-se estimar a quantidade total de energia produzida pela usina hidrelétrica, através da seguinte expressão:

$$E = 8760 \cdot fp \cdot fd \cdot PI \quad (4)$$

onde,

$E$  = energia total gerada na usina ao longo de um ano, ou 8.760 horas (em MWh/ano);

$fp$  = fator de permanência, que reflete a disponibilidade média anual de vazão e queda líquida na usina, ou seja, do produto  $h \cdot Q$ , para a produção de energia elétrica.

A energia firme de uma usina corresponde à sua geração média ao longo do período crítico<sup>2</sup> do sistema de referência. Desta forma, utilizando-se a expressão (4), pode-se definir a energia firme ( $E^*$ ) de uma usina da seguinte forma:

$$E^* = 8.760 \cdot fp^* \cdot fd \cdot PI \quad (5)$$

onde,

1 Energia Firme – Energia média gerada no período crítico do Sistema Interligado Nacional (por exemplo, para uma dada configuração pode corresponder ao período junho de 1951 a novembro de 1956).

2 Período Crítico – maior período de tempo em que os reservatórios, partindo cheios e sem reenchimentos totais, são deplecionados ao máximo, estando o sistema submetido à sua energia firme.

$fp^*$  = fator de permanência crítico, ou seja, computado ao longo do período crítico do sistema de referência.

A expressão (5) pode ser usada também para se calcular o fator de capacidade (FC) da usina hidrelétrica, definido como:

$$FC = E^* / (8.760 \cdot PI) = fp^* \cdot fd \quad (6)$$

Através da fórmula (5) pode-se calcular a Produção de cada fonte por ano, como é possível observar na Tabela 7.3.

Tabela 7.3. Fatores médios de capacidade das principais fontes consideradas e a sua produção em 2018 (Elaboração Própria).

Fonte	Capacidade Instalada (MW)	Fator médio de capacidade (FC)	Produção (TWh/ano)
UHEs	104.317	0,55	502,6
PCHs	5.955	0,57	29,73
UTES fosseis	21.139	0,14	25,92
UTES renováveis	10.418	0,6	54,76
UTNs	3.412	0,85	25,41
EOLs existente	1.805	0,32	5,06
EOL futuras	13.059	0,47	53,77
SOLs direta	1,35	0,18	0
SOLs de acumulacao	0	0,7	0
MARs	0	0,2	0
Total	160.106	0,5	697,25

Com os dados consolidados da matriz energética brasileira até 2018 é possível traçar os cenários desejados para 2050.

## 7.3 Expansão das fontes de energia até 2050

### 7.3.1 Repotenciação de UHEs

A repotenciação é um importante mecanismo para o aumento de energia elétrica brasileira com impactos ambientais mínimos e custos financeiros altamente viáveis já que visa o ganho de potência e rendimento de usinas já existentes. As principais maneiras para repotenciação de usinas já em operação é através do aumento da potência instalada ou do aumento da energia produzida. Ambos podem ser alcançados, por exemplo, com a complementação de geradores ou aumentando o rendimento do sistema como todo e assim obtendo uma maior eficiência total.

Em um estudo da World Wide Fund for Nature(WWF) em parceria com o Instituto de Energia e Ambiente (IEE) em 2004, o Brasil apresentou um potencial de



repotenciação equivalente a 34.734,70 MW através da modernização e retrabalho de 67 usinas. Os dados são apresentados na Figura 7.2 a seguir e irá compor nosso primeiro item para a expansão do potencial elétrico do Brasil.

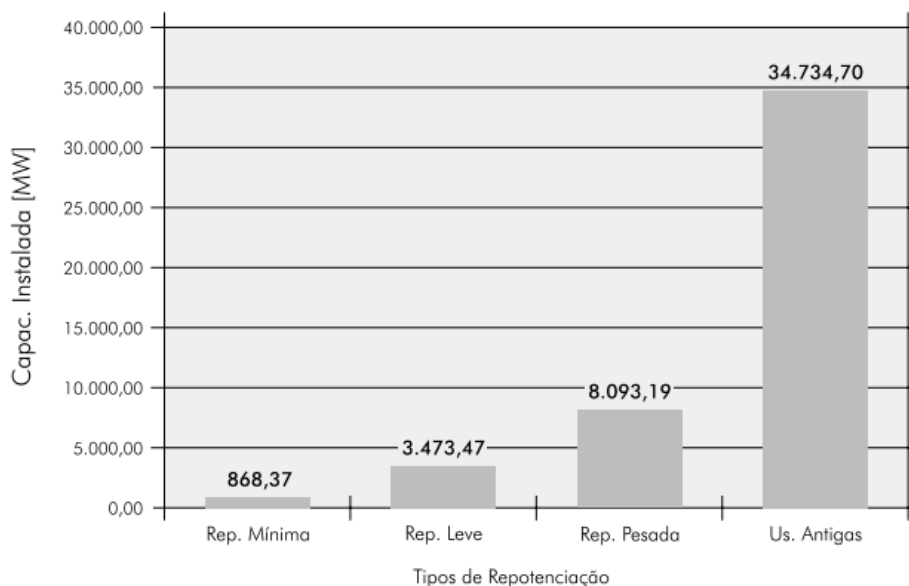


Figura 7.2. Perspectiva da Repotenciação (IEE, 2004).

### 7.3.2 Expansão de novas UHEs

As estimativas mais recentes do potencial elétrico das UHEs são do Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro – SIPOT de 2010 que é estimado em 243.361 MW. Contudo, 110.272MW já estão implementado ou previsto para operação até 2018 e já foram contabilizados anteriormente. Sendo assim, o potencial disponível até 2050 cai para 133.089MW dos quais apenas 33,8% poderá ser explorado já que o restante apresenta algum tipo de restrição socioambiental. Desta maneira, consideram-se apenas 44.984,08 MW como possível potencial a ser explorado até 2050.

### 7.3.3 Expansão das PCHs

O potencial estimado pelo EPE em 2008 possíveis de aproveitamento no território brasileiro equivale a 17.500 MW dos quais 5.995MW já se encontram em operação, ou previstas para funcionamento até 2018. Em um cenário mais modesto, estima-se que apenas 60% desse potencial estão livres de qualquer barreira e poderá ser implementado até 2050. Sendo assim, considera-se 6.927MW como possível acréscimo de potencia instalada no Brasil para o cenário em questão. (EPE, 2014)

### **7.3.4 Expansão das UTEs**

O potencial explorável de energia da biomassa nas termelétricas era estimado em 28.000 MW. Diferentemente dos outros itens que compõe a expansão da matriz energética brasileira, esse potencial ainda não foi explorado na sua totalidade. Com o aumento de resíduos agrícolas e urbanos, estima-se que esse cenário esteja ainda mais favorável, podendo alcançar os 36.000 MW em uma estimativa não excessivamente otimista (EPE, 2015).

### **7.3.5 Expansão das EOLs**

As estimativas para a expansão da geração eólica de energia são bastante otimistas e poderão compor uma importante parcela da matriz energética do Brasil no futuro. De acordo com a EPE o potencial disponível é equivalente a 42.864MW de capacidade instalada dos quais 14.864 MW já se encontram em operação ou que já estão contratadas. Dessa maneira, estima-se que 28.000MW poderá compor a matriz energética advinda dos parques eólicos (EPE, 2014).

### **7.3.6 Expansão SOLs**

Aqui a expansão da energia solar será dividida em duas formas de geração por possuírem fatores médios de consumo bastante diferente. As SOLs indiretas composta por painéis de acumulação, ainda não desenvolvido no Brasil. Possui segundo a WEC um potencial equivalente a 98.000 MW a ser explorado. Já as SOLs indiretas compostas por painéis fotovoltaicos possuem segundo o mesmo órgão capacidade de exploração equivalente de 2.800MW (WEC, 2012).

## **7.4 Análise de Dados e Resultados**

O objetivo dessa seção é analisar criticamente os números apresentados, observando sempre a evolução das fontes renováveis na matriz energética brasileira.

A figura 7.3 a seguir, apresenta a participação de diversas fontes de energia na matriz energética brasileira em 2012.

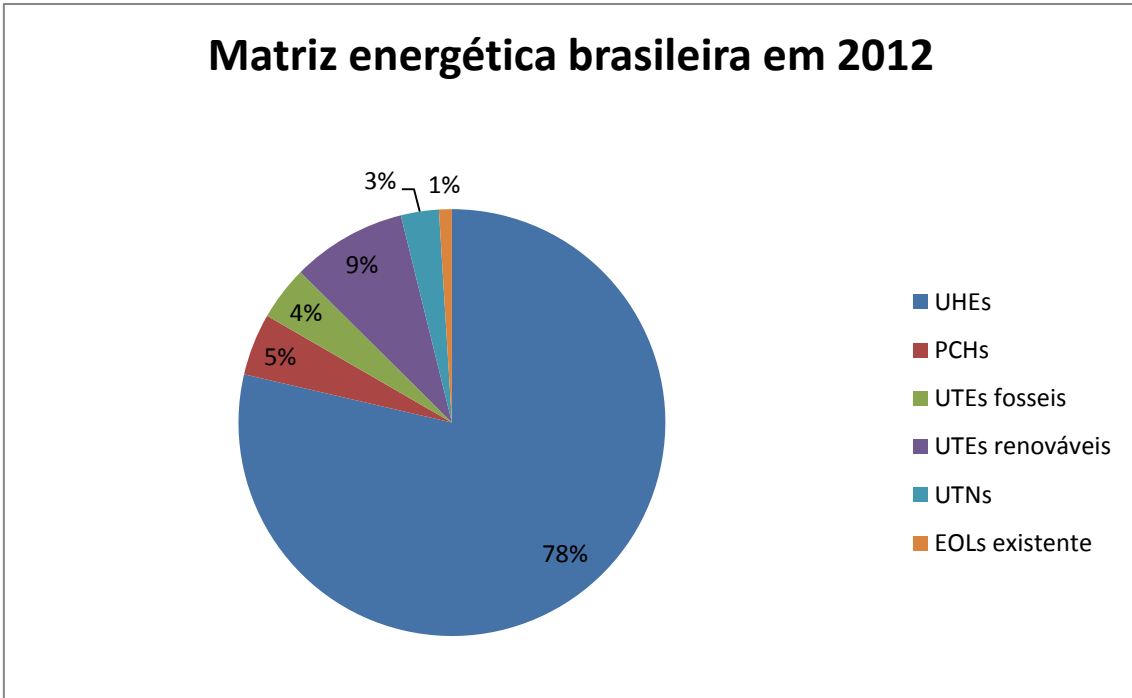


Figura 7.3. Matriz energética brasileira em 2012 (Elaboração Própria)

Observa-se que a principal fonte de energia, a hidráulica, tinha participação na geração de quase 80% de toda energia produzida no Brasil. Isso explica a dependência climática do país para gerar energia e a atual crise energética instalada. Além disso, observa-se que as usinas termelétricas eram a segunda fonte com a maior participação na matriz daquele ano.

Ao comparar com a matriz energética planejada para 2018 (Figura 7.4), percebe-se que houve uma diminuição da participação da energia hidráulica, devido à crise hídrica, o que colaborou para a crescente inserção da energia eólica no Brasil.

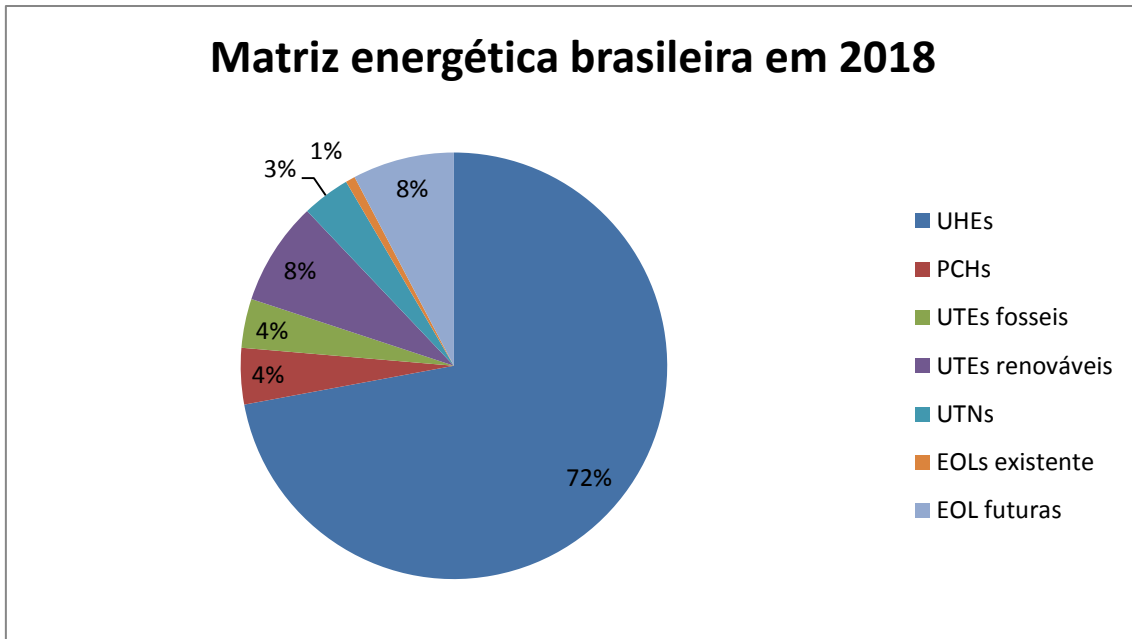


Figura 7.4. Matriz energética brasileira em 2018 (Elaboração própria).

A energia eólica passa a ser a segunda fonte com maior participação na matriz devido a grande expansão de parques eólicos previstos. Vale lembrar que apesar da participação hidráulica diminuir em relação às outras fontes, essa fonte irá se expandir em números brutos, como será discutido mais adiante.

Na figura 7.5, pode-se visualizar a participação de cada fonte na matriz energética esperada para o ano de 2050. Comparando com a matriz energética de 2018, é fácil perceber que a participação hídrica diminuirá em torno de 20%, ou seja, é possível ter uma matriz energética menos dependente dessa fonte e conseqüentemente menos suscetível a sofrer com a crise hídrica. Observa-se também que as fontes não renováveis de energia como as UTEs fósseis e UTNs terão menor participação percentual da energia produzida explicada pela valorização dos investimentos em energia limpa e renovável.

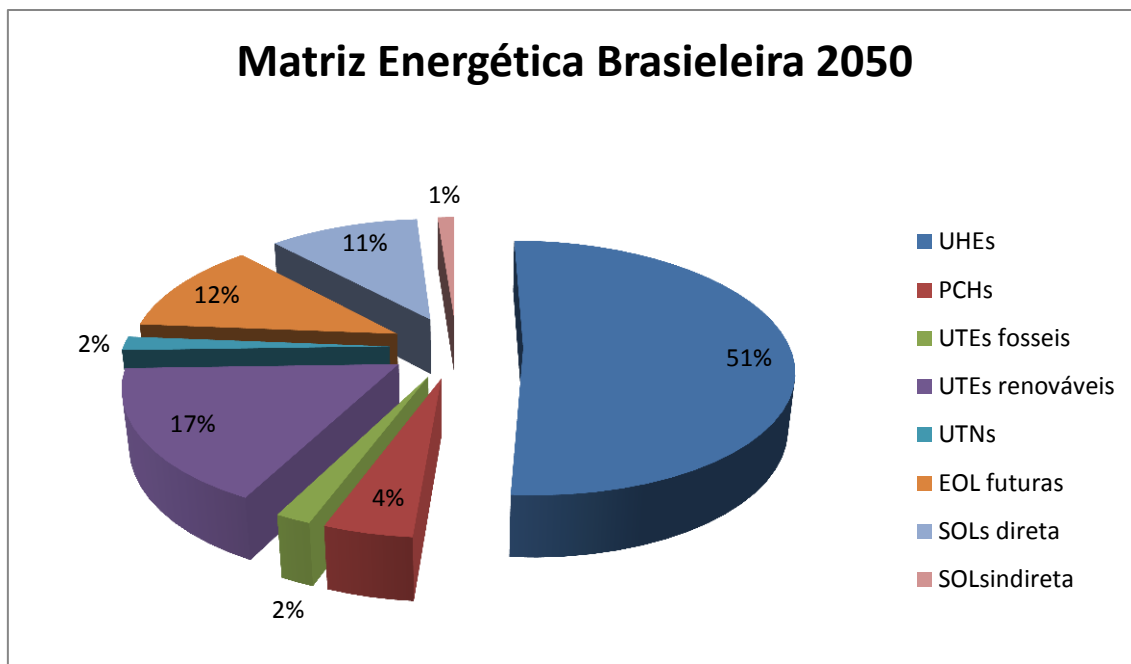


Figura 7.5. Matriz energética brasileira em 2050 (Elaboração própria)

Observa-se, portanto um grande crescimento de fontes como as termelétricas que produzem energia a partir da biomassa, da energia eólica e o aparecimento discreto de outras fontes, como as que produzem energia a partir da energia solar. É notável que a diversificação da forma de se produzir energia no Brasil diminuirá a dependência hídrica, e, além disso, tornará a matriz energética mais limpa ao compararmos 2018 (Figura 7.6) com 2050 (Figura 7.7).

Observa-se na figura 7.7 que em 2050 a nossa matriz energética será 96% limpa e renovável, um exemplo para o mundo que sofre com os impactos ambientais do desenvolvimento de uma política que não respeita o meio ambiente. Ou seja, pelo cenário proposto, é possível aumentar a energia ofertada, com uma maior diversificação de fontes de energia e conseqüentemente menos suscetíveis à crise da qual presenciamos atualmente.

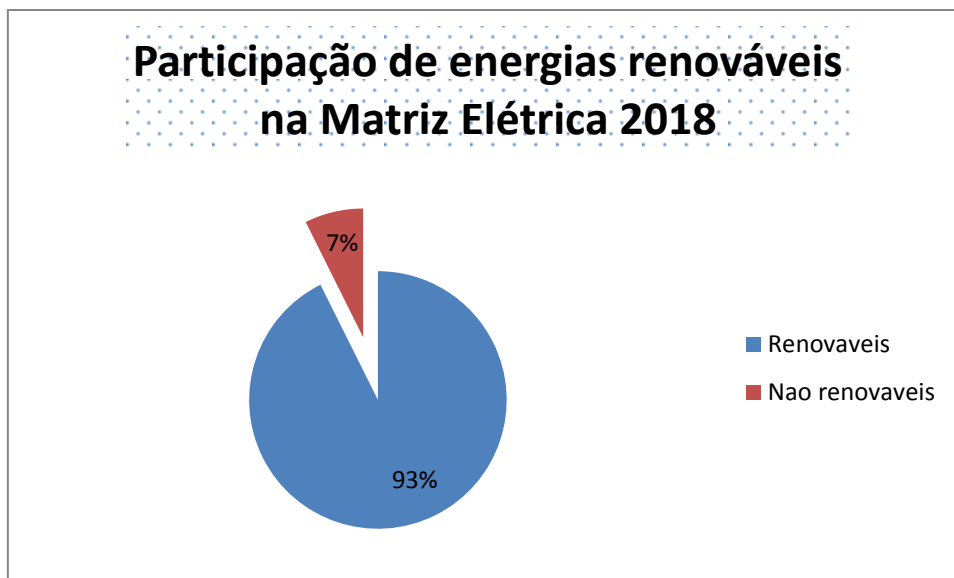


Figura 7.6. Participação de energias renováveis na Matriz Elétrica 2018 (Elaboração própria).

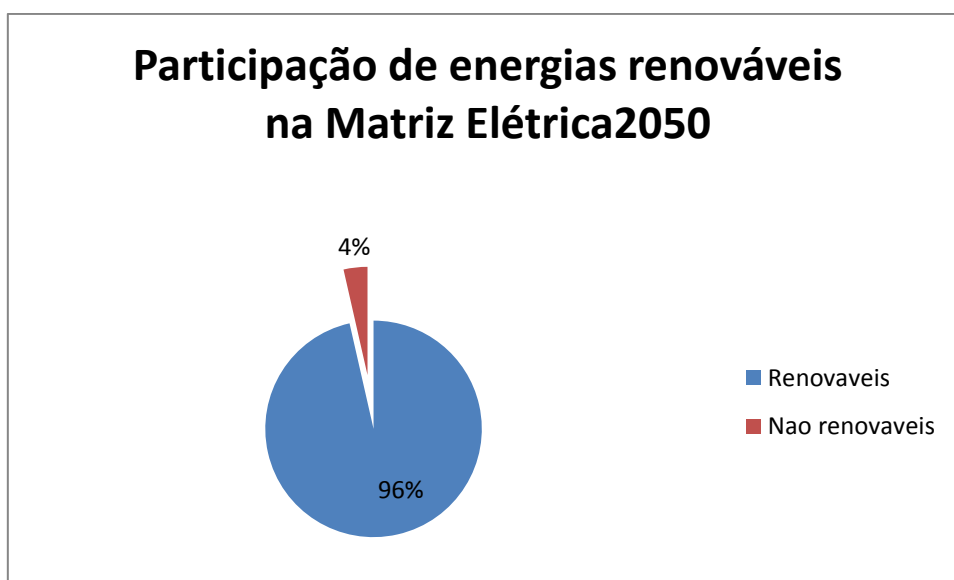


Figura 7.7. Participação de energias renováveis na Matriz Elétrica 2050. (Elaboração própria).

Em uma análise baseada em números brutos, observa-se na figura 7.8 que de 2012 para 2018 a energia hidráulica foi o que mais aumentou a oferta de energia com quase 94 TWh/ano a mais em relação a 2012, porém é perceptível que a fonte que terá o maior crescimento será a de energia eólica passando dos pouco mais de 5MWh/ano ofertado no ano de 2012 para os quase 59MWh/ano no ano de 2018, o que representa um crescimento de quase 500% em 6 anos.

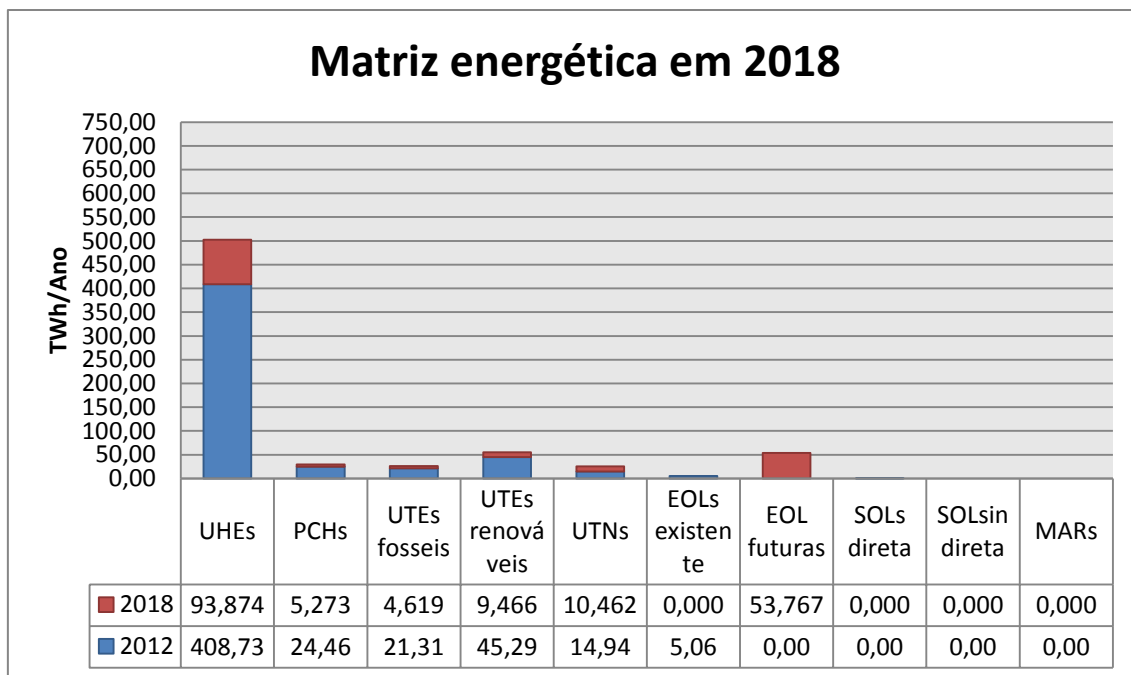


Figura 7.8. Acréscimo na produção de energia em 2018 comparada a 2012 (Elaboração Própria).

Da figura 7.9 pode-se analisar o crescimento energético para o ano de 2050 com relação ao ano de 2018. É importante lembrar que até 2018 toda energia contabilizada já está em geração ou será gerada através de usinas já licitadas e em construção. Observa-se nesse cenário de crescimento, que as fontes não renováveis de energia como as usinas termoelétricas fósseis e as usinas termonucleares não sofrerão expansão nos anos seguintes, gerando juntas pouco mais de 50 TWh/ano, o que representará apenas 4% da matriz energética brasileira como se pode verificar na figura 7.9.

Outro importante fato a ser observado é a forte expansão da energia solar direta e indireta que até 2014 não registrava números expressivos, mas que passa a contribuir para o Sistema Interligado Nacional. Perdendo apenas para a geração hidráulica, as termoelétricas constituirão uma importante fonte de energia em 2050, terá o acréscimo de produção de quase 190 TWh/ano, gerando 17% de toda energia do Brasil (Figura 7.9). Por último, é importante observar que as usinas hidrelétricas continuarão sendo a principal fonte de energia elétrica do Brasil, crescendo sua produção por ano até 2050 aproximadamente 50% em relação a 2018.

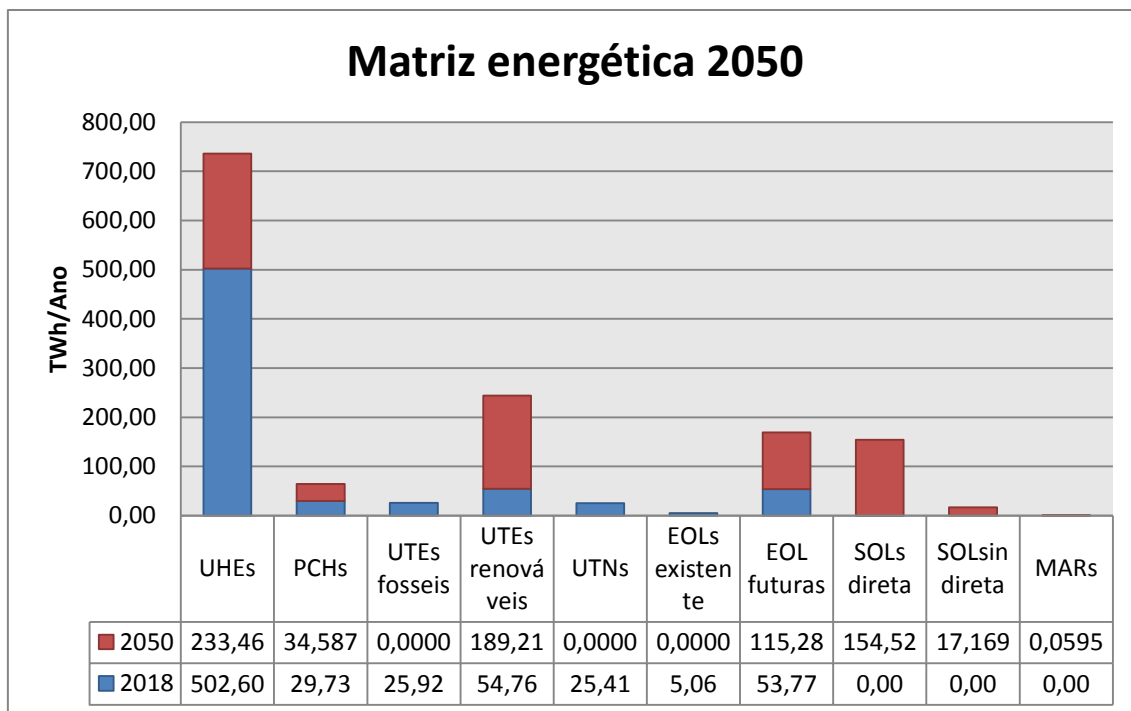


Figura 7.9. Acréscimo na produção de energia em 2050 comparada a 2018. (Elaboração Própria)

Ao comparar a oferta prospectada (1.441,5596 TWh/ano – Tabela 7.4) com a oferta necessária estimada (1.300,52 TWh,ano – Tabela 7.1) observa-se que o cenário proposto atenderá com uma boa margem de segurança (10,84%) a futura necessidade energética do Brasil (Figura 7.10). Vale ressaltar que os valores encontrados poderiam ser maiores ou menores em função de diferentes critérios, comparado aos utilizados nesse trabalho.



Tabela 7.4. Tabela Resumo expansão da matriz energética brasileira. (Elaboração Própria).

Fonte	Producao 2012 (TWh/ano)	Expansao até 2018 (Twh/ano)	Capacidade Instalada Total 2018(MW)	Expansao Producao 2050(Twh/ano)	Total Producao 2050 (TWh/ano)
UHEs	408,73	93,874	104.317	233,47	736,07
PCHs	24,46	5,273	5.955	34,59	64,32
UTES fosseis	21,31	4,619	21.139	0,00	25,92
UTES renováveis	45,29	9,466	10.418	189,22	243,97
UTNs	14,94	10,462	3.412	0,00	25,41
EOLs existente	5,06	0,000	1.805	0,00	5,06
EOL futuras	0,00	53,767	13.059	115,28	169,05
SOLs direta	0,00	0,000	1,35	154,53	154,53
SOLs indireta	0,00	0,000		17,17	17,17
MARs	0,00	0,000		0,06	0,06
Total	519,79	177,701	160.106	964,56	1441,56

É importante ressaltar que a estimativa até o ano de 2018 vem sendo cumprida de forma acelerada, uma vez que se as taxa de crescimento se mantivessem constante entre os anos de 2012 e 2018, teríamos no final do ano de 2015, o potencial produtivo de pouco mais de 600 TWh/ano, sendo que a matriz atual já alcança aproximadamente 630 TWh/ano (Figura 7.10).

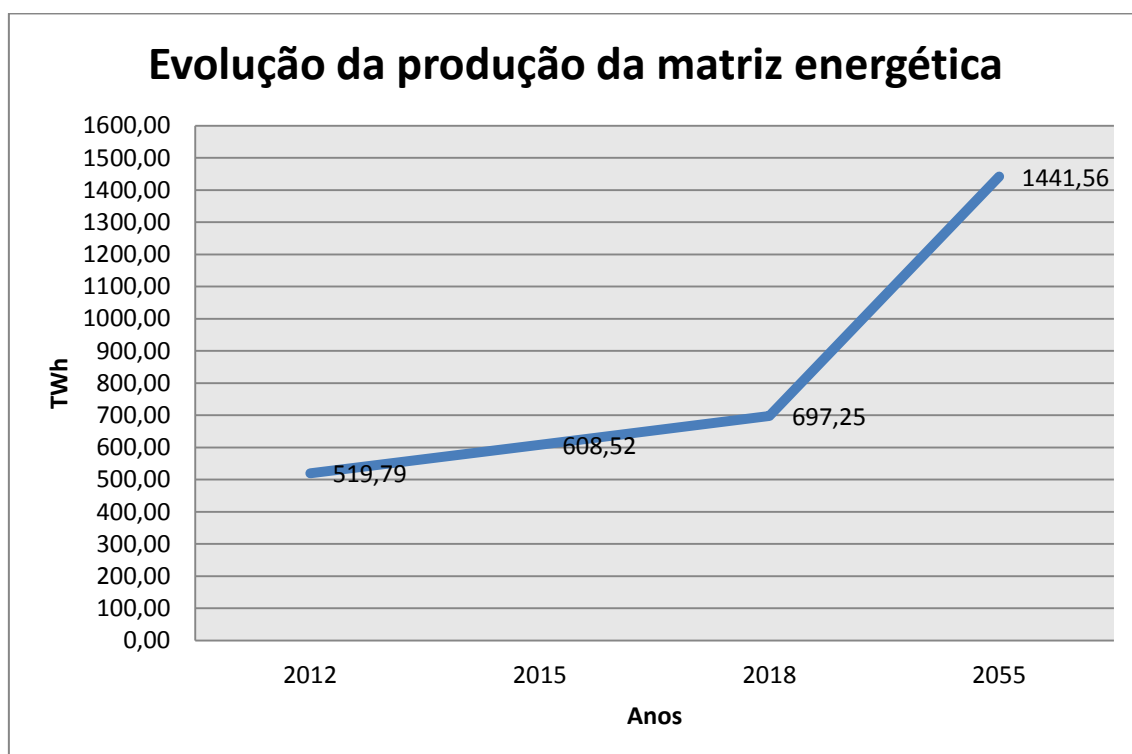


Figura 7.10. Evolução da produção da matriz energética brasileira (Elaboração Própria).

Vislumbrar um cenário energético de um país é uma tarefa bastante complexa por depender de muitos fatores que somados torna a análise probabilística bastante trabalhosa. Por esse motivo, é comum ter esses números constantemente revisados por empresas especializadas e pelo governo. Contudo o objetivo desse trabalho não é uma avaliação quantitativa exata e sim uma avaliação qualitativa de que é possível desenvolver a atual matriz energética, suprimindo a demanda de energia necessária baseada em um desenvolvimento sustentável.

## 8. CONCLUSÕES

As alterações climáticas com variações bruscas na temperatura e dos níveis pluviométricos que causam inundações em algumas regiões e comprometem o abastecimento de outras tem sido a causa de uma grande crise no setor energético brasileiro devido a sua grande dependência de fontes hídricas. Ainda é insuficientemente indefinido o quão os fenômenos naturais estão ligados às atividades humanas, contudo é notória a necessidade de se tomar ações urgentes no que tange a uma transição para o futuro mais sustentável.

As principais preocupações da humanidade hoje estão relacionadas à exploração desenfreada dos recursos fósseis, as emissões de gases do efeito estufa sem precedentes e a escassez de água para transformação da energia e no uso dos seres humanos.

A transição para um modelo mais sustentável é vista hoje como inevitável, uma vez que o petróleo, principal fonte de energia no mundo, junto às outras fontes fósseis estão se exaurindo o que acarretará em restrições em sua extração. A solução para esse cenário é a aceleração do desenvolvimento de fontes sustentáveis, com conscientização da população e maior eficiência dos sistemas energéticos a partir de novas tecnologias.

O uso mais consciente da energia, com geração mais verde de energia elétrica tem ganhado vários adeptos no mundo e tem sido a principal alternativa encontrada para o desenvolvimento da matriz energética no Brasil.

Hoje o Brasil está inserido em um seleto grupo que prioriza a produção hídrica com complementação térmica que tem sido bastante criticado por diferentes setores pela falta de diversidade na produção de energia elétrica e pela grande dependência de boas condições climáticas. Os planos do governo tem priorizado a disponibilidade de potência (W) ao de energia (Wh) a partir de usinas hidrelétricas a fio d'água devido às dificuldades para aprovação ambiental de reservatórios. Além disso, a necessidade de estruturar e potencializar a matriz energética do país faz com que o governo construa mais usinas termelétricas, aumentando o custo final da energia elétrica para o consumidor, gerando maior instabilidade no setor.

Devido a toda problemática apresentada, foi apresentado nesse trabalho um estudo visando vislumbrar um cenário para a matriz energética brasileira em 2050 que fosse menos suscetível a crises de origem hídrica e que ao mesmo tempo se alinhasse ao desenvolvimento sustentável pautado na aceleração do uso de fontes renováveis de energia.

Portanto, foram sintetizados dados de diferentes fontes, tanto governamentais como de órgãos privados, a fim de se obter a melhor aproximação possível que se alinhasse também as tendências internacionais para 2050. Para isso, utilizaram-se os dados do ano de 2013 somados às obras em construção ou já contratadas até o ano de 2018 apresentadas no Plano Decenal de Energia de 2022, ou seja, os dados aqui estimados respeitaram a atual matriz energética e toda expansão já projetada para os próximos anos.

Os resultados apresentados demonstram que é possível expandir e desenvolver a atual matriz energética desde forma sustentável a partir dos recursos de que o país dispõe, diminuindo o risco de sofrer com novas crises hídricas e colaborando com os tratados internacionais para emissão de gases poluentes.

A matriz proposta e obtida como resultado do nosso trabalho se baseia, portanto na descentralização da oferta de energia, com foco no desenvolvimento de fontes sustentáveis como as fontes térmicas movidas a biomassa e fontes solares e eólicas de energia, priorizando a cogeração, a autoprodução e a geração distribuída de energia o que resulta em um sistema com menores perdas técnicas, mais diversificadas e mais confiáveis.

Vale ressaltar que os resultados obtidos dependem do desenvolvimento de novas tecnologias, do investimento público em ações que promovam o uso consciente de energia, além de uma atmosfera que prioriza o uso de energia verde ao de energia fóssil. É importante salientar também que todas as barreiras apresentadas devem ser mitigadas durante o processo de desenvolvimento pelas distribuidoras, geradores e transmissoras de energia, buscando sempre a maior eficiência do sistema. Além disso, as barreiras normativas e tarifárias devem ser discutidas pelos órgãos responsáveis a fim de buscar um caminho que favoreça o desenvolvimento de fontes sustentáveis.

Para trabalhos futuros, vê-se a necessidade de:

1. Realizar um estudo econômico a fim de se obter o preço unitário do kWh para o consumidor final em 2050;
2. Mapear e estruturar o sistema proposto em curvas de sazonalidade a fim de se obter pontos críticos;
3. Buscar futuros potenciais energéticos no Brasil com menos pressões socioambientais;
4. Traçar curvas de aprendizado das novas fontes de energia e projetar a evolução ano a ano da transição da matriz atual até 2050.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A Repotenciação de Usinas Hidrelétricas como Alternativa para o Aumento da Oferta de Energia no Brasil com Proteção Ambiental.** Veiga, J. R. C.; Rocha, G. S. consultores. Bermann, C. coordenador. WWF-Brasil: São Paulo, 2004.

ANACE – Associação Nacional de Consumidores de Energia. **Mercado livre e incertezas para 2015.** ANACE, 2014

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3ª. Ed. Brasília: ANEEL, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Informações do Site.** Brasília, 2014b.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Pesquisa referente a microgeração distribuída a partir da resolução normativa 482.** Brasília, 2014a.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 que trata do sistema de compensação de energia elétrica para geração distribuída.** Diário Oficial Da União. Seção 1, n. 76, pag. 53, Brasília, 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n. 228 de 25/07/2006 que trata das certificações de centrais geradoras termelétricas.** Diário Oficial da União de 01/08/2006, Brasília, 2006.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 112, de 18/05/1999 que trata dos requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia.** Diário Oficial da União de 19/05/1999, Brasília, 1999.

ANEEL - **Banco de Informações de Geração** – BIG. Disponível em: < [www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15](http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15) >. Acessos em 12.11.2015; e 28.11.2015.

BAITELO, R. L.; FUJII, R. J.; TESKE, S. **Revolução Energética: um Cenário Energético Sustentável para 2050**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Florianópolis, 2013.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2013**: ano base 2012. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2014**: ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2015**: ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

BRASIL. **Decreto nº. 2.003, de 10 de setembro de 1996**. Disponível em: . Acessado em 20 de outubro de 2015.

BRASIL. **Decreto nº. 5.163, de 30 de julho de 2004**. Disponível em: . Acessado em 10 de dezembro de 2014.

BRASIL. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas**. Relatório do Grupo de Trabalho de Geração distribuída com Sistemas Fotovoltaicos – GT-GERAÇÃO DISTRIBUÍDAS, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2009.

BRASIL. **Lei no 12.111 de 09 de dezembro de 2009**. Disponível em: . Acessado em 20 de outubro de 2015.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas Energéticas – Uma visão CEMIG**. Uma publicação da empresa CEMIG, Belo Horizonte, 2012.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A. Informações do Site. Brasil, 2014. Disponível em: . Acessado em 10 de outubro de 2015.

ELETROBRÁS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. Eletrobrás, 2003

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. PDE 2021 – **Plano Decenal de Expansão de Energia**. Rio de Janeiro, janeiro de 2013.

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

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. PNE 2050 – **Plano Nacional de Expansão de Energia**. Rio de Janeiro, 2014.

GREENPEACE, **Revolução Energética**. GREENPEACE, 2011

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores, População, Economia**. 2014. Disponível em . Acesso em 01.11.2015.

IEDI/FGV. **Políticas para promoção da economia verde: A experiência internacional e o Brasil**. Instituto de estudos para o desenvolvimento industrial, São Paulo, 2010.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE, 2006

IPEA – Instituto de Pesquisa Aplicada. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. Brasília: IPEA, 2013. Disponível em . Acesso em 15.10.2015.

Martins, Vanderlei Affonso. **Análise do potencial de políticas públicas naviabilidade de geração distribuída no Brasil**. / Vanderlei Affonso Martins. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Portal**. Disponível em . Acessos em 01.10.2015 e

PDE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020** / Ministério de Minas e Energia. (PDE) (Relatório Final). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011.



PDE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022** / Ministério de Minas e Energia. (PDE) (Relatório Final). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2013.

PDE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023** / Ministério de Minas e Energia. (PDE) (Relatório Final). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2014.

PROCEL, Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica. **Resultados do Procel**. Ano base 2010, Rio de Janeiro, 2011.

**Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2011-2020)**. Nota técnica DEA 03/11. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas. Rio de Janeiro: EPE, 2008.

SIN. **Sistema Interligado Nacional. Apresentação**. Empresa de Pesquisa Energética. EPE, 2009. Disponível em: <[www.senado.gov.br/sf/comissoes/ci/ap/AP20091210\\_Dr\\_Mauricio\\_Tolmasquin.pdf](http://www.senado.gov.br/sf/comissoes/ci/ap/AP20091210_Dr_Mauricio_Tolmasquin.pdf)>. Acesso em 15.10.2015.

SOLAR ENERGY. **Preço dos sistemas fotovoltaicos de acordo com a potência instalada**. EUA, 2014.

VIANA, A. G.; PARENTE, V. **A Experiência Brasileira de Incentivo a Expansão das Fontes Renováveis por meio de Leilões de Energia Elétrica**. Revista Brasileira de Energia, Vol. 16, nº 1, 2010.

WEC - World Energy Council. **Regional Energy Integration In Africa**. WEC 2005

WITTMANN, Douglas. **A Indústria de Energia Elétrica no Brasil e o Desenvolvimento Sustentável: Uma Proposta para o Horizonte 2050 à Luz da Teoria de Sistemas**. 2014. 200f. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ZERVOS, A.; LINS, C. MUTH, J. **Revolução Energética – a caminho do desenvolvimento limpo**. [Edição brasileira] Ricardo Baitelo, coordenador. São Caetano do Sul: Pigma, 2010. \_\_\_\_\_. **Revolução Energética – a caminho do desenvolvimento limpo**. [Edição brasileira] Ricardo Baitelo, coordenador. Santo André: Hawaií, 2013.