

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Avaliação Histórica do Planejamento Energético  
Brasileiro e Considerações Sobre a Introdução de  
Novas Tecnologias**

**Jamila Monteiro dos Santos**

**Itajubá, novembro de 2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Jamila Monteiro dos Santos**

**Avaliação Histórica do Planejamento Energético  
Brasileiro e Considerações Sobre a Introdução de  
Novas Tecnologias**

**Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de  
Energia como parte dos requisitos para  
obtenção do Título de Mestre em  
Ciências em Engenharia de Energia.**

**Área de Concentração: Planejamento e  
Gestão de Sistemas Energéticos**

**Orientador: Prof. Dr. Edson da Costa  
Bortoni**

**Novembro de 2017  
Itajubá**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Jamila Monteiro dos Santos**

**Avaliação Histórica do Planejamento Energético  
Brasileiro e Considerações Sobre a Introdução de  
Novas Tecnologias**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 20 de novembro de 2017, conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Energia*.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni (Orientador)

Prof. Dr. Luiz Octavio Mattos dos Reis

Prof. Dr. Jamil Haddad

Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita

# PENSAMENTO

*"Olho nenhum viu, ouvido  
nenhum ouviu, mente nenhuma  
imaginou o que Deus preparou  
para aqueles que o amam";  
1 Coríntios 2:9*

# DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação primeiramente a Deus, por me capacitar para concretizar este sonho, a minha família, em especial, minha mãe, meu namorado e amigos por todo amor, carinho e compreensão dedicado e aos incentivos e bons momentos compartilhados.*

# AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, por me dar forças para realizar esta dissertação com sucesso e por concluir mais esta etapa em minha vida.

Ao meu orientador Edson da Costa Bortoni pela contribuição com seu valioso conhecimento, conselhos, suporte desde o início do projeto, por transmitir suas experiências e me dar a oportunidade de trabalharmos juntos.

À minha mãe Dirce pelos seus incentivos, amor, por acreditar em meus sonhos e sempre estar ao meu lado.

Aos meus irmãos Jéssica, Josiney e Josiany pelo companheirismo e amor incondicional.

Ao meu namorado Fabricio por estar ao meu lado me incentivando nos estudos, auxiliando, dando amor, carinho e atenção sempre.

Aos meus queridos sobrinhos Alysom, Alef, Kaio e Lavínia e cunhados Antônio e Rafael pelo amor e carinho durante esses anos.

Aos amigos Aline, Andressa, Camila Araújo, Camila Caroline, Carol, Débora, Dora, Mayara Rodrigues, Mayara Leão, Paola, Nataly, Felipe, Cecília e Darcy que sempre estiveram presentes me motivando a cada etapa.

Aos queridos professores e mestres do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia da UNIFEI, pelo conhecimento transmitido com tanta alegria e prazer ao ensinar.

Aos colegas do mestrado pela amizade e companheirismo durante esta etapa.

A CAPES pelo auxílio financeiro durante o projeto.

E a todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho, o meu sincero muito obrigado.

## RESUMO

A elaboração da energia que é necessária em um país requer constantes análises e considerações de eventos futuros e novas tecnologias que serão empregadas, visando analisar e organizar o setor são dispostos atualmente pelo governo relatórios que apresentam dados do panorama atual e de perspectivas futuras, que além de auxiliar a antecipação das mudanças previstas, é possível aumentar a qualidade e confiabilidade do setor que opera de modo dinâmico. Objetivando analisar o histórico do planejamento energético brasileiro e as alternativas futuras, o trabalho em questão busca identificar as oportunidades e dificuldades neste contexto através de fatos anteriores e da inserção de novas tecnologias, e as influências destas nos cenários nacional, estadual, municipal e considerando o setor residencial e os modelos de otimização utilizados para o planejamento de médio e curto prazo, além do diário. Apesar do Brasil já apresentar algumas novas tecnologias que beneficiam o setor elétrico, muitas outras ainda não estão implementadas como a modernização das redes elétricas e tecnologias de armazenamento. As tecnologias aplicadas nos espaços físicos vai modificar o planejamento energético e em alguns casos deverá ser feita a criação de novas linhas de transmissão, pois haverá aumento da geração de energia através de fontes renováveis. A exemplo da inserção de medidas de eficiência energética no planejamento energético, as novas tecnologias empregadas no setor elétrico podem resultar em benefícios e desafios que devem ser analisados.

**Palavras-chave:** Planejamento energético; novas tecnologias; modelos de otimização; evolução do setor.

# ABSTRACT

The elaboration of the energy that will be needed in a country requires constant analyzes and considerations of future events and new technologies that will be employed, aiming to analyze and organize the sector are currently prepared by the government reports that present data of the current panorama and future perspectives, which in addition To look forward to anticipated changes, it is possible to increase the quality and reliability of the industry that operates dynamically. In order to analyze the history of Brazilian energy planning and future considerations, the work in question seeks to identify the opportunities and difficulties in this context through previous events and the insertion of new technologies, and the influences of these in the national, state, municipal and residential scenarios and The optimization models used for medium and short-term planning, in addition to the daily. Although Brazil already presents some new technologies that benefit the electric sector, many others are not yet implemented as the modernization of electrical networks and storage technologies. The technologies applied in the physical spaces will modify the energy planning and in some cases the creation of new transmission lines should be made, as there will be an increase in the generation of energy through renewable sources. As with the introduction of energy efficiency measures in energy planning, the new technologies employed in the electricity sector can result in benefits and challenges that need to be analyzed.

**Keywords:** Energy Planning; new technologies; optimization models; evolution of the electricity sector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – História do Planejamento Energético .....	21
Figura 2 – Consumo de Energia Elétrica .....	37
Figura 3 – Evolução da elasticidade-renda do consumo de eletricidade (*).....	37
Figura 4 – Visão geral da abordagem metodológica a ser utilizada no PNE 2050 .....	38
Figura 5 – Iteração do espaço físico.....	42
Figura 6 – Internet das Coisas .....	43
Figura 7 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	45
Figura 8 – Geração de energia de forma convencional .....	47
Figura 9 – Geração de energia distribuída .....	48
Figura 10 – Capacidade instalada e planejada do armazenamento por baterias ao redor do mundo .....	50
Figura 11 – Sistema de armazenamento por baterias e seus componentes .....	50
Figura 12 – Redes Inteligentes - A dinâmica em tempo real .....	56
Figura 13 – Participação de Energias Renováveis na produção mundial de energia, 2014 .....	63
Figura 14 – Participação de Energias Renováveis na produção mundial de eletricidade, final de 2016.....	64
Figura 15 – Capacidade de eletricidade renovável no mundo, UE 28, BRICS e sete países, final 2015.....	64
Figura 16 – Países com políticas e metas de eficiência energética, 2016 .....	65
Figura 17 – Novos investimentos mundiais em Energias Renováveis por tecnologia, países desenvolvidos e em desenvolvimento .....	66
Figura 18 – Iteração do Espaço Temporal .....	69
Figura 19 – Expansão do Sistema Interligado Nacional .....	70
Figura 20 – Modelos utilizados pelo SIN.....	71
Figura 21 – Função de Custo Futuro (FCF) .....	71
Figura 22 – Representação dos submercados do SIN no modelo Newave .....	73
Figura 23 – O Planejamento da Operação Eletroenergética .....	73
Figura 24 – Comparação modelo Newave versus Decomp .....	74
Figura 25 – O caminho da energia elétrica até a sua casa.....	77
Figura 26 – Sistema de inovação tecnológica do setor de energia.....	78
Figura 27 – Dispendio nacional (C&T), em valores correntes, e em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) de 2000 a 2013 .....	79
Figura 28 – Investimentos em inovação no Brasil .....	80
Figura 29 – Submissão de pedidos feitos a Aneel para liberação de recursos, em R\$ milhões... ..	81
Figura 30 – Gastos em pesquisa e desenvolvimento no Mundo .....	81
Figura 31 – Diagrama do Espaço Físico .....	82
Figura 32 – Ganhos de eficiência (TWh).....	84
Figura 33 – Comparação das Redes Elétricas Tradicionais e Inteligentes.....	86
Figura 34 – Evolução das Energias Renováveis no mundo .....	88
Figura 35 – Infográfico Energia Eólica.....	89
Figura 36 – Evolução da Cogeração no Brasil.....	91
Figura 37 – Evolução das Vendas de Carros Elétricos e Híbridos no mundo 2010-16.....	95
Figura 38 – Modificações com as novas tecnologias.....	97

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Indicadores de Energia Renovável 2014 x 2015 .....	60
Tabela 2 – Cinco maiores investimentos dos países do REN21 .....	61
Tabela 3 – Cinco maiores países em capacidade líquida de Energias Renováveis.....	62
Tabela 4 – Cinco maiores países produtores de Biocombustíveis .....	62
Tabela 5 – Eficiência Percentual de redução do consumo por classe (%) .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACTC</b>	Atividades científicas e técnicas correlatas
<b>AIA</b>	Avaliação de Impacto Ambiental
<b>ANA</b>	Agencia Nacional de Águas
<b>ANDE</b>	<i>Administración Nacional de Electricidad</i>
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
<b>ANPEI</b>	Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras
<b>BEM</b>	Balanco Energético Nacional
<b>BESSs</b>	<i>Battery Energy Storage Systems</i> – Sistema de Armazenamento de Energia por Baterias
<b>C&amp;T</b>	Ciência e tecnologia
<b>CA</b>	Corrente alternada
<b>CC</b>	Corrente contínua
<b>CCPE</b>	Comitê Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos
<b>CEMIG</b>	Companhia Energética de Minas Gerais
<b>CEPEL</b>	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
<b>CGIN</b>	Coordenação-Geral de Indicadores
<b>CMSE</b>	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
<b>CNPE</b>	Conselho Nacional de Política Energética
<b>COGEN</b>	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>CONPET</b>	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
<b>EIA</b>	Estudo de Impacto Ambiental
<b>ELETROBRAS</b>	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
<b>EPE</b>	Empresa de Pesquisa Energética
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>GCPS</b>	Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos
<b>GWEC</b>	<i>Global Wind Energy Council</i>
<b>IOT</b>	<i>Internet of Things</i> – Internet das Coisas
<b>KIUC</b>	<i>Kauai Island Utility Cooperative</i>

<b>LR</b>	<i>Learning rate</i> – Taxa de aprendizado
<b>MCTI</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>MIT</b>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> – Instituto de Tecnologia de Massachusetts
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>NOS</b>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>P&amp;D</b>	Pesquisa e desenvolvimento
<b>PBE</b>	Programa Brasileiro de Etiquetagem
<b>PDE</b>	Plano Decenal de Expansão de Energia
<b>PET</b>	Programa de Expansão da Transmissão
<b>PHEV</b>	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicles</i> - Veículos híbridos com baterias recarregáveis
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PNE</b>	Plano Nacional de Energia
<b>PNMA</b>	Política Nacional do Meio Ambiente
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>REN</b>	Resolução Normativa

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Objetivos .....	16
1.1.1. Objetivo Geral.....	16
1.1.2. Objetivos Específicos .....	16
1.2. Justificativa.....	17
1.3. Metodologia.....	18
1.4. Estrutura do Trabalho .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1. Planejamento Energético .....	20
2.2. História do Planejamento no Brasil.....	21
2.2.1. Pré-Canambra (1883-1962) .....	21
2.2.2. Canambra (1962-1970) .....	22
2.2.3. Planejamento Centralizado (1970-1979) .....	23
2.2.4. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (1980-1997).....	25
2.2.5. Transição (1997-2003).....	29
2.2.6. Pós- racionamento (a partir de 2003).....	31
2.2.6.1. Principais produtos .....	33
2.2.6.2. Balanço Energético Nacional (BEN).....	33
2.2.6.3. Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) .....	34
2.2.6.4. Plano Nacional de Energia (PNE) .....	35
<b>3. ESPAÇOS E TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS .....</b>	<b>36</b>
3.1. Planejamento Energético e Novas Tecnologias .....	36
3.1.1. Curva de Tecnologia .....	38
3.2. Espaço Físico.....	41
3.2.1. Residencial.....	42
3.2.1.1. Internet das Coisas .....	42
3.2.2. Municipal .....	44
3.2.2.1. Geração Distribuída .....	44
3.2.2.2. Baterias .....	48
3.2.2.2.1. Armazenamento de energia .....	50
3.2.2.2.3. Veículos Híbridos e Elétricos .....	51
3.2.3. Estadual.....	53
3.2.3.1. Cogeração .....	53
3.2.4. Nacional .....	55
3.2.4.1. Smart Grids.....	55

3.2.4.2.Energias Renováveis.....	57
3.2.4.3.Eficiência Energética.....	66
3.2.4.4.Tomada de decisão .....	68
3.3. Espaço Temporal.....	68
3.3.1.Modelos de Otimização .....	69
3.3.1.1.Modelos de Otimização de Médio Prazo - Newave .....	72
3.3.1.2.Modelo de Otimização de Curto Prazo – Decomp .....	74
3.3.1.3.Modelos de Otimização Diário – Dessem .....	75
<b>4. ANÁLISE DAS INFLUÊNCIAS DAS TECNOLOGIAS .....</b>	<b>76</b>
4.1. Contexto tecnológico.....	76
4.1.1.Inovação Tecnológica .....	77
4.2. Análise de Espaços Físicos.....	82
4.2.1.Intersecções Tecnológicas .....	83
4.2.1.1.Eficiência Energética.....	83
4.2.1.2.Baterias .....	84
4.2.2.Espaço Nacional .....	85
4.2.2.1.Smart Grid .....	85
4.2.2.2.Energias renováveis.....	87
4.2.3.Espaço Estadual .....	90
4.2.3.1.Cogeração .....	90
4.2.4.Espaço Municipal .....	92
4.2.4.1.Geração Distribuída.....	92
4.2.4.2.Veículos Híbridos e Elétricos .....	94
4.2.5.Setor Residencial .....	95
4.2.5.1.Internet das Coisas.....	95
4.2.6.Considerações Espaços Físico .....	96
4.2.7.Iteração Espaço Temporal .....	97
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>99</b>
5.1. Considerações finais.....	99
5.2. Recomendações para trabalhos futuros .....	100
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A reestruturação do Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro vem sendo implementada de forma mais estruturada desde 2004 com a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e reflete em mudanças que ocorreram em todo o país. Com o avanço das tecnologias, os empreendimentos energéticos, além de fornecer energia para a sociedade, conseguem também auxiliar no aumento da geração de empregos, na maximização de compras, nas contratações locais e nos processos produtivos do país.

Essas modificações do setor intensificaram-se ao longo dos anos. O Brasil é um país abastecido predominantemente por hidrelétricas, mas com as alterações climáticas e as mudanças de legislações ambientais, houve a necessidade de se diversificar a matriz energética e as complexidades do setor aumentaram, fazendo com que o planejamento fosse cada vez mais necessário. Essas transformações do setor fundamentaram-se especialmente na modernização de tecnologias de transmissão, distribuição e geração de energia elétrica.

Observa-se no Brasil, a intenção de se planejar o setor energético, garantir a oferta de energia elétrica futura e a melhoria dos serviços prestados, visando sempre à concepção do desenvolvimento sustentável e a conservação do meio ambiente com a utilização eficiente dos recursos e de fontes renováveis.

Esta dissertação tem como propósito realizar uma análise sobre o planejamento energético brasileiro, considerando a implementação de novas tecnologias para os próximos anos no Brasil. A análise compreende as inovações que já vêm sendo empregadas em outros países e até mesmo no Brasil, além de possibilidades futuras que podem ocasionar um impacto para o setor elétrico. Devido à dificuldade de se ter dados concretos em relação ao consumo de energia ou até mesmo à redução da demanda que essas inovações podem gerar, o dissertação buscou explorar os materiais já publicados sobre o assunto e dividir os cenários energéticos em espaços.

Sendo os espaços classificados em físico e temporal.

O espaço físico foi subdividido em:

- a) Residencial;
- b) Municipal;

- c) Estadual;
- d) Nacional.

E o espaço temporal em modelos de otimização de:

- a) Médio Prazo;
- b) Curto Prazo;
- c) Diário.

Para uma melhor compreensão, esta dissertação faz uma abordagem sobre a reestruturação que deve ser necessária para o setor elétrico no Brasil e projeções futuras devido às modificações tecnológicas que podem ocorrer no setor nos próximos anos.

## **1.1. Objetivos**

Os tópicos 1.1.1 e 1.1.2 descrevem, respectivamente, o objetivo geral da dissertação e os objetivos específicos.

### **1.1.1. Objetivo Geral**

A dissertação em questão analisa o contexto histórico do planejamento energético brasileiro, além de pesquisas associadas a considerações futuras sobre o tema, como inovação, os avanços das tecnologias, energias renováveis e o uso racional da energia.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

O planejamento energético caracteriza-se por ser estratégico e sua elaboração é realizada de maneira complexa, além disso orienta as tendências do setor e baliza as alternativas de expansão para as próximas décadas. Logo, durante o desenvolvimento da dissertação, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar um estudo bibliográfico sobre a história do planejamento energético brasileiro com uma abordagem desde o surgimento das primeiras usinas hidrelétricas brasileiras até o contexto atual em que a Empresa de Pesquisa Energética passou a implementar o planejamento do setor;
- Apresentar as novas tecnologias que podem ser aplicadas ao setor separadas, considerando o espaço físico em que mais influenciam, além dos modelos de otimização aplicados para os períodos de médio e curto prazos e diário;

- Descrever como as novas tecnologias e serviços de inovação interagem nos espaços físico e temporal e como estas modificações afetam a oferta e demanda de energia nos próximos anos ao se intensificar o seu uso pela população, ou ao se criar mecanismos para melhoria na infraestrutura da rede, uso de fontes renováveis e medidas de eficiências energética;
- Apresentar soluções e possibilidades de trabalhos futuros que podem contribuir com o planejamento do setor elétrico.

## 1.2. Justificativa

A proeminência do estudo fundamenta-se em analisar o histórico do planejamento energético brasileiro e considerações futuras, principalmente devido ao avanço das tecnologias e das constantes mudanças que impactam diretamente o setor.

A preocupação sobre a utilização dos recursos naturais nos últimos anos tem se tornado muito frequente. O governo e a população brasileira estão buscando cada vez mais o desenvolvimento sustentável e a utilização correta dos recursos e das fontes para a geração de energia.

O sistema energético é dinâmico e opera com constantes oscilações, sendo que alguns órgãos são os responsáveis pelas tomadas de decisão do setor. A energia atua em todos os setores produtivos do país, desde o agronegócio até o setor automobilístico, portanto as decisões realizadas nesse setor conseguem influenciar toda a cadeia produtiva do país. Desta forma, é fundamental que os recursos sejam alocados e utilizados de maneira correta para que o ambiente seja preservado e o desenvolvimento ocorra de maneira sustentável.

Logo, o planejamento futuro é tão relevante para o setor devido à imensa consequência que sua ausência pode ocasionar. Além disso, é necessário também que todos os outros setores produtivos do país e até mesmo as concessionárias de energia consigam projetar o quanto de energia será utilizado e se esses recursos estarão disponíveis para que a manutenção no processo produtivo aconteça, além das residências serem abastecidas. Para o aquecimento da economia é fundamental que se tenha energia disponível e para isso é necessário projetar se deve ou não ter a criação de novas usinas ou a exploração de novas fontes de energia. Por meio dos relatórios de planejamento energético futuro, que são disponibilizados pela EPE, é possível que as concessionárias, indústrias, o setor agropecuário

e outros setores produtivos do Brasil estabeleçam estratégias em relação ao uso da energia e determinem como serão alocados os recursos nos próximos anos. As novas tecnologias relacionadas ao consumo ou redução de energia repercutem totalmente neste planejamento.

Assim sendo, o estudo em questão, além de apresentar o panorama do planejamento energético brasileiro, proporcionará uma análise dessas mudanças caso sejam implementadas no futuro. E para a comunidade acadêmica, o estudo servirá como referência no histórico do planejamento energético e nas tecnologias e inovações que estarão presentes no futuro.

### **1.3. Metodologia**

Para a realização desta dissertação, foi realizado um levantamento bibliográfico do referido tema, pois no Brasil ainda há poucos investimentos para a modernização da rede, das linhas de transmissão, do uso de baterias, como também de uma política de incentivos para a produção de energia em locais remotos, como já acontecem em outros países como Alemanha, Estados Unidos e a sua abordagem em projeções futuras.

Baseado nestes materiais, os objetivos da dissertação foram definidos e a revisão da literatura foi explorada, focada principalmente no histórico do setor desde 1883 e toda sua transição até os dias atuais. Em seguida, foram desenvolvidas as influências dos espaços temporal e físico na história do planejamento energético, e estes estudos foram utilizados para a análise do setor e suas interações, além de contribuir para a explicação do objetivo geral e dos objetivos específicos, descritos no item 1.1.

### **1.4. Estrutura do Trabalho**

A dissertação fundamenta-se em 06 capítulos, de acordo com as seguintes descrições:

**Capítulo 1 – Considerações Iniciais** – Será abordado uma introdução em relação ao tema Planejamento Energético Brasileiro, o objetivo geral e os específicos, a inserção e a motivação do tema.

**Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica** – É constituído dos conceitos relacionados à história do Planejamento Energético Brasileiro desde o período Pré-Canabira, passando por todas as fases até o período que se tem atualmente em que os estudos são coordenados pela EPE, construindo-se diante disso um embasamento teórico fundamental ao andamento e compreensão do estudo.

**Capítulo 3 – *Cenários Energéticos*** – Será classificado os espaços energéticos nos âmbitos nacional, estadual e municipal, além do setor residencial e o Espaço Temporal (Modelos de Otimização de Médio Prazo, Curto e Diário), sendo descritas as novas tecnologias que mais influenciam em cada espaço e o que proporcionam a cada setor.

**Capítulo 4 – *Iteração das Tecnologias*** – Apresenta as análises dos cenários contemplados no estudo com suas subdivisões, além das mudanças que devem ser consideradas no setor com o avanço das tecnologias.

**Capítulo 5 – *Método de Pesquisa*** – Descreve os métodos utilizados para nortear a pesquisa e as análises que foram realizadas.

**Capítulo 6 – *Considerações Finais*** – Encontram-se a conclusão da dissertação e sugestões de trabalhos para serem realizados no futuro.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Planejamento Energético**

Chiavenato (2004) afirma que a determinação dos objetivos que se quer atingir e os modos como alcançá-los são determinados através do planejamento. Para Maximiano (2004), o planejamento é um processo constante e dinâmico, em que as suas ações possibilitam se preparar melhor para eventos futuros, além de se antecipar as mudanças. Sendo o resultado do planejamento a elaboração de planos, através do processamento de dados.

A importância do planejamento energético se dá principalmente devido à concepção do desenvolvimento sustentável, em que objetiva a preservação do meio ambiente, utilizando fontes renováveis como fontes de energia, para continuidade do suprimento das presentes e futuras gerações. Devido a este grau de utilidade, o planejamento do setor elétrico é fundamental para as tomadas de decisão futuras e também para a preparação de políticas energéticas sustentáveis, além de auxiliar na resolução de conflitos da oferta e demanda de energia, do meio ambiente e da economia (SILVA e BERMANN, 2002).

Tolmasquim et al. (2005) complementa que para se assegurar o abastecimento e suprimento do setor elétrico, se faz necessário o planejamento, sendo que a sua inexistência ocasiona fortes consequências a todos os setores, como aumento dos custos, ausência de qualidade no serviço prestado, capacidades instaladas ociosas, entre outros prejuízos.

Segundo Vila (2014), através do Planejamento Energético é possível se elaborar políticas públicas e diretrizes para todos os setores do país, principalmente promovendo o uso racional das fontes energéticas, levando-se em consideração políticas ambientais e socioeconômicas.

A energia está relacionada a todos os setores produtivos do país, logo as decisões tomadas no setor elétrico impactam diretamente nos outros, fazendo-se necessários critérios de avaliações específicos, principalmente devido ao setor elétrico requerer altos investimentos em longo prazo, portanto o planejamento energético é essencial (BAJAY, 1989a).

Bajay (2013) ainda adiciona que as maiores chances de êxito na implantação de um plano energético estão relacionadas às autonomias política e econômica do espaço em questão analisado, além do planejamento precisar de constantes atualizações e correções ao longo do tempo, devendo ser um procedimento contínuo, não apenas estando finalizado com a

preparação de um plano e de suas metas para o abastecimento energético, ou medidas de eficiência e investimentos para o setor. Por se tratar de um setor dinâmico, é ideal que se façam sempre correções.

## 2.2. História do Planejamento no Brasil

Segundo Bajay (2001), o planejamento do setor elétrico brasileiro é realizado desde a década de 70. Ao longo dos anos, houve diversas alterações e evoluções neste contexto, sendo que a história do planejamento do setor elétrico pode ser dividida em seis fases, comentadas a seguir conforme Figura 1 :



Figura 1 – História do Planejamento Energético

Fonte: Elaborado pela autora

### 2.2.1. Pré-Canambra (1883-1962)

Anterior à década de 70, o período foi caracterizado como Pré-Canambra e marcado principalmente por alguns acontecimentos, como a criação do Código de águas estabelecido pelo Decreto Federal 24.643, de 10 de julho de 1934, onde nos seus artigos 1º e 2º têm-se:

Art. 1º As águas públicas podem ser de uso comum ou dominicais.

Art. 2º São águas públicas de uso comum:

- a) os mares territoriais, nos mesmos incluídos os golfos, bahias, enseadas e portos;
- b) as correntes, canais, lagos e lagoas navegáveis ou fluviáveis;
- c) as correntes de que se façam estas águas;
- d) as fontes e reservatórios públicos;
- e) as nascentes quando forem de tal modo consideráveis que, por si só, constituam o "caput fluminis";
- f) os braços de quaisquer correntes públicas, desde que os mesmos influam na navegabilidade ou fluviabilidade. (BRASIL, Decreto nº 24.643, 1934).

De acordo com Magalhães (2000), a primeira usina hidrelétrica no Brasil foi idealizada neste período em Juiz de Fora (MG) por Bernardo Mascarenhas, industrial têxtil, em 1889, sendo nomeada de Marmelos – 0.

Neste período, também houve a criação de empresas estaduais e federais como: Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig (1952), Furnas Centrais Elétricas S/A.

(1957), Ministério de Minas e Energia – MME (1960) (FREITAS; SOITO, 2014).

Segundo o Art.5º da lei 3.782, de 22 de julho de 1960, “É criado o Ministério de Minas e Energia, que terá a seu cargo o estudo e despacho de todos os assuntos relativos à produção mineral e energia.” (BRASIL, Lei nº 3.782, 1960).

Alguns anos depois, através da Lei nº 8.028 de 12 de abril de 1990, de acordo com o Art.27º, foi extinto o Ministério de Minas e Energia, sendo as atribuições transferidas ao Ministério da Infraestrutura criado nesta lei. Em 1992, o MME voltou a ser criado pela Lei nº 8.422, em 13 de maio, tendo como principais competências:

Art. 6º - Os assuntos que constituem área de competência de cada ministério criado por esta lei são os seguintes:

I - Ministério de Minas e Energia:

- a) geologia, recursos minerais e energéticos;
- b) regime hidrológico e fonte de energia hidráulica;
- c) mineração e metalurgia;
- d) indústria do petróleo e de energia elétrica, inclusive nuclear; (BRASIL, Lei nº 8.422, 1992).

Finalizando o período Pré Canambra, temos a criação das Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás em 1962, constituída como empresa *holding* do governo federal, auxiliando nas decisões da expansão da oferta de energia elétrica e no progresso do país (FREITAS; SOITO, 2014).

### **2.2.2. Canambra (1962-1970)**

Conforme o Centro da Memória da Eletricidade (2002), em 1962, o Banco Mundial juntamente com autoridades brasileiras, selecionou duas firmas de consultoria canadenses, *Engineering Company* e *G.E. Grippen And Associates*, e uma norte-americana, a *Gibbs and Hill*: estas formaram o consórcio Canambra. O Consórcio Canambra, *Consulting Engineers Ltd*, nome designado devido aos países envolvidos serem Canadá, Estados Unidos da América e Brasil, tinha como finalidade oferecer soluções para os problemas de fornecimento de energia elétrica para as regiões Sudeste e Sul. (GOMES, et al., 2002).

Segundo Mercedes et al. (2015 apud SIQUEIRA, 2001, in ELETROBRÁS, 2001, p. 106), com o funcionamento da Eletrobrás e o consórcio Canambra foi possível se consolidar o planejamento energético no Brasil, além de neste período ter sido realizado o primeiro planejamento integrado de longo prazo e o detalhamento do potencial hidráulico.

Em 1966, a Eletrobrás, através do Relatório Canambra, realizou os primeiros planos

decenais de expansão da oferta de energia elétrica, além dos planos para um período maior que uma década. Através deste, foi possível a determinação de novos locais de transmissão e geração para o abastecimento da população, em que se apresentava um grande aumento no consumo de energia para aquela época (QUEIROZ, 2014).

Através da consolidação dos trabalhos realizados com os recursos do Banco Mundial no Relatório Canambra em 1966, diante da coparticipação de técnicos de empresas brasileiras de energia elétrica, foi possível se ter resultados significativos do planejamento elétrico integrado no Brasil (CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2002).

Gomes et al. (2002) afirma que o Relatório Canambra contribuiu com importantes informações para o planejamento energético brasileiro e para os planos de desenvolvimento econômico do país na época.

### **2.2.3. Planejamento Centralizado (1970-1979)**

Até 1970, as pesquisas do setor elétrico visavam sanar problemas de manutenção de equipamentos e de instrumentos de medição, sendo estes realizados pelos laboratórios das universidades como de Itajubá, São Paulo e Rio de Janeiro e por centros de estudos em algumas concessionárias de energia elétrica (SOITO, 2011).

No dia 26 de abril de 1973, em Brasília, foi assinado o Tratado de Itaipu pelo Brasil e o Paraguai, juntamente com três anexos (A, B e C), de acordo com a Lei nº 5.899, de 5 de julho de 1973:

Art 3º A totalidade dos serviços de eletricidade da ITAIPU, Usina de base, que, pelo Tratado celebrado em 26 de abril de 1973, com a República do Paraguai, para o aproveitamento hidrelétrico do trecho do Rio Paraná entre o Salto Grande de Sete Quedas ou Salto de Guaíra e a Foz do Rio Iguazu, o Brasil se obrigou a adquirir, será utilizado pelas empresas concessionárias, nas cotas que lhes forem destinadas pelo Poder Concedente. (BRASIL, Lei nº 5.899, 1973).

Segundo Leite (2007), nesta época o MME apresentava um programa de obras executado pelo consórcio CANAMBRA que atendia a construção de usinas de menor porte no país. Diante da assinatura do Tratado de Itaipu em 1973, houve a necessidade de se rever o planejamento e a estrutura do mercado elétrico brasileiro. Kligermann (2009) complementa que as atividades de planejamento energético no Brasil deram início imediatamente após o tratado, sendo que nesta época também foram construídas grande parte das interligações de transmissão nas regiões do Brasil, e de usinas hidrelétricas.

A Usina Hidrelétrica de Itaipu foi devidamente instalada em 17 de Maio de 1974, sendo a Eletrobrás e a *Administración Nacional de Electricidad* (Ande), responsáveis pelos serviços de energia elétrica. Itaipu é considerada a maior Usina Hidrelétrica do mundo, sendo os custos totais orçados para sua instalação em 10,3 bilhões de dólares. Com o crescimento do mercado e dos rumos tomados com os planos regionais, houve a necessidade de ser realizada a interligação dos sistemas, sendo esta de extrema importância para as atividades de planejamento do setor na época. A interligação ocasionou em uma nova solução para os problemas de unificação de frequência, pois até a década de 60 eram utilizadas frequências de 50 e 60 Hz. Com a união dos sistemas, foi adotado um plano nacional padrão, em que as concessionárias executaram planos para a conversão dos sistemas para 60 Hz. Esta conversão auxiliou nos problemas de frequência que eram ocasionados em Itaipu, em que nove geradores para o sistema elétrico brasileiro foram modificados para 60 Hz e os nove geradores do sistema Paraguai para 50 Hz (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 1988).

O Centro de Memória da Eletricidade afirma que:

A expansão dos sistemas interligados na década de 1970 assegurou, entre outras vantagens, melhor utilização da capacidade de geração instalada, o aproveitamento da diversidade hidrológica existente, entre bacias e regiões e melhor qualidade de serviço, por meio de menores variações da frequência, maior controle dos níveis de tensão e auxílio em emergências (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 1988, p.212).

A Eletrobrás teve grande destaque na ampliação das atividades de energia elétrica para o Brasil. Em dezembro de 1973, a Eletrobrás apresentou ao MME três relatórios contendo planos para o setor elétrico, sendo estes: *Revisão do Balanço Energético 1973-1981* em que continha o cronograma das obras de geração para a região Sudeste, um segundo com uma *Análise Complementar do programa de expansão da capacidade geradora* para a região Sul e por último um *Plano de Expansão das instalações de Transmissão 1974-1981* em que contemplavam as duas regiões. Através destes trabalhos, os planos regionais elaborados pelo consórcio CANAMBRA foram encerrados (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2002).

No final de 1974, em 16 de dezembro, foi elaborada a Lei nº 6.189, em que segundo o artigo 1º:

Art 1º A União exercerá o monopólio de que trata o artigo 1º, da Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962:

I - Por meio da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, como órgão superior de orientação, planejamento, supervisão, fiscalização e de pesquisa científica.

II - Por meio das Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima - NUCLEBRÁS e de suas subsidiárias, como órgãos de execução. (BRASIL, Lei nº 6.189, 1974).

Tendo esta, o monopólio das atividades nucleares no Brasil, como a implantação de projetos de centrais nucleares, pesquisas na área, além da produção de Urânio concentrado e componentes para instalações nucleares, e o comércio de materiais nucleares (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2002).

Ainda em 1974, foi realizado pela Eletrobrás um plano da expansão do setor elétrico, nomeado de Plano 90, realizado para as regiões Sul e Sudeste do Brasil com previsões até o ano de 1990, em que foram pela primeira vez estudados dois planos do sistema interligado. Após a ligação dos sistemas elétricos em 1977, outro *Plano Nacional de Atendimento aos Requisitos de Energia Elétrica* foi elaborado para um período até 1992, conhecido como Plano 92, sendo este o predecessor dos planos nacionais de energia elétrica. Adiante, em 1978, a Eletrobrás coordenou quinze estudos especiais que foram considerados notáveis para o início do planejamento integrado do setor. Finalizando o período do Planejamento Centralizado em 1979, a Eletrobrás divulgou o Plano 95 para um horizonte até 1995, apresentando neste, pela primeira vez, os projetos em construção e as propostas futuras para o setor elétrico (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 1988).

#### **2.2.4. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos - GCPS (1980-1997)**

Este período foi marcado por grandes acontecimentos no país. Em 1983 foi criada a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas (ONU), que era presidida por *Gro Harlem Brundtland e Mansour Khalid*. Esta comissão tinha como objetivos sugerir estratégias com foco no desenvolvimento sustentável a longo prazo, solucionar questões ambientais entre os países, priorizando as melhorias no meio ambiente. Em 1987, o relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) foi apresentado à Assembleia da ONU, sendo bastante conhecido como Relatório *Brundtland*, em que já continha dados sobre o aquecimento do planeta, ameaças na camada de ozônio da Terra. No relatório, constam estratégias e metas a serem seguidas em nível internacional. Esta foi a primeira tentativa da época em se criar a conscientização sobre o desenvolvimento

sustentável, em que o crescimento econômico priorizava também questões ambientais e sociais (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988). O relatório complementa que “Para haver um desenvolvimento sustentável é preciso minimizar os impactos adversos sobre a qualidade do ar, da água e de outros elementos naturais, a fim de manter a integridade global do ecossistema”.

Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas. (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, p.49).

Segundo Basso e Verdum (2006), com a Lei Federal nº 6.938 e o Decreto nº 99.351, ambos em 1983, foi possível se estabelecer diretrizes para a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Essa lei foi substituída em 1989 pela Lei Federal nº 7.804 e pelo Decreto nº 99.274 em 1990. Apesar da substituição em 89/90 e algumas modificações, o PNMA instituiu, através da resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 001, em 23 de Janeiro de 1986, a criação da Avaliação de Impacto Ambiental (Aia), do Estudo de Impacto Ambiental (Eia) e o Relatório de Impacto Ambiental (Rima). Nesta época houve um aumento das preocupações ambientais, através da criação de leis específicas. Estes instrumentos objetivavam definir procedimentos para se avaliar os impactos ambientais, examiná-los, propondo soluções e apresentando os resultados desses estudos, sendo todos estes instrumentos gerados de forma imparcial. De acordo com o art. 5º da Resolução do CONAMA nº 001/86:

Artigo 5º - O estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos expressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá às seguintes diretrizes gerais:

- I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;
- II - Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;
- III - Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;
- IV - Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade. (BRASIL, CONAMA nº 001/86, 1986).

De acordo com Mercedes et al. (2015), com a redução das taxas de crescimento na década de 80, houve um retorno da economia neoliberal, e com reformas estruturais nos

países da América Latina, surgiu a necessidade de modificar o planejamento do setor elétrico, que até então era um planejamento centralizado. Visando-se estudos mais amplos e o envolvimento das empresas estaduais, foi criado em 1980 o Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), mas apenas em 1982, que o MME conforme a Portaria nº 1.617, em 23 de novembro, reconheceu o órgão:

O Ministro de Estado das Minas e Energia, no uso de suas atribuições e tendo em conta que a atividade de planejamento da expansão dos sistemas elétricos vem se tornando cada vez mais complexa, RESOLVE:

Art. 1º Criar um Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos - GCPS, de âmbito nacional, tendo por finalidades estudar alternativas de desenvolvimento dos sistemas elétricos dos concessionários do respectivo serviço público e elaborar e apresentar pareceres e proposições no sentido de ajustar os programas de expansão dos mesmos, entre si e às diretrizes fixadas pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS, assegurando sua compatibilidade com a política energética governamental (BRASIL, Portaria nº 1.617, 1982).

De acordo com Gonçalves (2008), o GCPS objetivava promover estudos para a expansão do setor elétrico nacional nos períodos de curto, médio e longo prazos, sendo este o principal órgão que realizava os estudos, além da elaboração de planos em que eram utilizados alguns aspectos já observados para o país, desde o consórcio CANAMBRA, para o planejamento da expansão, tais como:

- I) Uma organização institucional em que requer participação de agentes públicos e privados distintos, devido sua extensão territorial e diferenças regionais;
- II) Grandes reservatórios com regularização plurianual, sendo o sistema hidrelétrico dominante no país;
- III) As usinas são afastadas dos grandes centros de consumo, sendo necessários sistemas de transmissão com distâncias maiores;
- IV) Facilidade para o aproveitamento hidrológico, utilizando-se conexões inter-regionais;
- V) Potenciais de exploração da geração de energia através de termoeletricas.

Através da coordenação da Eletrobrás, foi possível se avançar no quesito técnico e se ter uma equipe mais especializada e competente para a realização do planejamento energético e para operacionalização do sistema elétrico nacional. (RODRIGUES, 2015).

Em 1986, a Eletrobrás divulgou o Plano Nacional de Energia Elétrica 1987-2010, conhecido como Plano 2010. Devido a algumas restrições na época, o quesito econômico-

financeiro foi um dos mais importantes considerados no Plano. Além disso, o Plano incluiu usinas termoeletricas, reinsereu as usinas nucleares já mencionadas no Plano 90, adicionou os recursos hídricos da Amazônia. Com a nova lei, foram introduzidos no Plano a Avaliação de Impacto Ambiental (Aia), Estudo de Impacto Ambiental (Eia) e o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), mas apenas em 1988 é que o Plano foi aprovado, sendo este adotado como uma medida de apoio ao mercado de energia elétrica (MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2002).

Quando o GCPS foi criado, o mesmo foi responsável por realizar planos de longo prazo, como os Planos Decenais de Expansão, em que foram primeiramente para as áreas de geração e transmissão e em seguida para a distribuição de energia elétrica, também auxiliou nas mudanças da metodologia do planejamento que foram desenvolvidas pelas empresas e pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel). O primeiro plano, visando um cenário para o período de dez anos, foi o Plano de Expansão 1990-99, em que apresentava algumas divergências em relação ao Plano 2010, como em relação às projeções do Produto Interno Bruto (PIB) e do crescimento dos sistemas. Devido a alguns problemas econômicos na época, o Plano 2010 teve seus cronogramas alterados, a fim de se regular a oferta com o mercado de energia. Apesar das alterações, foi um dos primeiros a diminuir as inseguranças no planejamento a longo prazo (MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2002).

Como acontecimentos marcantes ainda no período do GCPS, temos no final de 1996, a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro, que objetiva regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica no país, de acordo com as políticas e diretrizes do governo federal. (BRASIL, LEI Nº 9.427, 1996).

Finalizando o período, temos a aprovação da Lei nº 9.433, em 8 de janeiro de 1997, conhecida como “Lei das Águas”, no qual o artigo 1º diz:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (BRASIL, Lei nº 9.433, 1997).

O GCPS foi responsável pelo planejamento do setor elétrico até que foi sucedido pelo Comitê Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos (CCPE) (MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2002).

Além disso, o período foi marcado também pela criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 30 de dezembro de 1985, que é um programa coordenado pelo MME e executado pela Eletrobrás que tem como objetivo promover o uso racional da energia elétrica, evitando-se desperdícios e criando ações em diversos segmentos econômicos do país, que auxiliem a eficiência energética, redução de impactos ambientais, o consumo eficiente dos recursos energéticos e proporcionando um desenvolvimento sustentável.

### **2.2.5. Transição (1997-2003)**

O período de transição foi marcado por diversos ajustes no modelo regulatório brasileiro e com a criação de órgãos para fiscalizar, regular, controlar e realizar estudos para o setor elétrico. Em 1997, segundo a Lei nº 9.478 de 6 de agosto, foi criado o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), sendo este vinculado à Presidência da República e presidido pelo MME, que objetiva proteger os interesses dos consumidores em relação ao preço, oferta dos produtos, qualidade do serviço e proteção do meio ambiente, propor soluções para o abastecimento de energia elétrica e de derivados do petróleo, através do planejamento de longo, médio e curto prazos, podendo definir as prioridades das implementações dos projetos devido ao seu caráter estratégico, e visando à confiabilidade do sistema, além de assegurar o suprimento de todo o Brasil, e de áreas remotas ou de difícil acesso. A CNPE também é responsável por elaborar políticas e diretrizes para o uso racional da energia no país e definir estratégias para o desenvolvimento tecnológico do setor.

Segundo a Lei nº 9.648, em 27 de maio de 1998, foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), diante da fiscalização da ANEEL, com a função de coordenar e controlar a operação das instalações de geração e transmissão de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), elaborar estudos para se gerenciar o estoque de energia e garantir a continuidade e segurança do suprimento no Brasil.

O planejamento do setor elétrico foi realizado pela GCPS e coordenado pela

Eletrobrás desde a década de 80, mas em 10 de maio de 1999, as suas atribuições passaram a ser exercidas pelo Ministério de Minas e Energia, MME, que criou o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), através do art. 1º da Portaria nº 150:

Art. 1º Criar o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos - CCPE, com a atribuição de coordenar a elaboração do planejamento da expansão dos sistemas elétricos brasileiros, de caráter indicativo para a geração, consubstanciado nos Planos Decenais de Expansão e nos Planos Nacionais de Energia Elétrica de longo prazo, a partir do ciclo anual de planejamento 1999, correspondente ao horizonte decenal 2000/2009 (BRASIL, Portaria nº 150, 1999).

De acordo com Mercedes (2002), com o novo órgão para a realização do planejamento energético, houve algumas mudanças em relação ao modelo que era adotado. Antes se tinha um planejamento liberalizado em que as informações eram comunicadas por todos os agentes, apresentando um caráter normativo. No novo modelo, com a CCPE, as informações passaram a ser utilizadas estrategicamente, apresentando um caráter indicativo, pois neste caso, os agentes, através dos critérios técnicos e econômicos, decidiam o que era benéfico a eles empreender. Portanto, iniciou-se uma tarefa política de se ter um planejamento mínimo para se prestar serviços públicos.

Para Bajay (2001), o planejamento indicativo busca fornecer ao mercado um modelo de referência para a expansão setorial, através de um planejamento estratégico com maior confiabilidade, em que se tem um banco de dados atualizados com os custos de diversos tipos de obras de geração e transmissão, viabilidades de usinas e estudos de inventário. Sendo este modelo de planejamento divergente do determinativo, em que se busca obter estimativas mais precisas dos custos de projetos futuros.

Ainda no período de transição, houve a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), através da Lei 9.984 de 17 de Julho de 2000, em que incumbe ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos a realização do planejamento dos recursos hídricos em todo o país de maneira regional, estadual, entre outros de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, Lei nº 9.984, 2000).

Apesar de o ONS ter sido criado buscando-se auxiliar o sistema elétrico nos estudos dos sistemas de geração e transmissão e no despacho das usinas, o mesmo até 2001 não chegou a realizar mudanças. Embora o órgão apresentasse conhecimento dos problemas na época, nenhuma medida foi realizada visando à solução dos problemas ou inibindo-os (MERCEDDES et.al., 2015).

Através dos diversos problemas ocasionados na época, tais como: falta de investimentos em capacidade instalada e o deplecionamento dos reservatórios, a ausência de modelos regulatórios, além de abusos por parte das concessionárias em relação ao aumento das tarifas, entre outros fatores, em que não foram sanados pelos órgãos criados no período, os mesmos contribuíram para o racionamento de energia em 2001 e um elevado número de blecautes (MERCEDES, 2012).

### **2.2.6. Pós- racionamento (a partir de 2003)**

Na década de 90, o planejamento setorial era realizado pelas forças de mercado, que tinham a percepção de que através de seus investimentos e interesses particulares, seriam capazes de estabelecer políticas e diretrizes para o setor em longo prazo. Devido aos resultados não serem satisfatórios, após o racionamento de energia em 2001, reconheceu-se a necessidade de uma reformulação institucional do setor elétrico, em que visava restaurar o planejamento do setor que estava interrompido (TOLMASQUIM, 2016).

Durante o período entre 2001 e 2002, em que houve o racionamento de energia no Brasil, constatou-se certa vulnerabilidade na autorregulação do mercado, sendo necessário o comprometimento do estado e a inserção social da população, visando à expansão do setor e a modificação em seu planejamento (MARTINS, 2010).

No ano de 2004, foi apresentado um novo modelo para o setor elétrico brasileiro com a criação da Lei nº 10.847 e o Decreto nº 5.184. De acordo com a Lei 10.847 de 15 de março de 2004:

Art. 1º Fica o Poder Executivo autorizado a criar empresa pública, na forma definida no inciso II do art.5º do Decreto-Lei nº 200, de 25 de fevereiro de 1967, e no art. 5º do Decreto-Lei nº 900, de 29 de setembro de 1969, denominada Empresa de Pesquisa Energética - EPE, vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

Art. 2º A Empresa de Pesquisa Energética - EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras (BRASIL, Lei nº 10.847, 2004).

Na lei de criação da EPE, foram descritas 18 competências ao órgão das quais se podem destacar quatro:

Art. 4º Compete à EPE:

I - realizar estudos e projeções da matriz energética brasileira;

III - identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos;

- VII - elaborar estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos;
- IX - promover estudos de mercado visando definir cenários de demanda e oferta de petróleo, seus derivados e produtos petroquímicos (BRASIL, Lei nº 10.847, 2004).

Através do Decreto nº 5.184 de 16 de agosto de 2004, são adicionados no Art. 6º algumas atribuições a serem desempenhadas pela EPE:

- I - promover acordo operacional com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, com a finalidade de receber elementos e subsídios necessários ao desenvolvimento das atividades relativas ao planejamento do setor elétrico;
- II - manter intercâmbio de dados e informações com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Agência Nacional de Águas - ANA, Agência Nacional do Petróleo - ANP e com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, observada a regulamentação específica quanto à guarda e ao sigilo de tais dados;
- III - participar do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE, conforme regulamentação específica;
- IV - calcular a garantia física dos empreendimentos de geração;
- V - submeter ao Ministério de Minas e Energia a relação de empreendimentos de geração e correspondentes estimativas de custos, que integrarão, a título de referência, os leilões de energia de que trata o art. 12 do Decreto no 5.163, de 30 de julho de 2004, bem como, quando for o caso, a destinação da energia elétrica dos empreendimentos hidrelétricos habilitados a tomar parte nesses leilões;
- VI - habilitar tecnicamente e cadastrar os empreendimentos de geração que poderão ser incluídos nos leilões de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos, de que trata o inciso II do § 5º do art. 2º da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004; e
- VII - calcular o custo marginal de referência que constará dos leilões de compra de energia previstos na Lei no 10.848, de 2004 (BRASIL, Decreto nº 5.184, 2004).

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2011-2020, nos anos 1990, o Brasil havia perdido a capacidade de planejamento do setor elétrico devido às reformas liberais. Com a criação da EPE em 2004, o Brasil teve esta capacidade retomada.

A criação da EPE fez-se necessária principalmente devido ao acréscimo da participação privada no setor elétrico que deu início em 1995, pois o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) era constituído em Comitês Técnicos coordenados por profissionais de entidades empresariais, que visavam muitas vezes interesses próprios ligados ao setor, tendo muitas vezes a ausência do princípio de neutralidade. Com a finalidade de se conservar a isenção e os interesses da comunidade, elaborou-se a proposta de criação da EPE (PNE, 2030).

Para Tolmasquim (2016):

O Novo Modelo foi concebido como uma importante reestruturação do planejamento da expansão, com uma abordagem ampla e integrada, de modo a conciliar estrategicamente pesquisa, exploração, uso e desenvolvimento dos insumos e recursos energéticos, dentro de uma política nacional ajustada às diretrizes do governo e às necessidades da sociedade. Foi nesse contexto que a criação da EPE ganhou destaque. A integração de fontes e recursos é a melhor maneira de tratar a questão energética, e, assim, pela primeira

vez na história do Brasil, o planejamento energético ganhou a oportunidade de ser pensado como um todo. Passou-se a tratar em conjunto as diferentes fontes de energia: petróleo, gás natural, biocombustíveis, energia elétrica dentre outros (TOLMASQUIM, 2016, p. 4).

Martins (2010) completa que o principal desafio da EPE é realizar estudos visando à união do uso integrado e sustentável de recursos energéticos, além de elaborar o planejamento do setor, através de um grupo de estudos executados de acordo com algumas etapas tais como: diagnóstico, elaboração de diretrizes e políticas, implantação e monitoramento. Estes dados compõem estratégias e planos de ação para a expansão da oferta de energia a longo prazo, considerando medidas de eficiência energética, fontes renováveis, entre outros.

De acordo com Tolmasquim (2016), com o novo marco regulatório é possível manter o equilíbrio do mercado e a segurança energética, além disso:

O grande desafio passou a ser atender a este princípio dentro de uma lógica de mercado competitivo, onde o planejamento da expansão da geração continuaria a ser indicativo. A solução inovadora estabelecida no novo marco regulatório foi a contratação antecipada da expansão da geração de forma regulada, através de leilões públicos para atender aos consumidores cativos, que correspondem a cerca de 80% do consumo total, e um planejamento que acompanhasse a contratação realizada e a respectiva tendência de evolução tecnológica e econômica (TOLMASQUIM, 2016, p. 13).

### **2.2.6.1.Principais produtos**

A EPE é responsável por desenvolver estudos para o setor energético, em que se pode ressaltar: o Balanço Energético Nacional - BEN, Plano Decenal de Energia - PDE, Plano Nacional de Energia – PNE, Programa de Expansão da Transmissão - PET, estudos de suporte aos Leilões de Contratação de Geração e de Transmissão, Resenha Mensal de Energia Elétrica, Anuário Estatístico de Energia Elétrica, além de outros estudos relacionados ao setor (EPE, 2015).

### **2.2.6.2.Balanço Energético Nacional (BEN)**

Segundo Tolmasquim (2016), o BEN é divulgado desde 1970 pelo MME. Somente a partir de 2005, é que o relatório passou a ser realizado sob a responsabilidade da EPE, de acordo com o artigo 4º da lei 10.847/2004.

Em 2006, a EPE assumiu os estudos relacionados à elaboração e divulgação do relatório. O processo de substituição iniciado em 2005 foi realizado entre a Coordenação do BEN no MME e a Diretoria de Estudos Econômicos e Energéticos da EPE (BEN, 2006).

O BEN apresenta o mais completo e atualizado banco de dados e estatísticas energéticas disponível no Brasil. Estas séries históricas auxiliam nos estudos para cenários futuros do PDE e PNE, além de contribuir com as modificações dos modelos matemáticos para as projeções de consumo de energia e para o cálculo de emissões de gases de efeito estufa consequentes das atividades energéticas (TOLMASQUIM, 2016). A EPE (2015) acrescenta que o documento expõe dados relativos à oferta e ao consumo de energia no Brasil, considerando também atividades e operações em relação aos recursos energéticos primários, às conversões secundárias, além de dados de importação, exportação e distribuição do setor.

### **2.2.6.3.Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)**

O Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE proporciona uma visão da expansão da demanda e oferta para os recursos energéticos por um período de dez anos, sendo os seus relatórios disponibilizados e atualizados anualmente, contemplando assim inovações tecnológicas, cenário econômico, além de outros fatores. Apesar de ser de natureza indicativa, auxilia no planejamento para os próximos anos, sendo balizador para o planejamento da energia do Brasil (TOLMASQUIM, 2016).

O primeiro estudo do PDE foi realizado em 2006 com uma projeção de um horizonte até 2015. O foco do primeiro relatório foi relacionado apenas à expansão da energia elétrica; nos seguintes relatórios é que foi incluído todo o setor energético (TOLMASQUIM, 2016).

A importância do planejamento energético se fundamenta principalmente em relação aos recursos financeiros e ao perfil dos investimentos que devem ser realizados. Com a finalidade de se garantir a expansão da capacidade de geração, empresas e distribuidoras brasileiras negociam energia através de leilões para atender a demanda futura para os próximos três e cinco anos, em que são nomeados de leilões A-3 e A-5 (EPE, 2015).

Conforme Tolmasquim (2016), com as novas modificações do setor elétrico e a introdução dos leilões para a realização da expansão da oferta de energia, a EPE exerce a função de definir tecnicamente as usinas que serão participantes dos leilões, além de realizar estudos para as linhas de transmissão licitadas. Devido ao PDE ser disponibilizado todo ano, não havendo modificações em suas premissas, a energia contratada nos leilões deve ser compatível com a matriz estratégica elaborada pela EPE para o horizonte de dez anos que se encontra no PDE (CASTRO et al., 2012).

#### **2.2.6.4.Plano Nacional de Energia (PNE)**

O PNE é fundamental para se estipular estratégias do planejamento energético brasileiro e auxiliar o mercado e governo em relação às medidas que possam ser tomadas em médio e longo prazos, e definir as demandas energéticas do país (TOLMASQUIM, 2016).

A EPE apresentou papel fundamental para a recuperação do planejamento energético no Brasil. Sendo assim, elaborou em 2007 o primeiro estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos para o cenário nacional de 2030, nomeado de Plano Nacional de Energia – PNE 2030 e o pioneiro no país em domínio do governo (EPE, 2015).

Uma das novidades contempladas no PNE 2030 foi a retomada da energia nuclear no planejamento, sendo um marco brasileiro o seu retorno, visando à expansão da oferta de energia no país e do programa nuclear brasileiro (TOLMASQUIM, 2016).

Apresentando caráter energético e englobando além do setor elétrico, gás natural, petróleo, entre outros; os estudos que compõem o relatório foram realizados em menos de um ano e consideram a participação de elementos da sociedade, fornecendo recursos para uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável visando atender a demanda por um longo prazo, sendo disponibilizados através de meios de comunicação (EPE, 2007).

Segundo Tolmasquim (2016):

A revisão desse plano terá como resultado o PNE 2050. A construção de um estudo dessa magnitude temporal é mais complexa que a do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), atualizado ano a ano. Quanto maior o período de tentar antever o futuro, maior a possibilidade de que, no prazo de tempo analisado, ocorram mudanças estruturais, conjunturais e tecnológicas que podem alterar por completo as projeções feitas. (TOLMASQUIM, 2016, p. 35).

De acordo com Tolmasquim (2016), o relatório do PNE contempla cinco conteúdos que são disponibilizados progressivamente, sendo estes: estudos de macroeconomia, economia setorial, demanda de energia, recursos energéticos e oferta de energia. Estes estudos são unificados e dispostos em audiência pública para sugestões e aprimoramento sempre antes de serem publicados.

### **3. ESPAÇOS E TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS**

As evoluções tecnológicas estão modificando o mundo rapidamente. Algumas tecnologias são capazes de transformar uma sociedade, mudando a vida de todos e ao mesmo tempo impactar milhões de pessoas. A energia solar, por exemplo, possui potencial para concorrer futuramente com os combustíveis fósseis e é capaz de mudar o consumo de energia no mundo. Além disso, já é possível que as pessoas gerem a sua própria energia de modo independente, e com o conceito de internet das coisas se prevê uma revolução tecnológica em todo mundo e que tudo esteja conectado, possibilitando avanços em robótica e inteligência artificial.

Todas estas novas tecnologias podem ser divididas em espaços de acordo com a sua maior influência, podendo estas, pertencerem a mais de um espaço físico e impactar todo o cenário energético brasileiro e o seu planejamento.

#### **3.1. Planejamento Energético e Novas Tecnologias**

No planejamento energético brasileiro, a inserção da eficiência energética e das novas tecnologias influenciam diretamente os estudos de projeção, sendo este um grande desafio aos planejadores. Neste contexto, é possível considerar muitas vezes nos cenários de médio e longo prazo, a diminuição das emissões relacionadas ao uso da energia, redução das perdas nos processos de transmissão de energia elétrica e diminuição da oferta interna de energia do país (GUERREIRO et al., 2009).

Alguns fatores como o crescimento da população e o uso de tecnologias e equipamentos eletrônicos regularmente têm provocado o aumento do consumo de energia elétrica nas últimas décadas. Mas, o principal fator que influencia neste crescimento é o aumento do Produto Interno Bruto (PIB), que está diretamente correlacionado ao aumento do consumo da energia elétrica, visto que para o crescimento econômico e o desenvolvimento do país é preciso um aumento no consumo da energia elétrica. Conforme Figura 2, é possível observar o crescimento do consumo de energia elétrica desde 1970 até 2014. E na Figura 3, é possível verificar a evolução histórica do consumo de energia elétrica no Brasil e do PIB e a projeção para o horizonte 2026, sendo ressaltada a sua evolução desde 1970, além da variação da elasticidade de renda e como estão correlacionados o PIB e o consumo de energia.

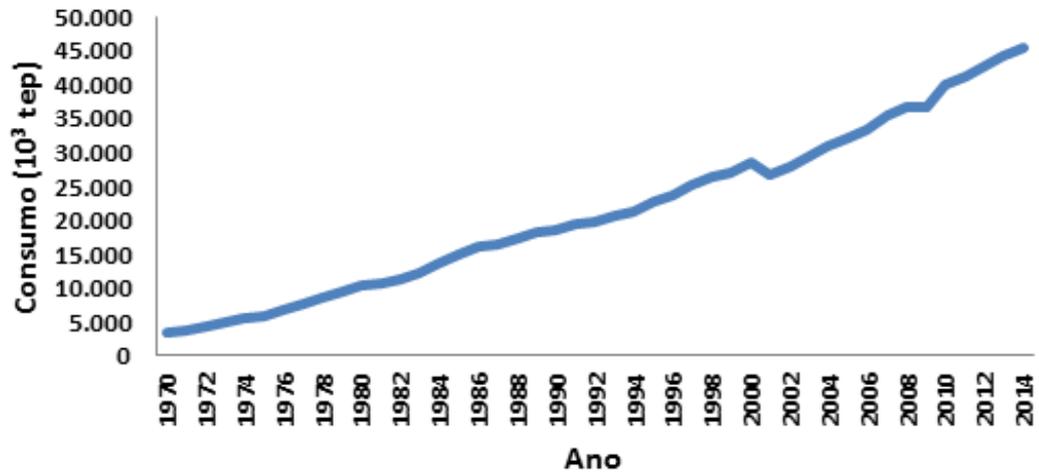
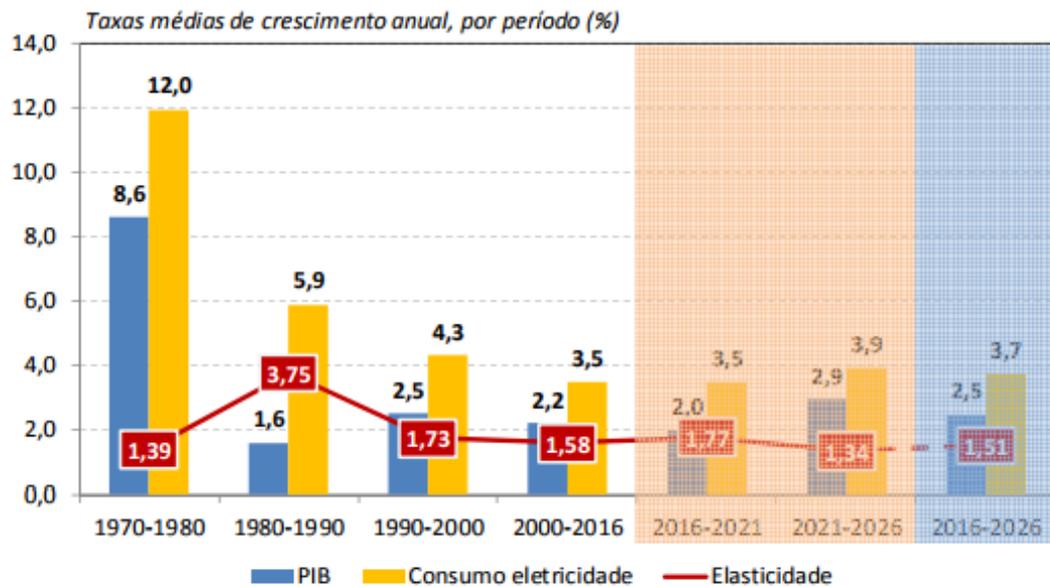


Figura 2 – Consumo de Energia Elétrica

Fonte: Adaptado de Séries Históricas - Balanço Energético Nacional EPE (2016)



(\*) Inclui autoprodução.

Figura 3 – Evolução da elasticidade-renda do consumo de eletricidade (\*)

Fonte: EPE (2017)

Nas prévias dos relatórios PNE 2030 e PNE 2050, é possível observar na abordagem utilizada, estudos que contemplam quesitos da eficiência energética nos estudos da demanda e em estudos da oferta de novas tecnologias. Conforme Figura 4, os relatórios contemplam de uma forma genérica como o avanço das tecnologias irá modificar a estrutura da oferta no país, além das mudanças ocorridas com a inserção de medidas de eficiência energética nos últimos anos.

Para esses horizontes de longo prazo, a eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias têm papel fundamental para o atendimento à demanda futura e à oferta de energia.

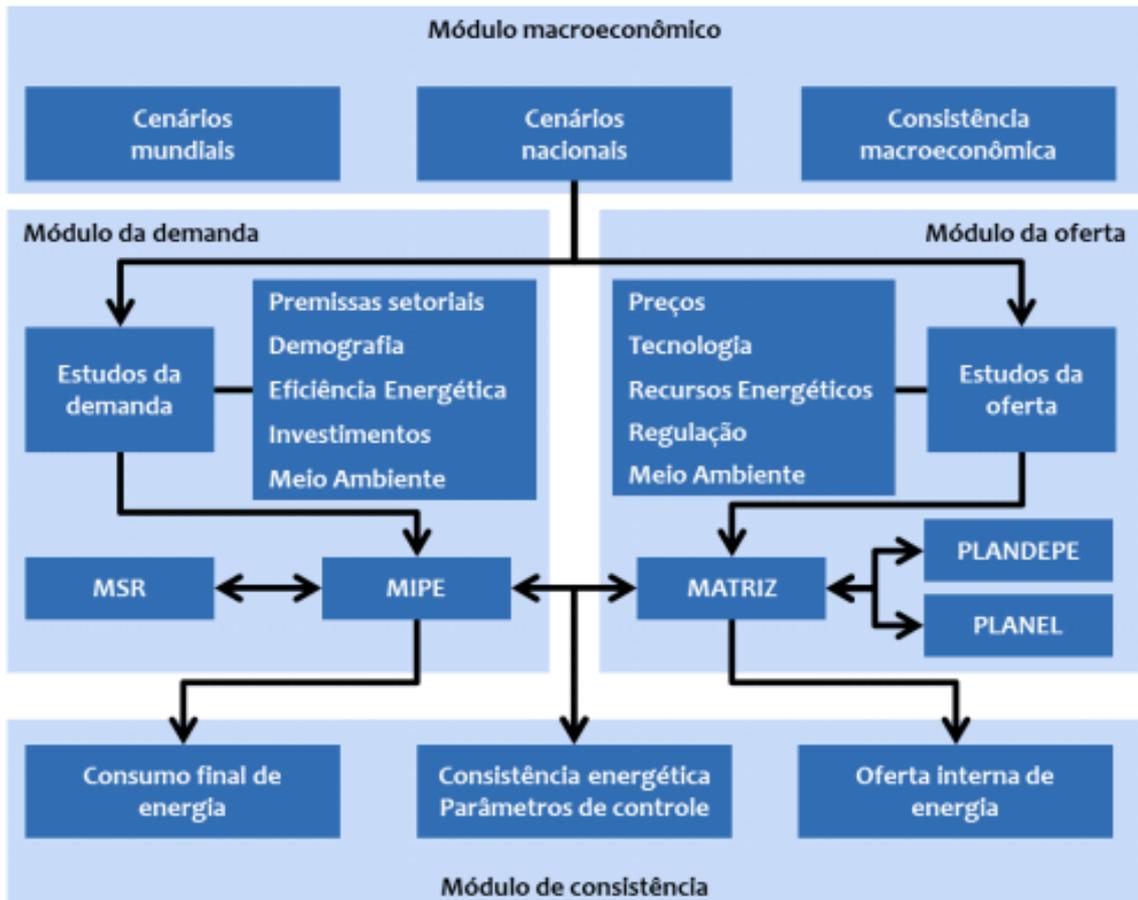


Figura 4 – Visão geral da abordagem metodológica a ser utilizada no PNE 2050

Fonte: Termo de referência - PNE 2050

### 3.1.1. Curva de Tecnologia

Analistas e tomadores de decisão dispõem da curva de aprendizado para determinar a taxa de redução de custo correspondente à experiência de se instalar ou operar uma tecnologia específica e fornecer energia ao longo dos anos. Com as modificações no cenário energético mundial, são fundamentais para o desenvolvimento do setor esses conhecimentos.

Atualmente, conforme Kyriakopoulo e Arabatzis (2016), o modelo mais utilizado para se verificar o custo do emprego de uma tecnologia no setor de energia é a curva de aprendizagem, que é representada por uma equação log-linear entre o custo unitário da

tecnologia e de sua produção acumulada ou capacidade instalada, podendo ser expressa pela equação (1):

$$Y = a.X^b \quad (1)$$

Em que:

$Y$ : é o custo unitário da tecnologia em unidades monetárias R\$;

$X$ : é a produção acumulada, sendo que para tecnologias de geração de energia, representa a capacidade acumulada instalada em (MW) ou até mesmo a energia produzida em (MWh);

$a$ : é a constante do custo unitário da primeira tecnologia produzida em unidades R\$;

$b$ : é o indexador de experiências, sendo também conhecido como a elasticidade de aprendizagem e definindo o declive da curva e sua unidade dada em porcentagem.

Em seguida a equação (1) é linearizada e transformada em uma equação log-linear (2):

$$\log Y = a + b.(\log X) \quad (2)$$

Já a taxa de aprendizado, mais conhecida como “*learning rate*” (LR), é composta pela equação (3):

$$LR = 1 - 2^b \quad (3)$$

E ainda é possível calcular a taxa de progresso conforme equação (4), sendo que parâmetro que expressa a taxa mostra que os custos declinam cada vez que a capacidade ou produção acumulada dobram:

$$PR = 2^b \quad (4)$$

Apesar de estatisticamente os parâmetros apresentarem uma boa correlação, alguns estudos ressaltam que é importante considerar novas abordagens para os processos de mudanças tecnológicas. (Clarke et al, 2006; Gillingham et al, 2008; Ferioli et al, 2009; Nordhaus, 2009). Com as evoluções e pesquisas na área é interessante verificar fatores que não estão implícitos, mas que contribuem para as mudanças tecnológicas e a redução de custos.

De acordo com Yeh e Rubin (2012), a diminuição dos custos relacionados a

experiência adquirida pode ser classificada em três grupos e ocorrer em diversas circunstâncias e momentos, tais como:

- 1 É possível notar melhorias nos processos produtivos, economias, além de ganhos de produtividade ao se ter equipamentos que auxiliam nas atividades executadas e ao aperfeiçoamento do funcionário ao equipamento;
- 2 Reduzir custos com modificações nas características dos produtos como inovações tecnológicas;
- 3 Alterar os preços para a entrada de matéria prima e mão de obra.

Outros fatores também influenciam a curva de aprendizagem, como o aumento da demanda, incentivos políticos, investimentos em pesquisas, além do aumento do desempenho da tecnologia que com o passar do tempo, faz com que o seu manuseio passa a operar de maneira mais eficiente.

Para esse fim, uma variedade de modelos de aprendizagem multifator tem sido desenvolvida através de investimentos em pesquisas e desenvolvimento, melhorias em eficiência energética, emprego de novas políticas públicas, etc.

Alguns estudos utilizam o modelo multifator por meio de uma curva de aprendizagem de dois fatores em que se verifica a viabilidade de aplicação de tecnologias de energia. Através destes estudos, foram encontrados resultados favoráveis, sendo as tarifas apresentadas mais baixas do que em estudos que utilizam apenas um fator. Além disso, enquanto os modelos de dois fatores fornecem uma descrição mais detalhada dos fatores que afetam o custo de uma determinada tecnologia, no modelo de um fator, esses dados são limitados e não se mostram tão presentes.

No modelo multifator, a curva de aprendizagem de dois fatores apresenta como principais agentes de redução de custo a despesa cumulativa para P & D e a capacidade instalada acumulada ou produção da tecnologia. A equação (2) é expandida e explicitamente inclui o efeito dos gastos de P & D cumulativos como na equação (5):

$$\log Y = \alpha + b_{lbd} \cdot (\log X) + b_{lbr} \cdot (\log R) \quad (5)$$

Em que:

$b_{lbd}$ : parâmetro aprendendo fazendo;

$b_{lbr}$  : parâmetro aprendendo pesquisando;

R: é o acumulado do investimento ou conhecimento em ações;

$\alpha$ : é o custo específico no conhecimento da capacidade e unidade cumulativa;

Y e X têm as mesmas definições da equação (1).

Através de testes com estas formulações, é possível verificar que no modelo de dois fatores, a pesquisa e o desenvolvimento contribuem significativamente para o processo de redução de custos e evolução tecnológica, e muitas vezes apresentam melhor desempenho em relação à curva de um fator. Apesar da pouca elasticidade no modelo de dois fatores, alguns estudos obtêm expressivas correlações entre as despesas acumuladas de P & D e subsequentes reduções de custos. Mesmo com as vantagens do modelo de dois fatores, o método apresenta algumas limitações como incluir apenas gastos públicos e não despesas privadas em pesquisa e desenvolvimento.

Muitos autores como Klaassen et al (2005) associam a taxa de progresso à redução de custos dos produtos utilizados para gerar energia no país. Através dos gastos com P&D, os autores avaliaram que países como Dinamarca, Alemanha e Reino Unido conseguiram reduzir o custo das turbinas utilizadas em parques eólicos, através do incentivo à produção e consumo de energia.

### **3.2. Espaço Físico**

O Brasil vem apresentando um progresso significativo nos últimos anos em relação à utilização de novas tecnologias e ao uso de medidas alternativas para a geração de energia, e também uma grande preocupação em relação ao desenvolvimento sustentável. Além disso, os investimentos em pesquisa científica e produção tecnológica cresceram significativamente. Devido a este avanço no país, o consumo de energia e dos recursos naturais sofreram algumas modificações e consequências devido ao descarte muitas vezes inadequado destes objetos.

O espaço físico do Brasil pode ser subdividido conforme a Figura 5, podendo ser caracterizado através das tecnologias que mais influenciam no âmbito nacional, estadual e municipal, além do setor residencial, sendo que cada novidade aplicada nos espaços pode

apresentar vantagens e desvantagens, e até mesmo incentivos do governo e influenciar em um ou mais espaços, conforme será descrito no decorrer deste capítulo.



Figura 5 – Iteração do espaço físico

Fonte: Elaborada pela autora

### 3.2.1. Residencial

O setor residencial brasileiro é um dos setores que mais consomem energia elétrica após o da indústria, sendo de importância média o seu consumo em relação ao requisito energético. Já em relação ao social, o consumo de energia é de extrema importância, pois o setor é totalmente dependente das comodidades proporcionadas com o uso de energia.

Nos últimos anos, o mundo todo vem passando por diversas mudanças em relação à exploração de novas tecnologias e de maiores preocupações com o meio ambiente e que podem provocar transformações no setor, apresentando algumas vantagens e desvantagens. E o país deve estar preparado para essas mudanças.

Nos tópicos seguintes, serão abordadas algumas modificações que possuem maiores tendências de seus impactos serem neste setor.

#### 3.2.1.1. Internet das Coisas

Conforme entrevista da Revista Inovação da Pauta, (n. 18, p. 6-9, 2014), o termo *Internet of Things* (Iot) ou Internet das Coisas foi utilizado pela primeira vez pelo pesquisador britânico Kevin Ashton, do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 1999. Após esta

definição do termo, o nome popularizou-se e começou a ser utilizado para se referenciar às tarefas que estarão conectadas sem intermédio do ser humano no dia a dia.

O termo se refere à ideia de uma revolução tecnológica, que visa conectar à rede diversos equipamentos que são usados no dia a dia como eletrodomésticos, veículos, elevadores, computadores entre outros. Surgiu através dos avanços tecnológicos em sistemas embarcados, comunicação e microeletrônica e vem ganhando destaque tanto no cenário acadêmico quanto no industrial. A Figura 6 apresenta um esquema referente a diversas locais e equipamentos que estarão conectados no futuro.

A internet das coisas apresentará benefícios, criando:

- Cidades inteligentes;
- Ambientes inteligentes;
- Acessórios tecnológicos inteligentes;
- Lares inteligentes;
- Empresas inteligentes.

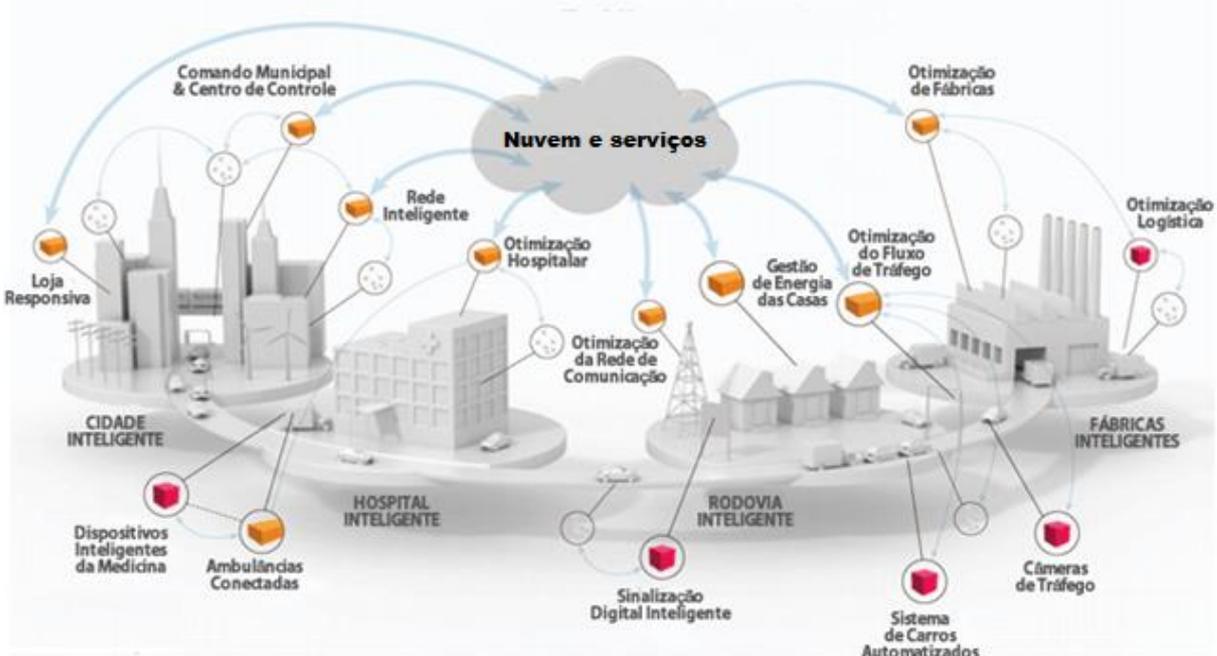


Figura 6 – Internet das Coisas

Fonte: Produzido por Satiztpm e traduzido pela autora (2015)

Através destas conexões inteligentes, será possível ajustar os eletrodomésticos e evitar excessos de gastos de energia, utilizar sensores para monitorar dados energéticos e do meio ambiente, tais como informações sobre condições do solo, ar e água, e alertar sobre possíveis anomalias.

Esta inovação proporcionará que todos os objetos se conectem à rede para serem controlados remotamente e que sejam acessados como provedores de serviços. Além disso, permitirá a integração dos objetos físicos e virtuais, e que os dados sejam armazenados em grande quantidade em uma nuvem, para que possam ser analisados e processados e gerem informações e serviços de maneira extraordinária.

Para se obter sucesso nestas conexões, faz-se necessária a mudança do IP utilizado atualmente IPv4 para uma versão mais recente o IPv6, capaz de transportar todas estas informações dos equipamentos conectados. A conexão dos equipamentos no IoT requer objetos inteligentes, tais como: sensores, microprocessadores, fonte de energia e um dispositivo de comunicação (VASSEUR e DUNKELS, 2010).

A internet das coisas causará uma revolução no dia a dia, e facilitará as tarefas diárias através do uso de microcontroladores, que trazem benefícios tanto para a indústria como para a medicina, tornando as cidades inteligentes e facilitando a vida, além de proteger o meio ambiente e evitar desastres ambientais. Através dessa inovação tecnológica, será possível obter benefícios em relação a recursos energéticos, ao meio ambiente e muitos outros.

### **3.2.2. Municipal**

No âmbito municipal, é possível identificar mudanças que podem relatar uma nova oportunidade nas formas de planejamento energético no país nesta instância. Apesar das diferenças nos seus focos, como abrangência territorial e setorial, algumas medidas e o desenvolvimento tecnológico conseguem modificar estas metodologias e aplicações.

#### **3.2.2.1. Geração Distribuída**

Geração distribuída é definida através da instalação de geradores de pequeno porte, geralmente por meio de fontes renováveis ou até mesmo combustíveis fósseis, próximo ao consumidor de energia elétrica, sendo que o consumidor se mantém ligado à rede em paralelo, permitindo maior garantia no suprimento.

Em 17/04/2012, a Resolução Normativa - REN nº 482 da ANEEL estabeleceu condições para a geração de micro e minigeração distribuída para os sistemas de distribuição de energia elétrica, além de criar o sistema para compensação de energia elétrica correspondente. E em 24/11/2015, a ANEEL criou a REN nº 687, com o objetivo de aprimorar a REN 482/2015, e com novas regras que determinaram que seria considerada microgeração a instalação de geradores com potência de até 75 kW e acima dessa potência até

o valor de 5 MW, seria considerada minigeração distribuída. Além de benefícios relacionados à quantidade de energia gerada, que quando for superior à consumida, gerará créditos que poderão ser compensados durante um período de 5 anos ou serem utilizados em outra unidade consumidora do mesmo dono do empreendimento e a possibilidade de geração distribuída em condomínios, e em cooperativas para a redução das contas de energia elétrica dos envolvidos.

A Figura 7 apresenta o esquema de funcionamento do sistema de compensação de energia para o grupo A, que são consumidores de alta tensão (13,8 kV), e grupo B (baixa tensão) com outras unidades consumidoras (ANEEL, 2016).

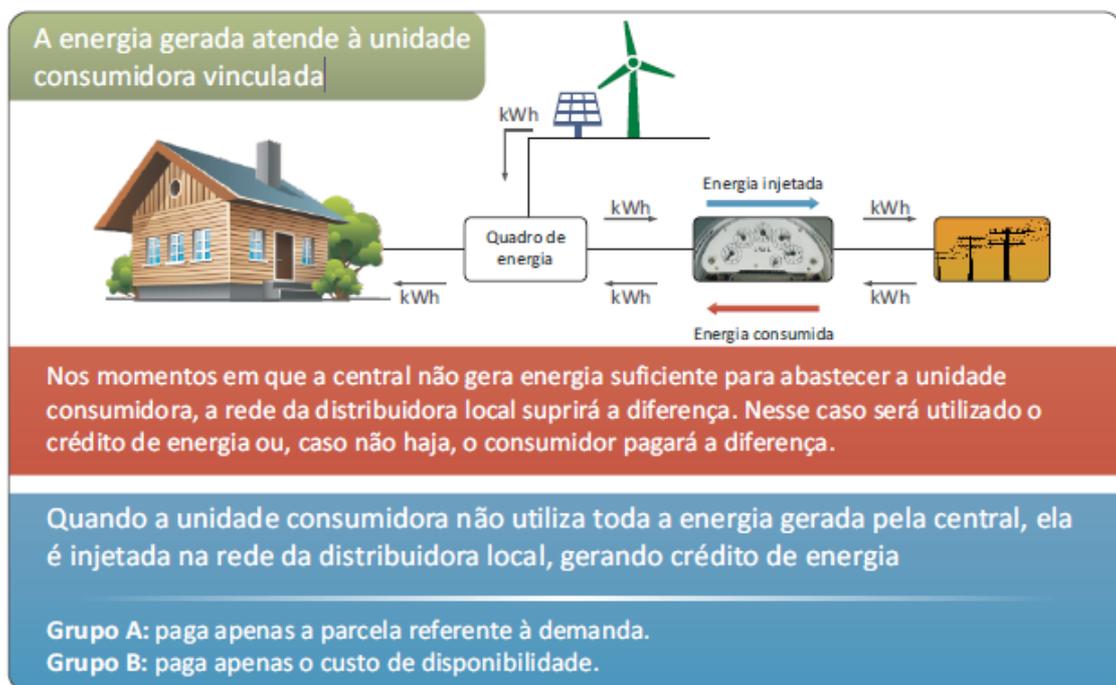


Figura 7 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica  
Fonte: ANEEL (2016)

A microgeração distribuída é definida através de uma central geradora de energia elétrica. Já a minigeração refere-se às centrais geradoras com potência superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas, ou 5 MW para outras fontes (ANEEL, 2016).

O sistema de geração distribuída apresenta diversas vantagens tais como:

#### Vantagens Ambientais:

- Os sistemas posicionados adequadamente são capazes de reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases causadores do efeito estufa;

- As instalações utilizam diversas fontes de recursos energéticos renováveis;
- Desenvolvimento de tecnologias que não dependem tanto de combustíveis fósseis;
- Baixo nível de ruído;
- Redução dos custos de cuidados da saúde devido a melhorias no meio ambiente (MATOS; CATALÃO, 2013).

**Vantagens Técnicas:**

- Melhoria da qualidade da energia e do perfil de tensão;
- Redução de perdas no sistema;
- Maior eficiência energética;
- Redução das cargas na distribuição e transporte nas linhas;
- Possibilidade de conexão próxima aos diversos pontos da rede elétrica (alta, média e baixa tensão);
- Potência reduzida;
- Emprego de diversas tecnologias;
- Aumento da confiabilidade e segurança no abastecimento. (MATOS; CATALÃO, 2013).

**Vantagens Econômicas:**

Conforme Cogen, Matos e Catalão (2013), as vantagens podem ser:

- Diminuição dos custos de transmissão e menor preço das tarifas de energia elétrica;
- Economia no uso de combustíveis;
- Redução do custo de operação e manutenção das tecnologias de geração distribuída;
- Diminuição das reservas mínimas e custos associados;
- Produção em pequena escala;

- Aumento do número de agentes geradores e participantes do setor elétrico nas regiões;
- Maior agilidade para atender o aumento da demanda, e menor complexidade no licenciamento e na liberação para implantação dos projetos;
- Menor risco no planejamento energético;
- Possibilidade de abertura no mercado energético, criação de regulamentação e oportunidade comercial futura.

A geração distribuída apresenta características diferentes para o modo de geração de energia convencional. As Figura 8 e Figura 9 mostram o modo como são geradas ambas as energias.

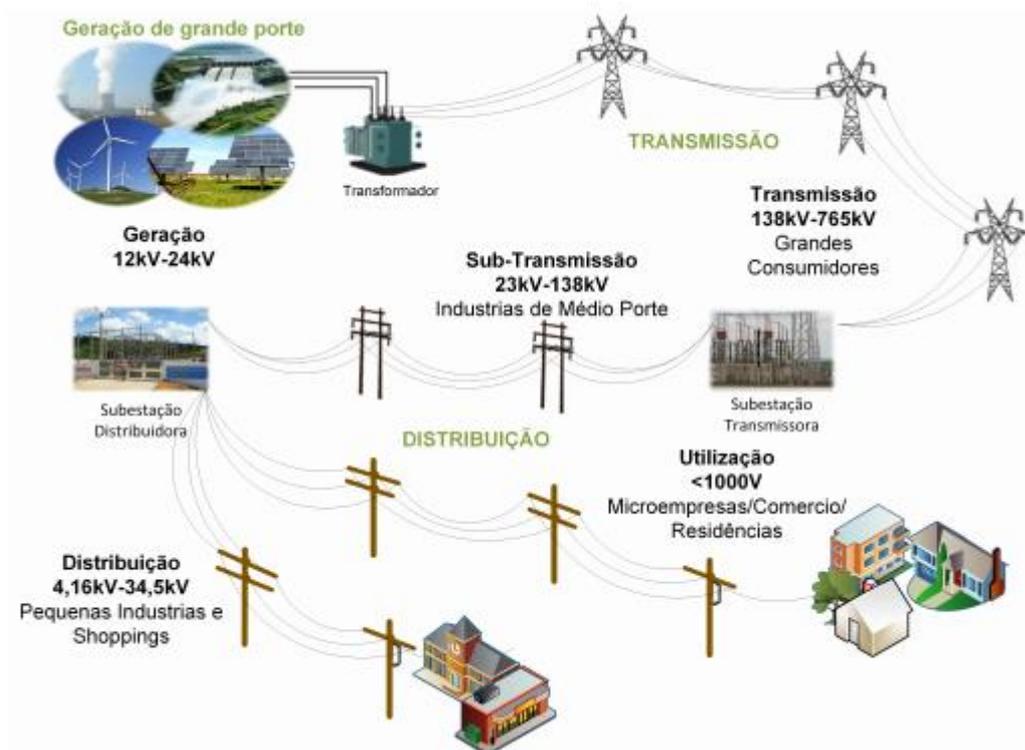


Figura 8 – Geração de energia de forma convencional

Fonte: Lopes et al. (2012)



Figura 9 – Geração de energia distribuída

Fonte: Lopes, Fernandes e Muchaluat-Saade (2015)

São diversos os benefícios obtidos com a implementação de sistemas de geração distribuída, sendo apenas necessária a determinação do local adequado e das dimensões apropriadas para se obter os melhores resultados possíveis. Além disso, com os avanços tecnológicos para o sistema, o seu emprego será mais vantajoso e os impactos ambientais no setor serão diminuídos principalmente devido ao uso de fontes renováveis na matriz energética.

Apesar de apresentar desvantagens relacionadas ao custo de implantação do projeto e de sua amortização, por ser um mercado novo, a curva de aprendizado mostra que com o tempo, o aumento dos investimentos em tecnologia faz com que o custo de implantação do sistema diminua.

### 3.2.2.2. Baterias

Com a evolução dos mecanismos de armazenamento de energia, as baterias têm se tornado fundamental, uma vez que proporcionam grandes contribuições para a rede de energia elétrica. Recentemente, as tecnologias do Sistema de Armazenamento de Energia por Baterias ou *Battery Energy Storage Systems* (BESSs) são encontradas facilmente, sendo geralmente baseadas em sódio-enxofre, íons de lítio, níquel-cádmio, chumbo-ácido ou baterias de fluxo (SANTOS; BORTONI, 2016).

As baterias funcionam através de reações químicas internas, podendo ser consideradas

como uma fonte autônoma de energia, sendo um elemento capaz de armazenar energia elétrica ou fornecê-la; e sua capacidade medida pela potência geralmente em kW ou MW.

A vida útil de uma bateria é calculada através de ciclos ou anos, em que se quantifica sua capacidade de ser carregada e descarregada sem afetar o seu desempenho, considerando-se principalmente fatores como temperatura e tempo. Para a eficiência de sua utilização, é ideal a identificação dos pontos fracos da rede para que a conexão do dispositivo possa contribuir de maneira eficaz para o sistema, sendo muitas vezes necessárias tomadas de decisão relacionadas ao desempenho e previsões dos preços das tarifas de energia, além do retorno do investimento ao longo dos anos. No mercado atualmente, estão disponíveis diversos modelos de baterias com diferentes tecnologias, fornecedores, características, e até mesmo com o tempo de descarga variável em dias e segundos, além de diferentes potências (SILVA, 2015).

Os critérios de decisão para a escolha do sistema de armazenamento de energia por baterias podem ser tais como:

- Desempenho;
- Capacidade (Potência);
- Espaço e infraestrutura de instalação;
- Durabilidade;
- Requisitos da rede concessionária local;
- Custo;
- Confiabilidade do fabricante; Entre outros itens relevantes de acordo com a utilização.

Alguns países como Estados Unidos, Japão e China têm explorado bastante o emprego de baterias. Através da Figura 10, é possível ver dados da potência instalada e planejada ao redor do mundo.

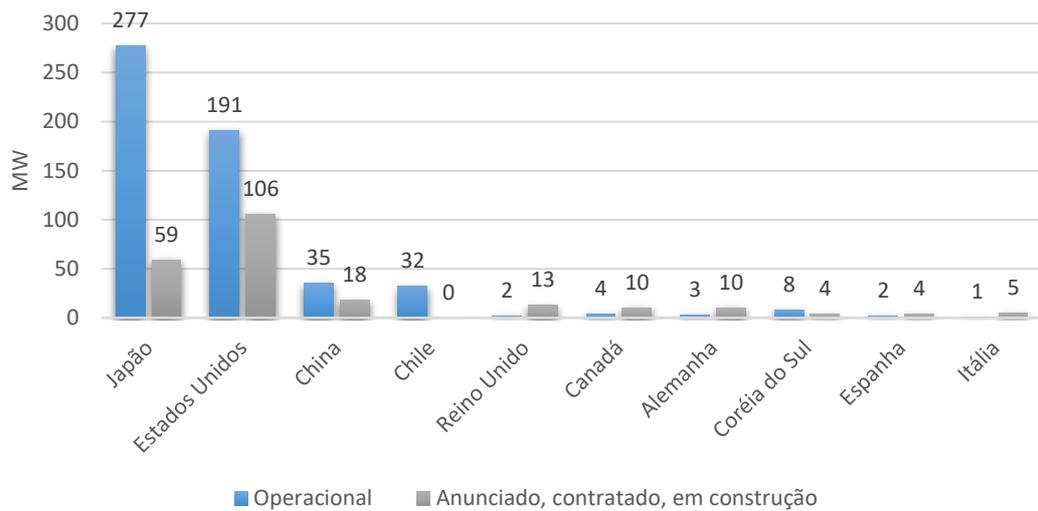


Figura 10 – Capacidade instalada e planejada do armazenamento por baterias ao redor do mundo

Fonte: IRENA (2015)

Um exemplo disso é o que está ocorrendo no estado do Havaí nos Estados Unidos. A cooperativa *Kauai Island Utility Cooperative* (KIUC), sem fins lucrativos, que abastece 32.000 clientes, identificou como uma oportunidade o emprego da tecnologia de baterias para manter a confiabilidade e eficiência do sistema, e reduzir seus altos custos de produção de energia com o suprimento da sua demanda até 2040, através de fontes renováveis (SANTOS; BORTONI, 2016).

### 3.2.2.2.1. Armazenamento de energia

Para o armazenamento de energia em baterias, são necessários alguns componentes. A Figura 11 apresenta um esquema referente aos itens, sendo este formado por componentes primários, monitoramento e controle e conversão de potência.

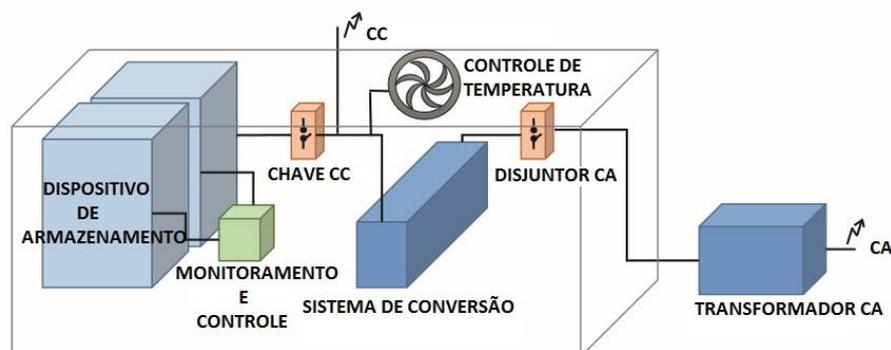


Figura 11 – Sistema de armazenamento por baterias e seus componentes

Fonte: Adaptado de IRENA (2015)

Cada item que compõe o sistema apresenta funções específicas. O sistema de monitoramento e controle garante a segurança e melhoria do desempenho do sistema de armazenamento, além do monitoramento da carga e descarga da bateria. Já o de conversão, através de inversores, transforma a energia de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) durante períodos de descarga da bateria e por meio de retificadores possibilita que a energia da CA retorne à bateria para carregá-la.

Segundo Faias, Sousa e Castro (2009), diante da variedade existente de tecnologias para baterias, faz-se necessária a distinção de dois conceitos essenciais: o de baterias eletroquímicas e o de baterias de fluxo redox.

As baterias eletroquímicas utilizam em seu funcionamento eletrodos positivos e negativos para realizar a transferência de elétrons em uma solução condutora, nomeada de eletrólito. Sendo as principais as de chumbo-ácido, níquel-cádmio (NiCd), sódio-enxofre (NaS), e íons de lítio. Já as baterias fluxo redox realizam suas reações através de soluções condutoras separadas por uma membrana semipermeável que permite que o fluxo de íons das soluções não se misture e apenas flutue, e que uma corrente elétrica seja induzida nestes condutores, sendo as principais as de zinco-bromo (ZnBr) e redox de vanádio (VR).

### **3.2.2.3. Veículos Híbridos e Elétricos**

Os automóveis são utilizados em grande escala no mundo, sendo um dos principais meios de transporte utilizado. As movimentações financeiras relacionadas ao setor petrolífero e as tecnologias utilizadas nos automóveis são bilionárias, mas apesar dos grandes investimentos, o setor ocasiona alguns problemas em relação à emissão de poluentes fósseis ao meio ambiente e que contribuiu também para problemas de saúde e segurança energética (BRAVO; MEIRELLES; GIALONARDO, 2014).

Os motores a combustão utilizados nos veículos atualmente apresentam uma eficiência baixa, principalmente nas baixas rotações. Para se compensar esta ineficiência, os motores são sobre dimensionados, visando uma maior aceleração dos veículos, o que ocasiona maiores emissões de poluentes. Uma das alternativas tem sido o desenvolvimento de veículos híbridos e elétricos. Apesar da necessidade de investimentos e pesquisas no setor, estas possibilidades têm se tornado atrativas (LEMOS, 2013).

Os veículos elétricos apresentam preços e autonomia limitada, já os veículos híbridos oferecem em seu sistema um motor a combustão interna que opera em conjunto com o motor elétrico, aumentando a eficiência do sistema. Em muitos países como Alemanha, Estados

Unidos, França e Japão são realizadas políticas de incentivos fiscais e até subsídios para esses veículos. Para o sucesso deste tipo de transporte, são necessários o apoio e comprometimento do governo para que esses veículos sejam aceitos no mercado e os resultados proporcionados pelos automóveis sejam obtidos (BRAVO; MEIRELLES; GIALONARDO, 2014).

Com o crescente número de automóveis no país, o uso de eletricidade no setor automotivo se apresenta como uma grande alternativa em relação aos combustíveis utilizados, e como uma vantagem para o meio ambiente e novas estratégias ao setor de transporte, sendo possível que a energia gerada pelo país e distribuída através do sistema interligado nacional, com um custo baixo em relação aos combustíveis, seja armazenada através dos *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEV), que são veículos híbridos com baterias recarregáveis que podem ser carregadas através da rede de distribuição de energia elétrica, em que nos horários de baixa demanda possibilitam o acúmulo de energia e nos horários de pico, a injeção desta energia na rede possibilita a diminuição dos valores das tarifas praticadas pelas concessionárias (BARAN; LEGY, 2010).

Além disso, estes veículos apresentam uma solução ideal de mobilidade e de fonte alternativa para geração de energia elétrica, mínimas emissões diretas ao meio ambiente e possibilitam o reabastecimento no momento da frenagem, em descidas e não consomem energia quando estão parados (SANTOS et al., 2009).

Já para as vantagens ambientais, é possível a redução do uso do motor a combustão, que é um dos maiores responsáveis pelas emissões dos gases do efeito estufa, e o aumento da eficiência energética, através da substituição do motor a combustão que apresenta eficiência de 40% para o elétrico que apresenta 90%. Nos EUA, os incentivos para o uso de veículos híbridos e elétricos visam principalmente à segurança energética do país, em que ao invés de importar petróleo para utilizar nos veículos, substitui pela energia elétrica gerada localmente (BARAN; LEGY, 2010).

O Brasil apresenta grande vantagem para o uso destes veículos em relação aos outros, principalmente devido à energia elétrica do país ser proveniente de fontes renováveis de energia. Apesar da infraestrutura para a produção de veículos elétricos ainda ser pequena no país, os veículos híbridos podem ser uma alternativa de sucesso, sendo este uma tendência mundial em que se pressupõe que 90% dos veículos elétricos que estão em circulação atualmente no mundo são híbridos (BRAVO; MEIRELLES; GIALONARDO, 2014).

### 3.2.3. Estadual

O espaço estadual apresenta tecnologias que conseguem modificar principalmente o estado em que é implementada a tecnologia, proporcionando vantagens como uma maior produção de energia para o estado, possibilitando a diminuição das tarifas devido a energia ser gerada localmente, mas também pode apresentar certas desvantagens, tais como impactos ambientais. Através disso, será abordada neste item, uma tecnologia que vem sendo empregada no país e que está modificando-o.

#### 3.2.3.1. Cogeração

A cogeração pode ser definida como o processo de produção que combina energia mecânica e calor útil, para uma única fonte de energia, sendo convertida total ou parcialmente em energia elétrica, utilizando a energia química através de um ou mais combustíveis e aumentando a eficiência do uso dos combustíveis.

Os sistemas de cogeração apresentam altos rendimentos se comparados a sistemas independentes de potência e calor, sendo de aproximadamente de 70 a 90%. Além disso, esta tecnologia é uma opção de geração descentralizada e energeticamente eficiente (CORRÊA NETO, 2001).

Em 1995, o governo, visando atrair investimentos do setor privado para o setor elétrico, adicionou alguns processos de desregulamentação no setor como: recursos de iniciativa privada para garantir a expansão, estabelecimento de regras específicas para os contratos de concessão, melhoria nas condições de competição para a geração e comercialização de energia, para se assegurar o baixo custo e a permanência de sua eficiência e separação das atividades de transmissão, geração, distribuição e comercialização de energia.

Tais medidas pretendiam tornar o setor mais competitivo para a comercialização e principalmente para a venda da energia elétrica excedente, além de incentivar a autoprodução de energia elétrica, como no setor sucroalcooleiro por meio do autoprodutor e do produtor independente de energia. (NAGAOKA et al, 2007).

Segundo Barbeli (2015), os sistemas de cogeração utilizam alguns critérios para a seleção de tecnologias que serão empregadas tais como:

- Avaliação dos impactos ambientais devido ao combustível que será utilizado;
- Disponibilidade do combustível que deve ser considerado de acordo com a

tecnologia e com baixo custo;

- Análise da eficiência de conversão do combustível em energia elétrica;
- Custo do investimento necessário, manutenção e operação;
- Confiabilidade do sistema elétrico.

Os sistemas de cogeração apresentam diversas vantagens como:

- Redução dos custos operacionais;
- Aumento da eficiência e aproveitamento de energia;
- Maior confiabilidade no sistema;
- Menor impacto ambiental e redução de emissões de poluentes para a atmosfera;
- Economia no investimento do setor em redes de transmissão e distribuição;
- Redução das perdas nas redes.

Os sistemas de cogeração são classificados segundo a ordem relativa de geração de potência e calor, podendo os ciclos ser *Topping* (montante) e *Bottoming* (jusante).

### **Topping:**

O ciclo *Topping* é a configuração mais utilizada no processo de cogeração. Neste ciclo, os gases de combustão ao serem adicionados em uma temperatura elevada são utilizados para gerar eletricidade ou energia mecânica. Para se produzir energia mecânica ou elétrica, primeiramente o combustível é queimado em uma máquina térmica e o calor não utilizado no processo é empregado sob forma de calor útil para atender os requisitos da energia térmica. Então primeiramente, é produzida a energia e em seguida se recupera o calor que é fornecido na forma de vapor para o processo. Este calor fornecido pode ser utilizado em processos variados para aquecimento e refrigeração. Sistema de turbinas a vapor, gás ou combinados utilizam bastante esta configuração (BARBELI, 2015).

### **Bottoming:**

No ciclo *Bottoming*, a recuperação direta do calor é utilizada para a produção de

energia elétrica, mecânica ou vapor. Neste caso, o calor rejeitado através dos gases de exaustão originados nas reações químicas, em máquinas térmicas, a elevada temperatura nos processos industriais é aproveitado em caldeiras recuperadoras para se gerar vapor, em que é empregado como fluido para acionar um turbo gerador e se produzir energia mecânica. Esse sistema é utilizado em sistemas de turbinas a vapor de condensação ou contrapressão (CORRÊA NETO, 2001).

### **3.2.4. Nacional**

Os cenários propostos para o âmbito nacional apresentam principalmente o uso de fontes renováveis e limpas para a diversificação da Matriz, a diminuição das perdas entre a geração e transmissão por redes até o consumidor final. As modificações realizadas neste espaço podem resultar em grandes mudanças no cenário energético do país e atingir ainda cada espaço individualmente.

#### **3.2.4.1. Smart Grids**

O termo *Smart Grid*, que em português pode ser traduzido por Redes Elétricas Inteligentes, é um conceito amplo que objetiva o monitoramento, armazenamento, tecnologias de controle e a comunicação com os usuários e fornecedores, para um melhor uso dos recursos existentes. Além disso, proporciona uma modernização da rede desde a geração de energia, transmissão, distribuição, até o cliente final.

*Smart Grids* permitem que sejam adicionadas novas tecnologias para o setor de energia de maneira simples, abrangendo toda a parte elétrica e melhorando a eficiência energética em residências, empresas e instituições públicas. As redes de energia elétrica serão transformadas através da automatização, comunicações, em que se formará sub-redes que auxiliarão a rede elétrica em casos de aumento de capacidade, não sendo apenas associadas a uma tecnologia específica, mas ao conceito de se utilizar medidores e transmissão de dados na rede para que os recursos sejam utilizados de maneira segura, fazendo o uso das informações para uma melhor tomada de decisão operacional (MOREIRA; SCHETTINO; SILVA, 2013).

Um dos principais benefícios de *Smart Grids* é a possibilidade de se integrar fontes renováveis e armazenar energia, sendo que através da informatização das redes é possível uma combinação para se ter energia centralizada e distribuída.

No Brasil, a rede elétrica, mesmo com o aumento do consumo e da demanda, mantém o seu formato há mais de cem anos. Sendo assim, a rede foi se modificando e se tornando

complexa e com a ausência de ferramentas para assegurar a qualidade da energia. Diversas consequências surgiram no setor como blackouts, falhas em equipamentos, dificuldades para se armazenar energia, entre outras (FILHO, 2014).

As perspectivas para os investimentos em redes elétricas inteligentes no país são grandes. Pretende-se alcançar, através das tecnologias empregadas, uma maior análise das informações, melhor monitoramento, redução das perdas no sistema e dos horários de picos de consumo, utilização da capacidade instalada de maneira adequada, aumento das fontes renováveis introduzidas na rede, além de diversas vantagens tanto para os concessionários e empresas. A Figura 12 apresenta um esquema da tecnologia.

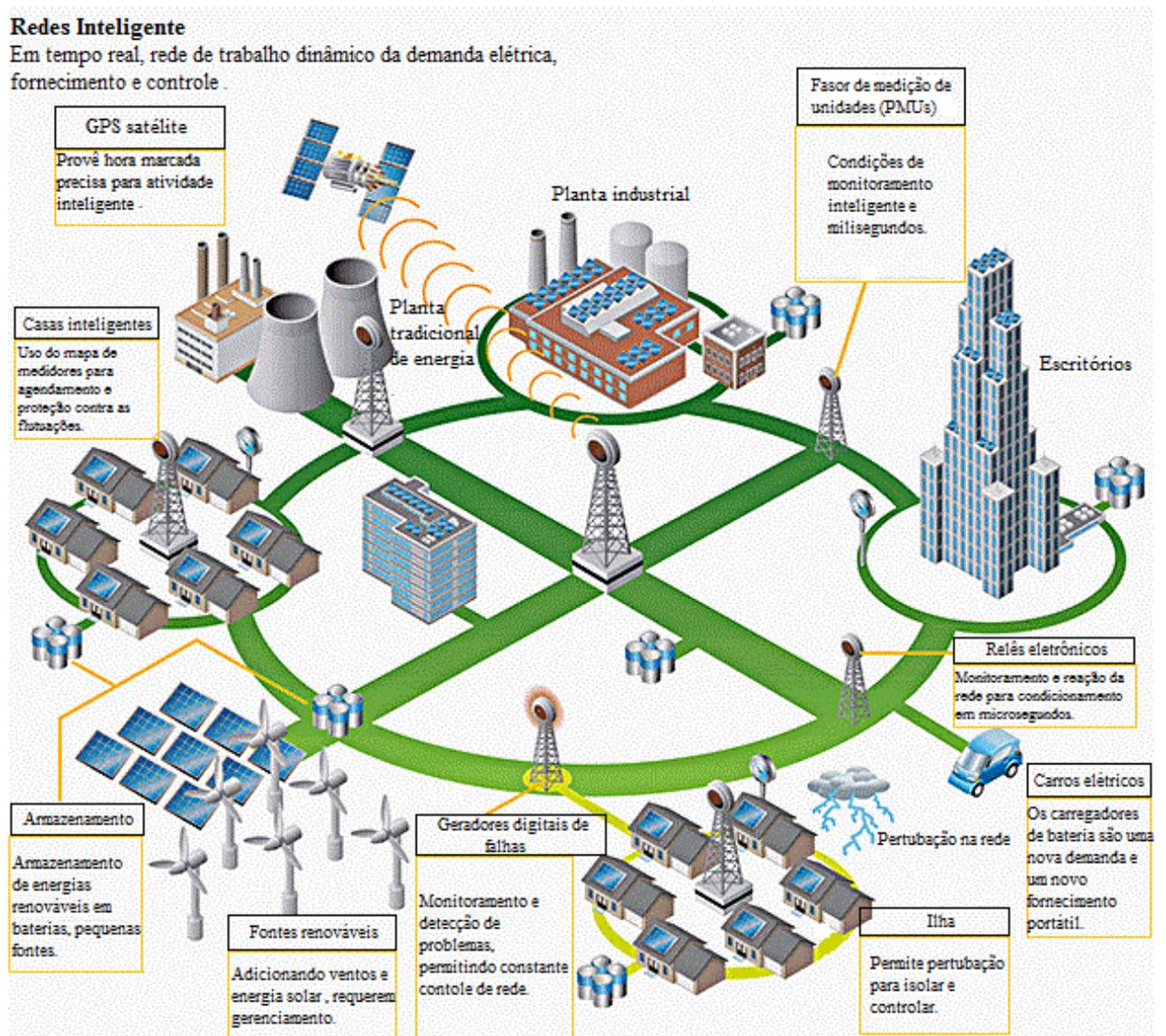


Figura 12 – Redes Inteligentes - A dinâmica em tempo real

Fonte: Muñoz (2015), traduzido pela autora

## Vantagens de Smart Grids

- Serviços eficientes a um menor custo;
- Integração dos sistemas de transmissão, geração e distribuição, que possibilitam que os mesmos operem de maneira ideal;
- Agilidade no tempo de resposta para solução de problemas;
- Troca de informações em tempo real;
- Melhoria da qualidade da energia;
- Redução do consumo de energia;
- Diminuição das perdas de energia em relação a fraudes e roubos;
- Eficientização energética;
- Maior competitividade das concessionárias;
- Controle e proteção de energias inteligentes;
- Maior variedade de demanda devido a diferentes maneiras de geração de energia como eólica, solar, nuclear, etc.;
- Diminuição de emissões de combustíveis fósseis na atmosfera.

Segundo Schettino (2013), *Smart Grids* estarão em funcionamento em todo o mundo até 2020, sendo apenas necessária uma rede para se obter a comunicação entre os clientes e as concessionárias. Devido a isto, deve-se a preocupação em relação à segurança da informação dos clientes e da confiabilidade do sistema. Um maior número de dispositivos precisará ser controlado, hardware e equipamentos para comunicação devem ser padronizados para se evitar que o sistema se torne vulnerável a invasões de *hackers* e que se possam causar danos ao sistema de energia elétrica, tais como o forjamento de informações falsas ao sistema, alterando-se os valores atuais ou futuros das tarifas, prejudicando as companhias de energia e também consumidores, além da possibilidade de se ter picos de energia caso o valor das tarifas for muito baixo.

### 3.2.4.2. Energias Renováveis

Atualmente, o grande foco do mundo tem sido em relação às energias renováveis que contribuem de maneira complementar às fontes de energia, que já são mais utilizadas como a hidrelétrica, e principalmente para substituição de fontes que são esgotáveis como o petróleo,

apresentando alternativas sustentáveis e que não impactam o meio ambiente. Diante desse cenário, existem relatórios que são publicados anualmente sobre as fontes de energia renováveis no mundo, além de associações que visam à contribuição de políticas mundiais de energias renováveis.

Uma importante comunidade é a Rede de Políticas de Energia Renovável para o século 21 (REN21), que é uma rede mundial que objetiva facilitar o intercâmbio de conhecimento e uma rápida transição mundial para a energia renovável. O REN21 conta com a participação de 148 países, representando 98% do PIB mundial e 95% da população mundial. Além da participação do governo, instituições acadêmicas, indústrias, pesquisadores, entre outros, trocam experiências para o uso de energias renováveis, e auxiliam a tomada de decisão e verificação das mudanças nas políticas de energia renováveis dos países, apresentando informações atualizadas, discussões e debates.

Segundo o REN 21 (2016), o ano de 2015 foi excelente para as energias renováveis, sendo recorde de capacidade mundial produzida. Apesar de muitos desafios ainda serem necessários, o ano apresentou diversos acontecimentos como queda dos combustíveis fósseis, reduções nos preços de contratos de energia renovável, questões referentes ao armazenamento energético, além de um importante acordo sobre o clima, que foi realizado em Paris. Na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em Paris, houve a presença de 195 países que acordaram restringir o aquecimento global para um nível abaixo de 2 graus Celsius, sendo que grande parte dos países presentes se propuseram a estar empenhados em aumentar a participação de energias renováveis junto com o aumento da eficiência energética. Mas em junho de 2017, o acordo sofreu algumas modificações em relação aos Estados Unidos, quando o presidente americano, Donald Trump, anunciou a saída do país do acordo, alegando que o atual documento apresentava desvantagens aos EUA e beneficiava outros países, mas prometendo negociar um retorno ou um novo acordo climático com novos termos que atendesse aos americanos.

O relatório REN21 mostra que as energias renováveis atingiram um consumo final global em 2014 de aproximadamente 19,2% do crescimento da capacidade e da geração que em 2013, e para 2015 calcula-se que 147 gigawatts (GW) de capacidade de energia elétrica renovável tenham sido acrescentados, sendo este aumento o maior até então conquistado pelas energias renováveis. Comparando estes dados com a capacidade de geração térmica renovável, essa apenas aumentou aproximadamente 38 gigawatts térmicos (GWth), sendo que

conforme o REN21 desde 2010 as energias renováveis superaram os combustíveis fósseis em investimentos líquidos e adições de capacidade de energia elétrica.

O ano de 2015 apresentou expressivos investimentos nas tecnologias principalmente de software e hardware de energias renováveis e eficiência energética. Além do aumento do uso de redes inteligentes, o setor de energia renovável movimentou aproximadamente 8,1 milhões de empregos diretos e indiretos sendo destes, energia solar fotovoltaica e biocombustíveis os maiores índices. Considerando todas as tecnologias de energia renovável, os países que mais se destacaram na contratação foram Estados Unidos, Índia, China e Brasil (REN21, 2016).

Com os incentivos em relação às energias renováveis em todo o mundo, teve-se um crescimento acentuado com a presença destas fontes no setor elétrico nos últimos anos, principalmente devido à competitividade dos custos das tecnologias utilizadas, incentivos políticos, uma maior preocupação em relação ao meio ambiente e a crescente demanda de energia. Diante disso, novas oportunidades de mercado relacionadas à energia renovável distribuída e centralizada têm surgido. A

Tabela 1 apresenta dados dos indicadores de energia renovável de 2014, comparados com os de 2015 (REN21, 2016).

Tabela 1 – Indicadores de Energia Renovável 2014 x 2015

		2014	2015
<b>INVESTIMENTOS</b>			
Novos investimentos (anuais) em eletricidade e combustíveis renováveis <sup>1</sup>	bilhões de USD	273	<b>285,9</b>
<b>ELETRICIDADE</b>			
Capacidade de energia elétrica renovável (total, sem incluir hidrelétrica)	GW	665	<b>785</b>
Capacidade de energia elétrica renovável (total, incluindo hidrelétrica)	GW	1.701	<b>1.849</b>
 Capacidade hidrelétrica <sup>2</sup>	GW	1.036	<b>1.064</b>
 Capacidade de bioenergia <sup>3</sup>	GW	101	<b>106</b>
 Geração de bioenergia (anual)	TWh	429	<b>464</b>
 Capacidade de eletricidade geotérmica	GW	12,9	<b>13,2</b>
 Capacidade solar fotovoltaica	GW	177	<b>227</b>
 Energia solar térmica concentrada	GW	4,3	<b>4,8</b>
 Capacidade de energia eólica	GW	370	<b>433</b>
<b>CALOR</b>			
 Capacidade de aquecimento solar de água <sup>4</sup>	GW <sub>th</sub>	409	<b>435</b>
<b>TRANSPORTES</b>			
 Produção de etanol (anual)	bilhões de litros	94,5	<b>98,3</b>
 Produção de biodiesel (anual)	bilhões de litros	30,4	<b>30,1</b>
<b>POLÍTICAS</b>			
Países com metas de políticas	nº	164	<b>173</b>
Estados/províncias/países com políticas de feed-in	nº	110	<b>110</b>
Estados/províncias/países com políticas de RPS/cotas	nº	98	<b>100</b>
Países com licitações/concorrências públicas <sup>5</sup>	nº	60	<b>64</b>
Países com obrigações/mandatos para aquecimento	nº	21	<b>21</b>
Países com mandatos para biocombustíveis <sup>6</sup>	nº	64	<b>66</b>

Fonte: REN21 (2016)

1 Os dados sobre investimentos são da Bloomberg New Energy Finance e incluem todos os projetos de geração de eletricidade a partir de energia de biomassa, geotérmica e eólica de mais de 1 MW; todos os projetos de energia hidrelétrica entre 1 e 50 MW; todos os projetos de energia solar, com aqueles de menos de 1 MW calculados separadamente e mencionados como projetos de pequena escala ou capacidade distribuída pequena; todos os projetos de energia oceânica; e todos os projetos de biocombustíveis com uma capacidade de produção anual de 1 milhão de litros ou mais.

2 O GSR 2015 relatou um total mundial de 1.055 GW de capacidade hidrelétrica no final de 2014. O valor de 1.036 GW mostrado aqui reflete a diferença total entre a capacidade no final de 2015 (1.064 GW) e novas instalações em 2015 (28 GW). A capacidade no final de 2014 pode ter sido maior que 1.036 GW considerando um valor indeterminado de retiradas de capacidade e repotenciação de usinas durante o ano. Note-se também que o GSR procura excluir a capacidade reversível pura dos dados de capacidade hidrelétrica.

3 A capacidade de bioenergia para eletricidade em 2014 foi ajustada para cima em relação aos dados do GSR 2015 para refletir os dados disponíveis mais recentes.

4 A capacidade de aquecimento solar de água inclui apenas coletores de água. O número para 2015 é uma

estimativa preliminar.

5 Os dados para licitações/concorrências públicas refletem todos os países que fizeram licitações em qualquer momento até o ano em foco.

6 Políticas de biocombustíveis incluem políticas listadas sob a coluna de obrigações/mandatos para biocombustíveis na Tabela 4 (Políticas de apoio a energias renováveis) e na Tabela de referência R25 (Mandatos nacionais e estaduais/provinciais para mistura de biocombustíveis). Considera-se que um país tenha políticas quando existir pelo menos uma política em vigor em nível nacional ou estadual/provincial.

Nota: Todos os valores são arredondados para números inteiros, exceto números < 15, biocombustíveis e investimentos, que são arredondados para uma casa decimal.

O relatório REN 21 mostra que no ano de 2015, os investimentos em eletricidade e combustíveis renováveis nos países em desenvolvimento como Brasil, Índia e China, totalizaram US\$ 156 bilhões (19% a mais em comparação com 2014), ultrapassaram o dos países desenvolvidos. Um país de destaque nesses investimentos foi a China, que aumentou de 17% para 37% do total mundial. Outros países como Marrocos, Filipinas, Paquistão, Honduras e Uruguai atingiram um total de US\$ 500 milhões de investimentos em energias renováveis.

A Tabela 2 apresenta os dados do investimento em 2015 nos 5 primeiros países que mais se destacaram no ano.

Tabela 2 – Cinco maiores investimentos dos países do REN21

	1	2	3	4	5
Investimento em eletricidade e combustíveis renováveis (sem incluir hidrelétrica > 50 MW)	<b>China</b>	Estados Unidos	Japão	Reino Unido	Índia
Investimento em eletricidade e combustíveis renováveis por unidade de PIB <sup>1</sup>	<b>Mauritânia</b>	Honduras	Uruguai	Marrocos	Jamaica
 Capacidade de energia geotérmica	<b>Turquia</b>	Estados Unidos	México	Quênia	Alemanha/Japão
 Capacidade hidrelétrica	<b>China</b>	Brasil	Turquia	Índia	Vietnã
 Capacidade solar FV	<b>China</b>	Japão	Estados Unidos	Reino Unido	Índia
 Capacidade de energia solar concentrada (CSP) <sup>2</sup>	<b>Marrocos</b>	África do Sul	Estados Unidos	-	-
 Capacidade de energia eólica	<b>China</b>	Estados Unidos	Alemanha	Brasil	Índia
 Capacidade de aquecimento solar de água	<b>China</b>	Turquia	Brasil	Índia	Estados Unidos
 Produção de biodiesel	<b>Estados Unidos</b>	Brasil	Alemanha	Argentina	França
 Produção de etanol combustível	<b>Estados Unidos</b>	Brasil	China	Canadá	Tailândia

Fonte: REN21 (2016)

A Tabela 3 apresenta os dados do acréscimo de capacidade líquida em 2015 nos países que mais se destacaram no desenvolvimento de fontes de energia renovável.

Tabela 3 – Cinco maiores países em capacidade líquida de Energias Renováveis

	1	2	3	4	5
<b>ELETRICIDADE</b>					
Eletricidade renovável (inclusive hidrelétrica)	<b>China</b>	Estados Unidos	Brasil	Alemanha	Canadá
Eletricidade renovável (sem incluir hidrelétrica)	<b>China</b>	Estados Unidos	Alemanha	Japão	Índia
Capacidade de eletricidade renovável <i>per capita</i> (entre os 20 primeiros, sem incluir hidrelétrica <sup>3</sup> )	<b>Dinamarca</b>	Alemanha	Suécia	Espanha	Portugal
🔌 Geração de bioenergia	<b>Estados Unidos</b>	China	Alemanha	Brasil	Japão
🔌 Capacidade de energia geotérmica	<b>Estados Unidos</b>	Filipinas	Indonésia	México	Nova Zelândia
🌊 Capacidade hidrelétrica <sup>4</sup>	<b>China</b>	Brasil	Estados Unidos	Canadá	Federação Russa
🌊 Geração hidrelétrica <sup>4</sup>	<b>China</b>	Brasil	Canadá	Estados Unidos	Federação Russa
☀️ Capacidade CSP	<b>Espanha</b>	Estados Unidos	Índia	Marrocos	África do Sul
☀️ Capacidade solar FV	<b>China</b>	Alemanha	Japão	Estados Unidos	Itália
☀️ Capacidade solar FV <i>per capita</i>	<b>Alemanha</b>	Itália	Bélgica	Japão	Grécia
🌬️ Capacidade de energia eólica	<b>China</b>	Estados Unidos	Alemanha	Índia	Espanha
🌬️ Capacidade de energia eólica <i>per capita</i>	<b>Dinamarca</b>	Suécia	Alemanha	Irlanda	Espanha

Fonte: REN21 (2016)

A Tabela 4 mostra dados referentes a produção de biocombustíveis em 2015 nos cinco maiores países produtores no mundo.

Tabela 4 – Cinco maiores países produtores de Biocombustíveis

<b>CALOR</b>					
☀️ Capacidade de coletores para aquecimento solar de água <sup>1</sup>	<b>China</b>	Estados Unidos	Alemanha	Turquia	Brasil
☀️ Capacidade de coletores para aquecimento solar de água <i>per capita</i> <sup>1</sup>	<b>Áustria</b>	Chipre	Israel	Barbados	Grécia
🔌 Capacidade de aquecimento geotérmico <sup>2</sup>	<b>China</b>	Turquia	Japão	Islândia	Índia
🔌 Capacidade de aquecimento geotérmico <i>per capita</i> <sup>2</sup>	<b>Islândia</b>	Nova Zelândia	Hungria	Turquia	Japão

Fonte: REN21 (2016)

1 Os países considerados incluem apenas os cobertos pela Bloomberg New Energy Finance (BNEF); dados do PIB (por preços de compra) para 2014 do Banco Mundial. Os dados da BNEF incluem os seguintes: todos os projetos de geração de biomassa, geotérmica e eólica de mais de 1 MW; todos os projetos hidrelétricos entre 1 e 50 MW; todos os projetos de energia solar, com os de menos de 1 MW calculados separadamente e identificados como projetos de pequena escala ou pequena capacidade distribuída; todos os projetos de energia oceânica; e todos os projetos de biocombustíveis com uma capacidade de produção anual de 1 milhão de litros ou mais. Os dados de capacidade de pequena escala usados para ajudar a calcular o investimento por unidade do PIB cobrem apenas os países que investiram US\$ 200 milhões ou mais.

2 Apenas três países tinham usinas de energia solar concentrada (CSP) em funcionamento em 2015, por isso não há nenhum país listado nas posições 4 e 5.

3 O ranking de capacidade de energia elétrica renovável per capita considera apenas os países que se posicionam entre os 20 primeiros do mundo em capacidade de energia elétrica renovável instalada total, sem incluir hidrelétrica. Vários outros países, entre eles Áustria, Finlândia, Irlanda e Nova Zelândia, também têm altos níveis per capita de capacidade de energia elétrica renovável não-hidrelétrica, com a Islândia provavelmente sendo o líder entre todos os países. Os dados de população referem-se a 2014 e são do Banco Mundial.

4 Os rankings de países para capacidade e geração hidrelétrica diferem porque alguns países fazem uso de energia hidrelétrica em geração contínua, enquanto outros a usam mais para complementar a carga de energia e atender picos de demanda.

5 Os rankings de capacidade total e per capita para coletores de aquecimento solar de água referem-se ao final do ano de 2014 e são baseados apenas na capacidade dos coletores para água (com cobertura e sem cobertura vítrea). Dados do programa SHC da AIE. Estima-se que os rankings de capacidade total referentes ao final de 2015 não tenham alterações.

6 Sem incluir bombas de calor.

Nota: A maioria dos rankings baseia-se em números absolutos de investimento, capacidade de geração ou produção de energia elétrica ou produção de biocombustíveis; se calculados em termos per capita, do PIB nacional ou alguma outra base, os rankings seriam diferentes para muitas categorias (como pode ser visto nos rankings per capita para energia elétrica renovável, solar FV, eólica e capacidade de coletores solares para água).

As principais fontes de energias renováveis com maiores investimentos são as eólicas e solares. A Energia solar obteve o primeiro lugar em 2015, de investimentos com US\$ 161 bilhões (12% a mais em relação a 2014). Já a Energia Eólica obteve o segundo lugar com investimentos de US\$ 109,6 bilhões, ou 38,3% do total (aumento de 4%). Apesar do destaque dessas fontes de energia, o restante das tecnologias teve um decréscimo em relação ao ano de 2014. As hidrelétricas de pequeno porte tiveram uma queda de 29%; para os biocombustíveis o decréscimo foi de 35%; energia geotérmica de 23%; biomassa e energia através de resíduos 42% e em energia oceânica, de 42%. A Figura 13, mostra dados relacionados ao consumo mundial de energia em 2014, onde nota-se que os combustíveis fósseis ainda são predominantes, mas que fontes de energia solar, eólica, biomassa e geotérmica vêm sendo consumidas pelos países.

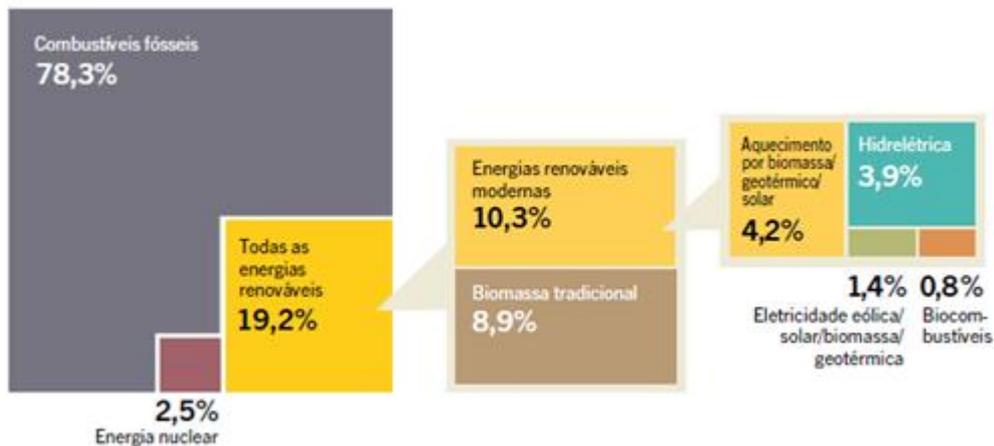


Figura 13 – Participação de Energias Renováveis na produção mundial de energia, 2014

Fonte: REN21 (2016)

Na Figura 14, são apresentados os dados da produção mundial de eletricidade de energias renováveis em 2015, em que é possível notar que a energia hidrelétrica ainda é predominante, apesar de outras fontes já estarem sendo bastante exploradas.

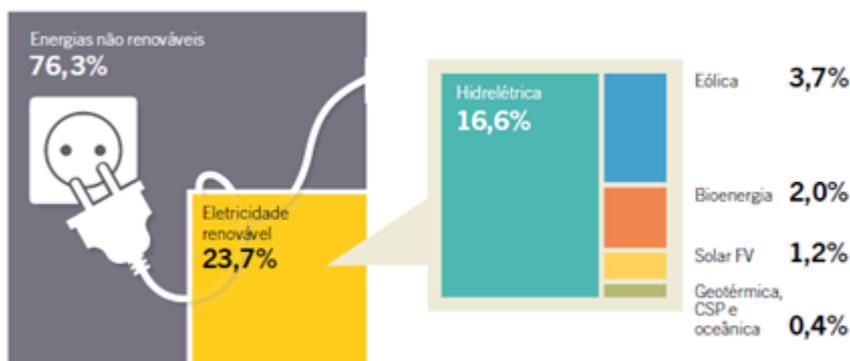


Figura 14 – Participação de Energias Renováveis na produção mundial de eletricidade, final de 2016

Fonte: REN21 (2016)

Com base na capacidade de geração de energias renováveis no final de 2015, as porcentagens não produzem a soma correta das partes devido a um arredondamento.

A Figura 15 mostra que a capacidade de geração de energia eólica é alta em sete principais países como China, Estados Unidos, Alemanha, entre outros, sendo seguida pela capacidade de geração de energia solar fotovoltaica, bioenergia, geotérmica, energia solar concentrada e oceânica.

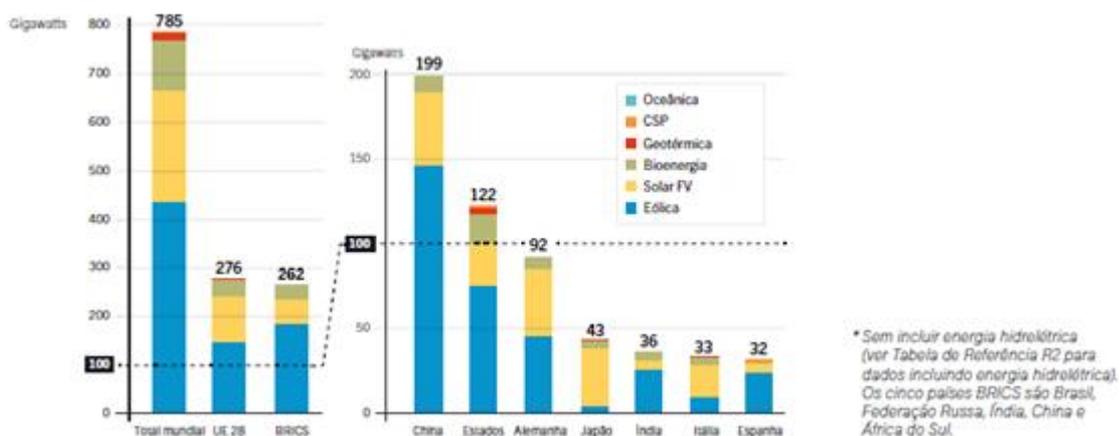


Figura 15 – Capacidade de eletricidade renovável no mundo, UE 28, BRICS e sete países, final 2015

Fonte: REN21 (2016)

A Figura 16 mostra que grande parte dos países no mundo está comprometida com metas e políticas relacionadas à eficiência energética e apenas alguns países ainda não estão buscando realizar políticas relacionadas ao tema.

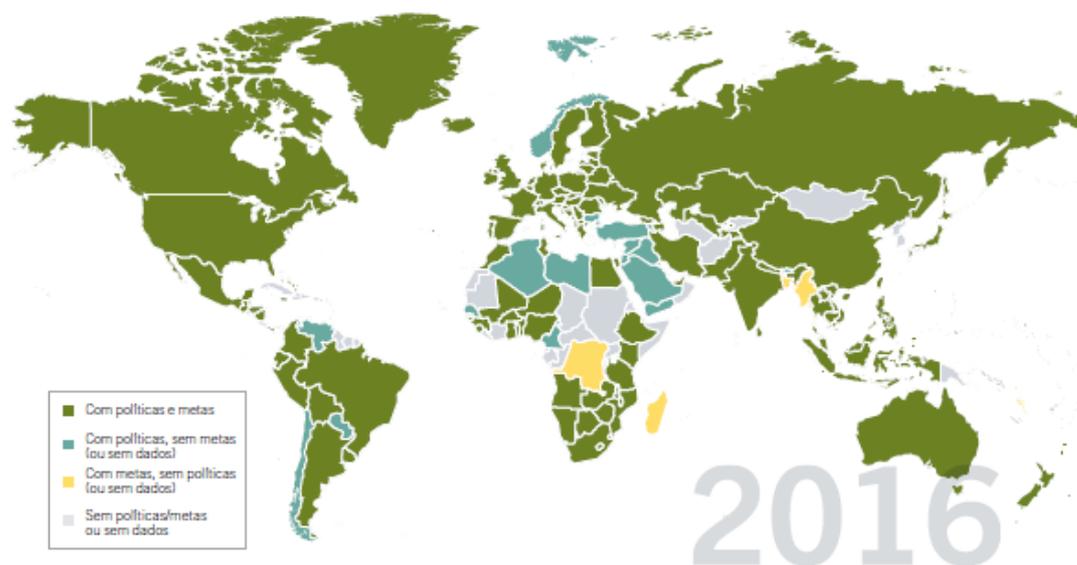


Figura 16 – Países com políticas e metas de eficiência energética,2016

Fonte: REN21 (2016)

O ano de 2015, para algumas fontes de energia, foi marcado pelo aumento dos investimentos em tecnologia. Apesar disto, muitas fontes tiveram seus investimentos diminuídos em relação a 2014. A Figura 17 mostra os dados dos investimentos comparando os países desenvolvidos com os em desenvolvimento, sendo possível notar que os países em desenvolvimento estão apresentando valores significativos.

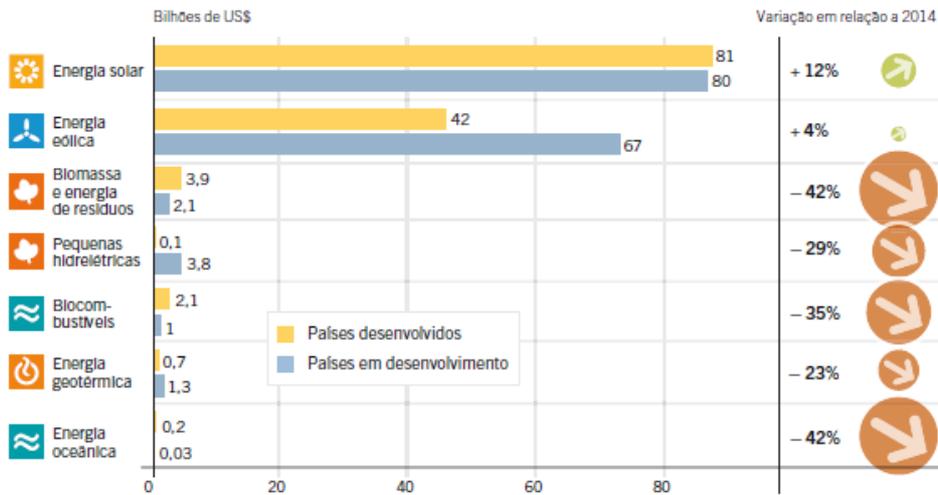


Figura 17 – Novos investimentos mundiais em Energias Renováveis por tecnologia, países desenvolvidos e em desenvolvimento

Fonte: REN21 (2016)

Estudos publicados pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, em inglês), que quantifica os dados dos custos econômicos, ambientais e sociais, mostra que se a participação de energias renováveis na matriz energética do mundo dobrasse até 2030, seria possível diminuir drasticamente as emissões de gases que são nocivos à saúde humana como o amoníaco, compostos orgânicos voláteis, dióxido de enxofre e através disso salvar aproximadamente 4 milhões de vidas por ano até 2030. Como as projeções para a demanda de combustíveis fósseis só aumentam, a tendência é que se aumentem as taxas de poluição do ar. Então, ao se investir em energias renováveis, conseqüentemente se diminuiria as emissões de gases nocivos à saúde humana e o estudo ainda acrescenta que seria possível uma economia de US\$ 3,2 trilhões por ano até 2030 de gastos que seriam utilizados com a saúde.

### 3.2.4.3. Eficiência Energética

No Brasil, as medidas de conservação de energia têm progredido de maneira lenta, muitas vezes ocasionada por dificuldades econômicas em se tornar atrativa a compra de um equipamento novo, ou a troca do mesmo tem sido um fator a se considerar. Geralmente, os consumidores não estão dispostos a financiar economicamente as mudanças. Mesmo, muitas vezes a mudança sendo atrativa, o consumidor se depara com outros empecilhos como a falta de profissionais capacitados para explicar as informações contidas nos produtos, a vida útil dos equipamentos existentes. Além disso, muitas vezes os consumidores não tomam decisões corretas no momento da compra, sendo necessárias medidas mitigadoras do governo em

relação a isso.

Como exemplo de medidas de eficiência energética, pode ser citada a retirada do mercado das lâmpadas incandescentes, que se fez de maneira gradual, dando início em 2012 com a eliminação das lâmpadas de potência igual ou superior a 150W, de acordo com a regulamentação da Portaria MME/MCT/MDIC nº 1.007/2010. Em seguida, pelas de potência acima de 60W até 100W em 2013, e em 2014 com as lâmpadas de 40W até 60W, além da substituição das lâmpadas de potência menores que 40W até 2016, sendo o ciclo de substituição das lâmpadas encerrado no final de junho de 2016 com a sua proibição de comercialização no país, e sujeito a penalidades aos que não atenderem à legislação. Com essas modificações, a ONU prevê uma economia de 5% ao ano de toda energia utilizada no mundo, e a economia na troca de uma lâmpada incandescente para um fluorescente compacta é de 75% (MME, 2016).

No país, existem incentivos a projetos de eficiência energética que objetivam identificar melhorias nas indústrias, treinar e capacitar profissionais, acompanhar a implementação das ações e disseminar os resultados, além de apoios financeiros e possibilidades de financiamentos em longo prazo para venda de máquinas e equipamentos fabricados no Brasil. Também de acordo com o projeto de Lei 3672/12 são exigidos das distribuidoras de energia elétrica, que 0,5% de sua receita operacional líquida seja empregada em medidas para o uso racional da energia, porém esse projeto encontra-se suspenso. Apesar dos investimentos neste âmbito, o governo brasileiro não apresenta uma política energética para os próximos anos, com os objetivos que devem ser alcançados com a conservação de energia, estudos de viabilidade das medidas analisadas, estratégias e prazos para a aplicação das ideias. É importante ressaltar que as melhorias no país com a eficiência energética proporcionam não só benefícios ao setor energético, mas também ambientais e possibilitam maior competitividade no mercado (SANT'ANA; BAJAY, 2013).

Algumas soluções para a diminuição do consumo de energia elétrica são medidas de eficiência energética, emprego de tecnologias ao setor visando evitar-se o desperdício. Neste âmbito, o governo brasileiro investe em programas para a conservação da energia como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e o CONPET (Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural). Através do PROCEL, deu-se início o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em que se etiqueta vários modelos de produtos elétricos com informações referentes ao seu nível de eficiência

dentre uma escala de A a E, sendo A mais eficientes e E menos eficientes. Além disso, o PROCEL também apresenta um subprograma em que produtos dentro de uma mesma linha que apresentem índices de consumo e desempenho superiores aos outros recebem o Selo PROCEL. Estas medidas possibilitam ao consumidor escolher o produto mais eficiente no momento da compra e obter reduções em sua conta de energia elétrica (MOURA; LUIS; PENTEADO, 2012).

#### **3.2.4.4. Tomada de decisão**

Ao se ter uma situação em que existe a possibilidade de melhoria ou otimização, ou até mesmo quando se tem um cenário com uma oportunidade ou problema, é necessária uma decisão (MALCZEWSKI, 1999).

A tomada de decisão é um ato que constantemente se apresenta na vida dos indivíduos, muitas vezes sem ao menos ser notada. Através dos métodos multicritérios é possível ser solucionados problemas complexos e de difíceis decisões pelos procedimentos usuais, pois os mesmos auxiliam na tomada de decisão, oferecendo clareza e transparência aos dados. Logo, este processo consegue identificar através de diversas alternativas disponibilizadas o melhor caminho a se seguir. (MARINS et.al, 2009).

Russo e Schoemaker (1990) citam algumas falhas que são constantemente cometidas pelos tomadores de decisão, tais como: resolução dos problemas de maneira equivocada, não utilização de acontecimentos anteriores, ausência de coleta de dados e decisões precipitadas, excesso de confiança nas pessoas envolvidas no processo e na experiência dos mesmos e não aos dados disponíveis, falta de organização e compreensão do material recolhido, basear-se apenas em regras práticas, não definir de maneira consistente o problema, além de não acompanhar os problemas.

Segundo Saaty (1991), a avaliação de alternativas em que se busca satisfazer um grupo de objetivos, é um método de tomada de decisão, sendo a sua principal dificuldade identificar a solução ótima do problema, que satisfaça os objetivos.

### **3.3. Espaço Temporal**

Para a evolução do setor elétrico devem ser envolvidos desde os investidores que realizam construções da rede, o governo e até mesmo os consumidores visando à expansão do fornecimento de energia e o gerenciamento da demanda. As decisões estabelecidas no setor

ocasionam em mudanças em todo o país, e estas novas concepções e desafios operam no espaço temporal, no âmbito operacional, curto, médio e longo prazos e as técnicas e modelos de otimização que são utilizados para se prever as demandas de energia necessária diferenciam com a fonte de energia e tecnologia aplicada. A Figura 18 apresenta um esquema das iterações do espaço temporal do mais completo ao mais simples. E em seguida, serão apresentados alguns modelos de otimização utilizados no Brasil para o abastecimento elétrico.

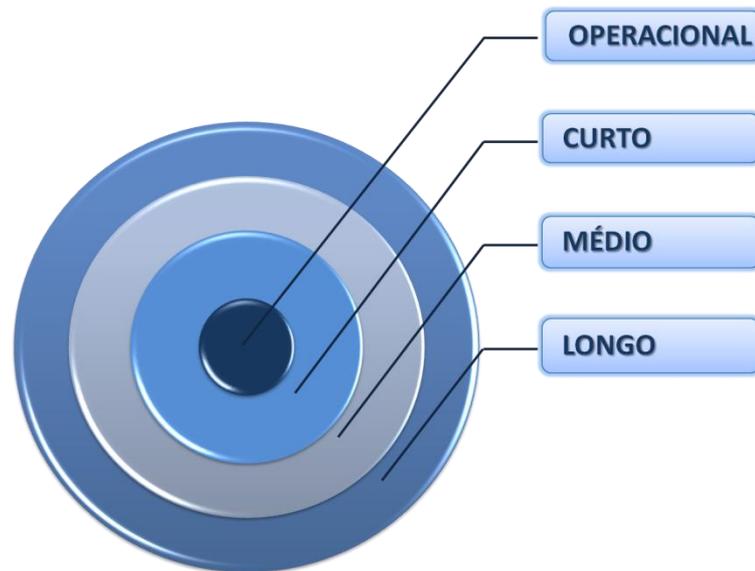


Figura 18 – Iteração do Espaço Temporal

Fonte: Elaborada pela autora

O planejamento energético brasileiro muitas vezes não apresenta diretrizes para investimentos em redes inteligentes. Não são aplicados esforços para controle pleno da rede, com mecanismos integrados para continuidade do abastecimento e monitoramento do gasto energético e envolvimento dos consumidores. No Brasil, ainda existem temas a serem aprimorados em relação à evolução energética, principalmente em relação a avanços operacionais ligados ao consumo, demanda, maior participação dos consumidores em campanhas de conscientização do uso racional da energia, emprego de novas tecnologias e geração distribuída. É necessário equilibrar o setor elétrico brasileiro e aperfeiçoar a visão estratégica como um todo (ALBERTO; LIMA; JANNUZZI, 2012).

### 3.3.1. Modelos de Otimização

No Brasil, apesar da grande diversidade de fontes de energia, o sistema que predomina é o hídrico, sendo este um sistema mutuamente dependente de outro. Isto significa que a

operação de uma usina afeta as outras que estão na sua vazante. Além disso, o sistema de transmissão brasileiro é quase todo interligado, sendo assim os procedimentos devem ser realizados de maneira segura e eficiente (BARAN, 2005).

A Figura 19 apresenta o mapa do sistema interligado brasileiro.

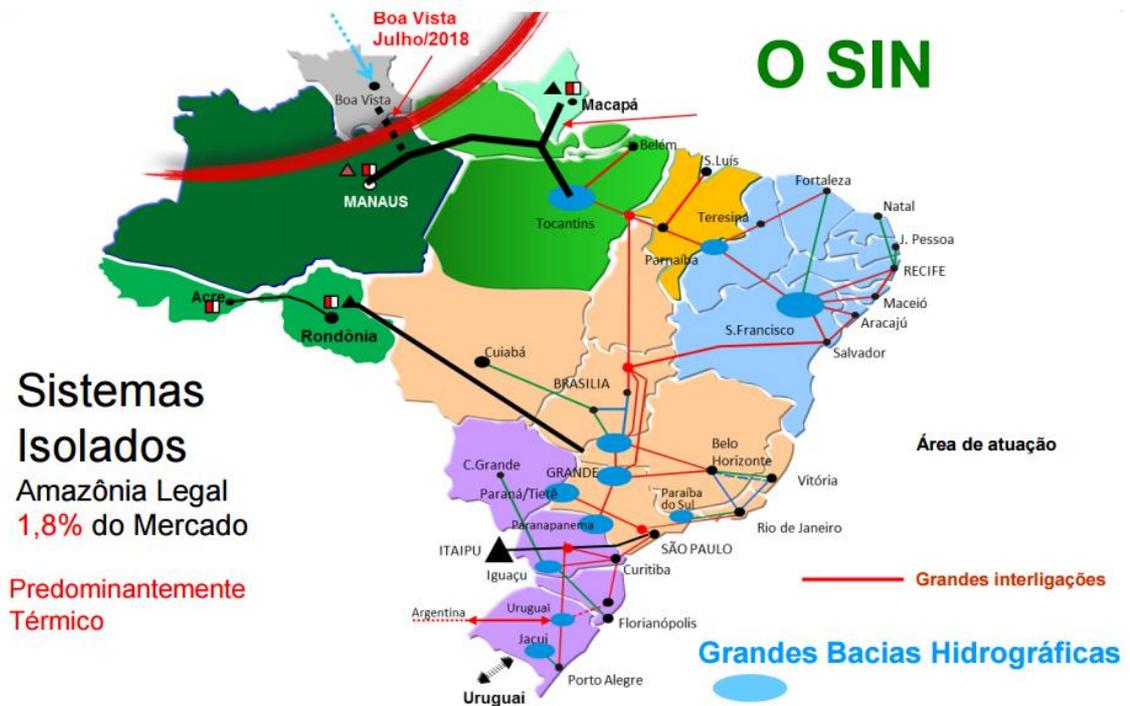


Figura 19 – Expansão do Sistema Interligado Nacional

Fonte: CCEE (2016)

O Planejamento Anual da Operação Energética (PEN) é executado anualmente e suas revisões realizadas de quatro em quatro meses. Para a sua realização, são recebidos dados das autoridades setoriais e dos agentes associados para que se possa elaborar uma previsão sobre a oferta e demanda de energia. O ONS realiza o planejamento energético através de modelos matemáticos de otimização e simulação. Em cada etapa são utilizados modelos que apresentam níveis de detalhamentos diferentes e que abrangem horizontes de estudos distintos, sendo para os cenários de curtíssimo prazo um intervalo diário, curto prazo com intervalos semanais e mensais e de médio prazo com intervalo mensal. Através destes modelos, são elaboradas estratégias de operação e análises para o suprimento do SIN (CCEE, 2012).

A Figura 20 apresenta um esquema dos modelos realizados pelo SIN para previsão da demanda de energia nos cenários de curto prazo, entre outros.



Figura 20 – Modelos utilizados pelo SIN

Fonte: CCEE (2016)

Todos estes modelos levam em consideração a Função de Custo Futuro (FCF), conforme Figura 21, que um modelo apresenta ao outro e foram desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL.

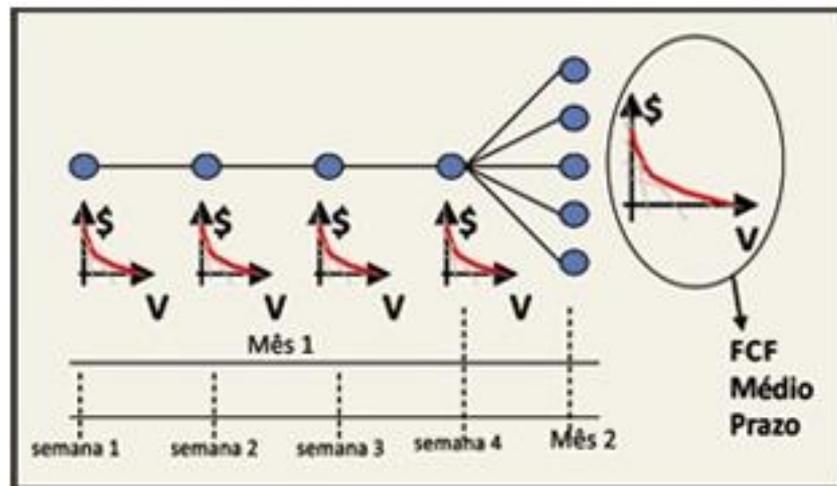


Figura 21 – Função de Custo Futuro (FCF)

Fonte: DECOMP (2017)

O planejamento hidrotérmico brasileiro estabelece as metas de geração a cada Usina no país e é realizado visando atender a demanda e a minimizar o custo de operação, sendo este custo estabelecido pelo custo variável do combustível utilizado nas Usinas termelétricas e pelo custo causado pelas interrupções do fornecimento de energia. Neste sistema é necessária a determinação do valor da geração hidrelétrica e a sua comparação com o valor da geração

térmica. A solução para este problema é determinada em etapas e nestas etapas são utilizados modelos de otimização diferentes, abrangendo os horizontes de longo, médio e curto prazo, além da programação da operação diária.

Para o período de médio prazo, o modelo de otimização utilizado é o Newave em que realiza estudos para horizontes de até 5 anos, através de intervalos mensais, buscando otimizar os fluxos anuais dos cursos de águas naturais do sistema e verificar qual o menor custo de operação para as usinas hidrelétricas e térmicas, sendo a modelagem realizada por meio de subsistemas compatíveis de energia, transmissão de energia entre os subsistemas e pelo custo unitário de combustível utilizado nas usinas térmicas (BATISTA, 2007).

Já no período de curto prazo, o modelo utilizado é o Decomp, que elabora os estudos baseado em um horizonte de dois a seis meses, com intervalos semanais. Neste estudo, através dos dados do planejamento de médio prazo, são determinadas metas individuais de geração das usinas hidráulicas e térmicas, e as afluências são consideradas determinísticas e aleatórias ou formadas por uma combinação entre as duas (BATISTA, 2007).

E para a programação diária, o modelo computacional utilizado é o Dessem, e o horizonte de estudo é de até uma semana e os intervalos de meia hora. Neste caso, as vazões são específicas, as restrições de operação são adicionadas e a rede de transmissão é detalhada (BATISTA, 2007).

### **3.3.1.1. Modelos de Otimização de Médio Prazo - Newave**

O modelo Newave é utilizado para o planejamento energético a médio prazo, apresentando suas etapas divididas mensalmente, contemplando um horizonte de estudo de 5 anos para o planejamento energético e a longo prazo de até 20 anos. Para o planejamento da operação, as usinas hidrelétricas de uma mesma região e com características parecidas são agrupadas em um único reservatório. No momento, o modelo contempla quatro grandes reservatórios: Norte, Nordeste, Sul e Sudeste/Centro-Oeste, que compõem o sistema interligado e possibilitam essa transferência de energia de um para o outro. Já para o parque térmico é apenas visualizado de maneira individual.

O programa Newave adota a técnica de Dinâmica Dual Estocástica que permite verificar a evolução do sistema, disponibiliza a função custo futuro que possibilita a construção do modelo de curto prazo Decomp e a sua combinação para a política de operação de curto e médio prazo, e o estabelecimento de estratégias para a operação de múltiplos

reservatórios.

Segundo CCEE (2012), a Figura 22 apresenta um esquema com a representação dos submercados do Newave em que as usinas hidrelétricas são demonstradas através de um único reservatório igual e as linhas de transmissão que são conectadas aos submercados.

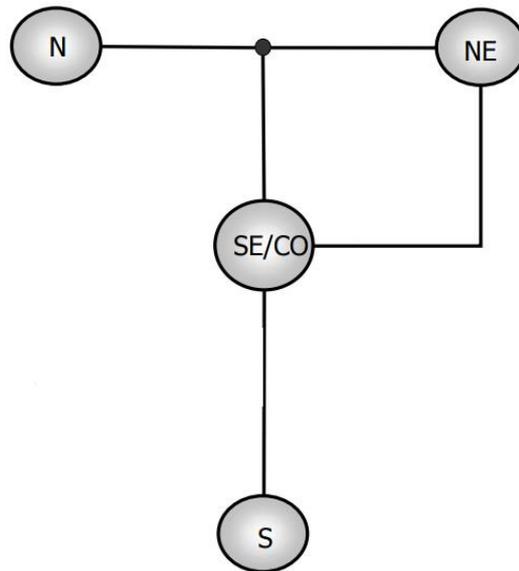


Figura 22 – Representação dos submercados do SIN no modelo Newave

Fonte: CCEE (2016)

A Figura 23 mostra um fluxo em relação ao planejamento da operação eletroenergética no Brasil e quais são as restrições consideradas e como são previstas as vazões das usinas e da carga.

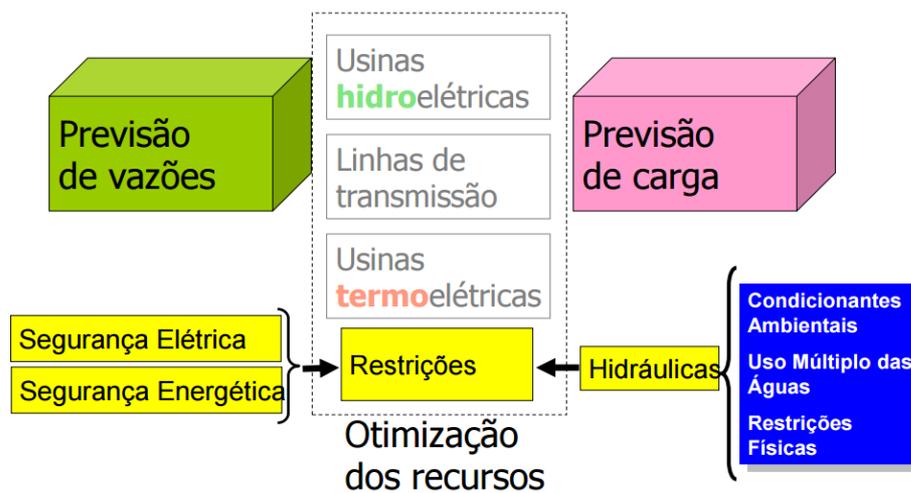


Figura 23 – O Planejamento da Operação Eletroenergética

Fonte: CCEE (2016)

### 3.3.1.2. Modelo de Otimização de Curto Prazo – Decomp

O Modelo de Determinação da Coordenação da Operação a Curto Prazo – DECOMP foi desenvolvido na década de 80, mas apenas teve seus testes após 1995. O programa é um modelo de otimização para as usinas individualizadas, que é capaz de se adicionar as restrições de operação e dos equipamentos de geração, da malha de transmissão, além de requisitos ambientais (DAHER, 2006).

O modelo DECOMP proporciona que os recursos energéticos sejam otimizados, considerando-se alguns elementos, dentre eles:

- Geração através de pequenas bacias;
- Indisponibilidade de usinas geradoras;
- Irrigação, evaporação e transposição de vazões;
- Enchimento do volume morto;
- Restrições elétricas, entre outros.

Segundo Fonseca (2013), nos estudos de curto prazo, para a realização da modelagem, o primeiro mês é dividido em etapas semanais, e para estas semanas as afluições não são consideradas; apenas para as outras etapas em que o custo futuro é adicionado, pois para a primeira semana operativa do mês é utilizado o programa Newwave para cálculo.

O modelo Decomp retrata cada usina individualmente como mostra a Figura 24, comparativa entre os modelos Newwave e Decomp.

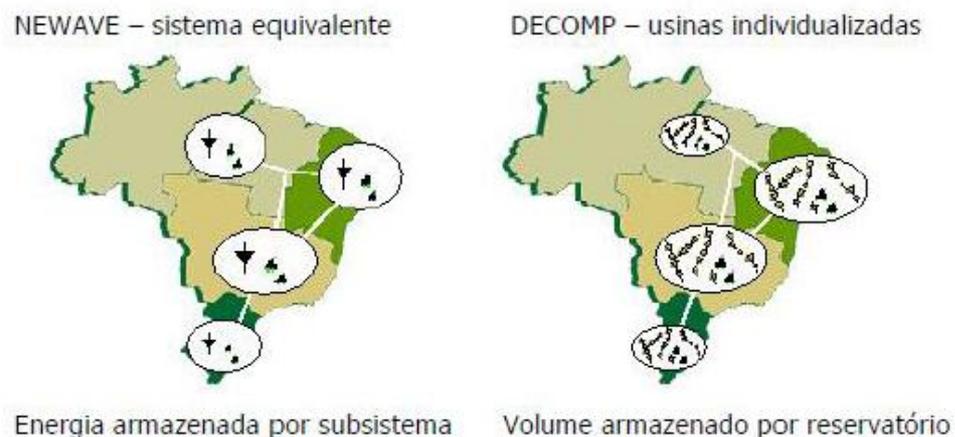


Figura 24 – Comparação modelo Newwave versus Decomp

Fonte: CCEE (2009)

### **3.3.1.3. Modelos de Otimização Diário – Dessem**

O Modelo de Despacho Semanal – DESSEM, desempenha modelos computacionais para a programação diária da operação de energia. O programa apresenta as mesmas características do Decomp, mas com o benefício de se prever um horizonte mais próximo de até 15 dias, além de resolver problemas de otimização da operação diária dos sistemas hidrotérmicos de maneira mais assertiva, considerando os menores custos, restrições do sistema, impactos elétricos e a diminuição do uso de termoelétricas, e riscos de déficit (CEPEL, 2015).

O Dessem também pode ser empregado em estudos para cálculo dos reservatórios e de despacho ótimo em que podem ser adicionadas metas para os reservatórios ao final do horizonte e para análises de sensibilidade das mudanças de configuração ou outros fatores que não estão nos processos, como afluências aos reservatórios (CEPEL, 2015).

## **4. ANÁLISE DAS INFLUÊNCIAS DAS TECNOLOGIAS**

As diferentes tecnologias podem interagir de diversas maneiras em cada espaço físico e mudarão o mundo, transformando a vida cotidiana, os processos produtivos nas indústrias e proporcionando benefícios ambientais para o planeta. É previsto que no futuro, tudo esteja conectado através de micro sensores integrados nos carros, termostato e fechaduras, possibilitando transmitir informações entre si. Além disso, o uso de baterias menos nocivas ao meio ambiente e mais potentes tem se tornado uma solução para a difusão de energias renováveis e abastecimento de comunidades afastadas dos grandes centros urbanos. O capítulo em questão analisará as mudanças provocadas em cada espaço físico com a adição das tecnologias para o planejamento energético.

### **4.1. Contexto tecnológico**

A energia utilizada nas residências para o funcionamento dos equipamentos elétricos em sua maioria é gerada por grandes usinas hidrelétricas e a sua transmissão é realizada através de redes interligadas que operam no país, sendo capazes de abastecer tanto as residências, indústrias e as regiões onde os consumos são altos, tudo isso através desta energia gerada pelas usinas e distribuídas em todo o país. A Figura 25 apresenta um fluxo, exemplificando o caminho da energia elétrica deixando as usinas, até chegarem às residências.

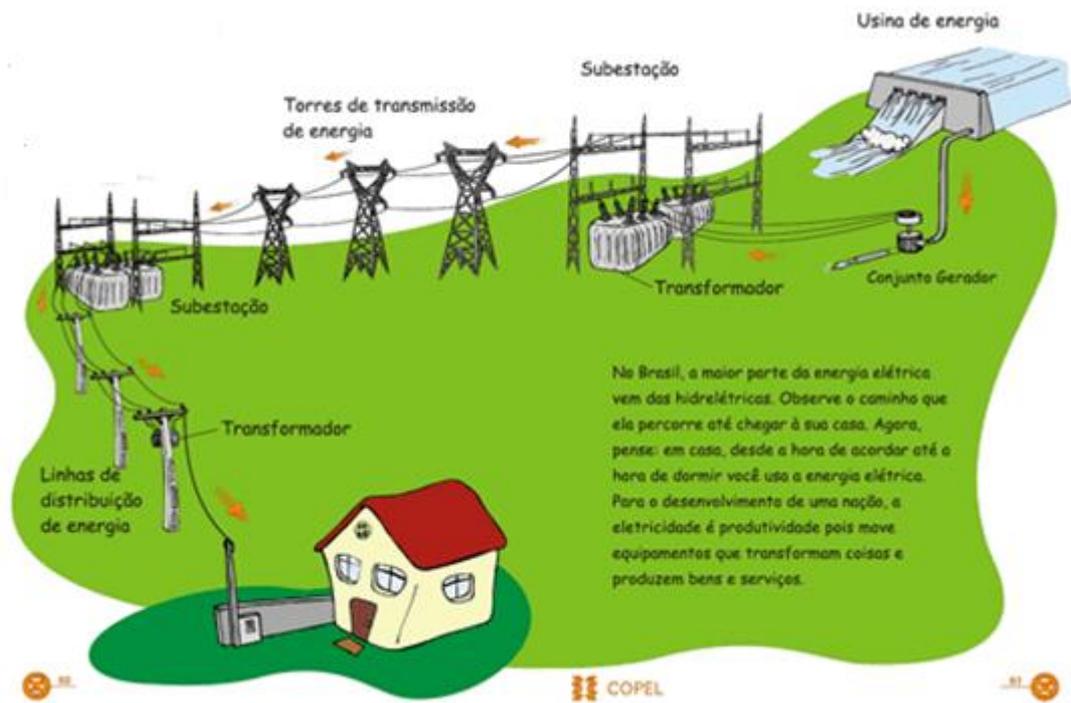


Figura 25 – O caminho da energia elétrica até a sua casa

Fonte: Copel (2016)

Apesar disso, o processo para o fornecimento de energia apresenta diversas perdas principalmente em relação a sua transmissão até os centros de consumo e ocasionam no aumento das tarifas de energia elétrica. Muitas vezes a estratégia utilizada pela matriz energética brasileira prioriza programas para sanar a demanda de energia com a construção de novas usinas e fontes de geração e não priorizam atuar na solução dos problemas de perdas de energia elétrica nas linhas de transmissão.

A implementação de novas tecnologias pode influenciar em diversas maneiras o setor elétrico, desde a diminuição da emissão de combustíveis fósseis, desenvolvimento sustentável, até na prospecção de energia futura e da necessidade ou não de se construir novas usinas. Essas tecnologias apresentam diversas iterações entre si e benefícios para diferentes espaços físicos, como o nacional, estadual, municipal e residencial. Cada tipo de mudança adicionada ao setor pode contribuir para um planejamento energético diferente.

#### 4.1.1. Inovação Tecnológica

O setor elétrico brasileiro passou por diferentes estruturações desde a década de 90 em que o mercado começou a tornar-se mais competitivo. Neste sentido, é possível afirmar que o

setor foi impulsionado por essas mudanças que ocorreram, sendo a história do planejamento energético uma das modificações que trouxeram diversas melhorias ao setor. A Figura 26 apresenta o sistema de inovação tecnológica do setor de energia.



Figura 26 – Sistema de inovação tecnológica do setor de energia

Fonte: CGEE (2012)

Entre as principais ações públicas durante esse período, destaca-se o surgimento da empresa de pesquisa energética visando proporcionar o planejamento futuro, um balanço da demanda de energia real ao longo do ano, e pesquisas que buscam desenvolver o setor e oferecer benefícios à sociedade. Além disso, outros agentes como a ANEEL e o MME surgiram buscando organizar o setor elétrico através de estudos, controle de tarifas, entre outros.

Através destas modificações do setor, houve um incentivo das empresas a se tornarem mais competitivas e a buscar desenvolver novas soluções e inovações para se diferenciar no mercado. As prioridades foram alteradas, além dos interesses e foco das pesquisas e desenvolvimento do setor.

Diversas iniciativas podem auxiliar no desenvolvimento de ações para o setor de energia. É possível verificar um grande interesse do governo brasileiro através dos planos decenal e do nacional de expansão de energia. A busca de alternativas como fontes renováveis para a diversificação da matriz e a diminuição da dependência de recursos hídricos se altera

no decorrer das estações, sendo estas novas fontes, complementares às fontes utilizadas atualmente.

Estas fontes estão disponíveis de maneira inesgotáveis, mas a sua geração de energia é possível apenas em momentos específicos. Podem ser exploradas localmente, assim as projeções para os custos de energia elétrica podem ser diminuídos, e as emissões de combustíveis fósseis também, já que esses combustíveis se apresentam de maneira finita na natureza e isso diminuiria a dependência do país em relação à importação de outros países de petróleo e gás natural.

Com o aumento dos investimentos em tecnologias e a diminuição dos custos de instalação no futuro, a produção de energias renováveis será significativa, e é possível até que ocorra a redução de doenças respiratórias causadas devido à emissão de combustíveis fósseis.

No Brasil, o indicador elaborado pela Coordenação-Geral de Indicadores (CGIN) - ASCAV/SEXEC e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) mostra, de acordo com a Figura 27, que os investimentos no país desde 2000 até 2013 em Ciência e tecnologia (C&T) contemplam: pesquisa e desenvolvimento (P&D) e atividades científicas e técnicas correlatas (ACTC) apresentam uma evolução e o aumento da exploração do conhecimento e tecnologia nos últimos anos, mostrando como estes investimentos têm aumentado no país.

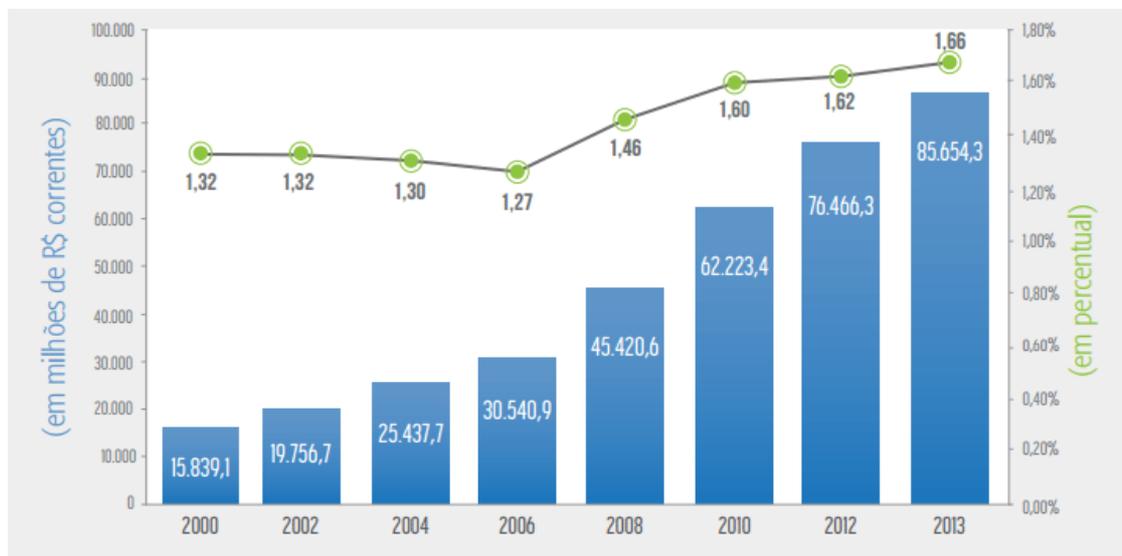


Figura 27 – Dispêndio nacional (C&T), em valores correntes, e em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) de 2000 a 2013

Fonte: Coordenação Geral de Indicadores - ASCAV/SEXEC - Ministério da Ciência e Tecnologia.

Com o aumento destes investimentos em pesquisas para o desenvolvimento do setor desde 2010, as empresas distribuidoras de energia são obrigadas a investir 0,2% de sua receita líquida operacional em inovação e os geradores e transmissores 0,4% da receita para P&D. A Figura 28 mostra como a participação dos investimentos em pesquisas desde 2008 tem sido aplicada no país, sendo as fontes alternativas, os projetos com maiores participações, principalmente com o foco na diversificação da matriz.

## **ENERGIA ALTERNATIVA**

### **Novas fontes concentram investimentos em inovação**

#### **Projetos com maior participação no valor dos investimentos realizados desde 2008, em %**

Fontes alternativas de geração de energia elétrica	24,9
Supervisão, Controle e Proteção de Sistemas de Energia Elétrica	12,0
Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica	11,1
Operação de Sistemas de Energia Elétrica	7,2
Meio Ambiente	7,1
Medição, faturamento e combate a perdas comerciais	5,3

Figura 28 – Investimentos em inovação no Brasil  
Fonte: Abesco (2015)

Além disso, desde 2010, a Aneel busca estimular o setor privado a investir em projetos inovadores e principalmente considerando os investimentos nas fontes solar, eólica e resíduos sólidos. O número de pedidos para a liberação de recursos se manteve significativo, sendo que mais de R\$1,2 bilhão foi designado para o desenvolvimento de energia renovável ou térmica.

A Figura 29 apresenta dados dos projetos que foram submetidos à Aneel desde 2008. Apesar do aumento da submissão de projetos até 2012, a crise que atingiu o setor elétrico em 2013 contribuiu para a diminuição dos projetos, juntamente com os projetos que já são obrigados a serem realizados pelas empresas.

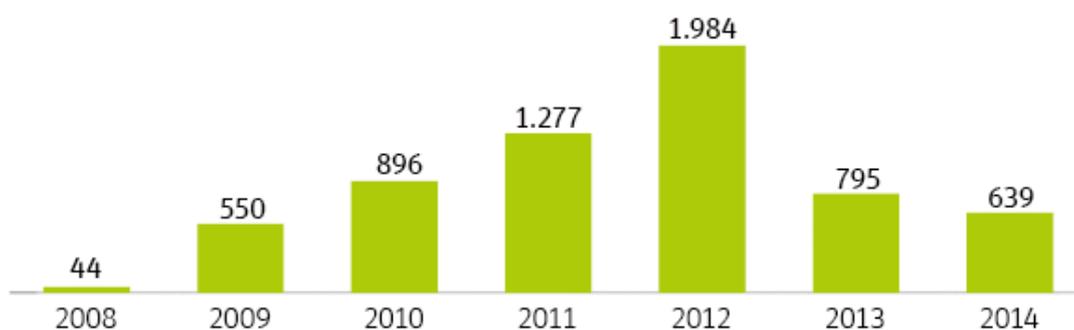


Figura 29 – Submissão de pedidos feitos a Aneel para liberação de recursos, em R\$ milhões

Fonte: Abesco (2015)

A Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (Anpei) acompanha a redução de custos em relação aos orçamentos de P&D do governo, reforçando sempre a necessidade de ser construído um contexto para inovação tecnológica em que os recursos possam ser assegurados. Para que se possa atingir a meta da estratégia nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, o governo necessita incentivar as empresas privadas a investir mais em pesquisa e desenvolvimento. É possível observar pela Figura 30 que o setor privado apresenta gastos de aproximadamente (47%) do total; se compararmos com outros países como Estados Unidos, Alemanha, China, Coreia do Sul e Japão, estamos muito abaixo deles, onde os investimentos são de aproximadamente 70%.

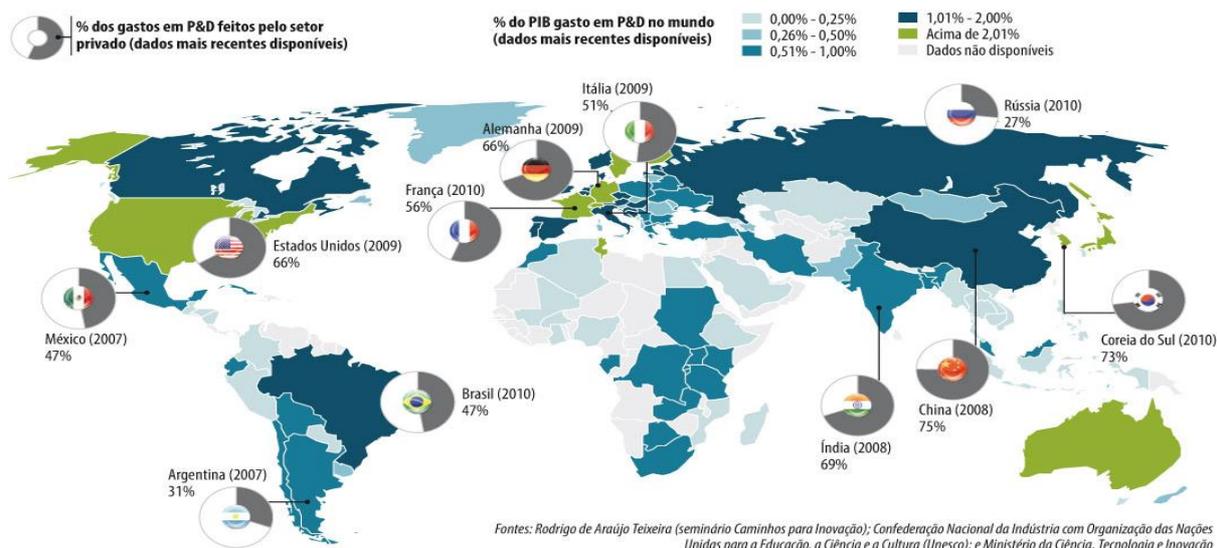


Figura 30 – Gastos em pesquisa e desenvolvimento no Mundo

Fonte: Rodrigo de Araújo Teixeira (Seminário Caminhos para Inovação)

As aplicações em inovação contribuem para o desenvolvimento sustentável, e essas medidas são capazes de modificar todo o planejamento energético do país, desde a diminuição dos gases do efeito estufa a diversificação da matriz. Neste caso, devem sempre ser correlacionados os investimentos em pesquisas e o que eles ocasionam no planejamento e quais benefícios se conseguem obter a longo prazo.

## 4.2. Análise de Espaços Físicos

As tecnologias nos Espaços físicos podem apresentar maior interferência em um espaço, mas muitas vezes podem interferir e impactar em outros ao mesmo tempo. A Figura 31 apresenta os espaços e as tecnologias classificadas de acordo com a sua maior presença, seja nos âmbitos nacional, estadual, municipal e no setor residencial. Apesar das classificações apresentarem o espaço que mais influencia, todos os espaços estão conectados uns aos outros.

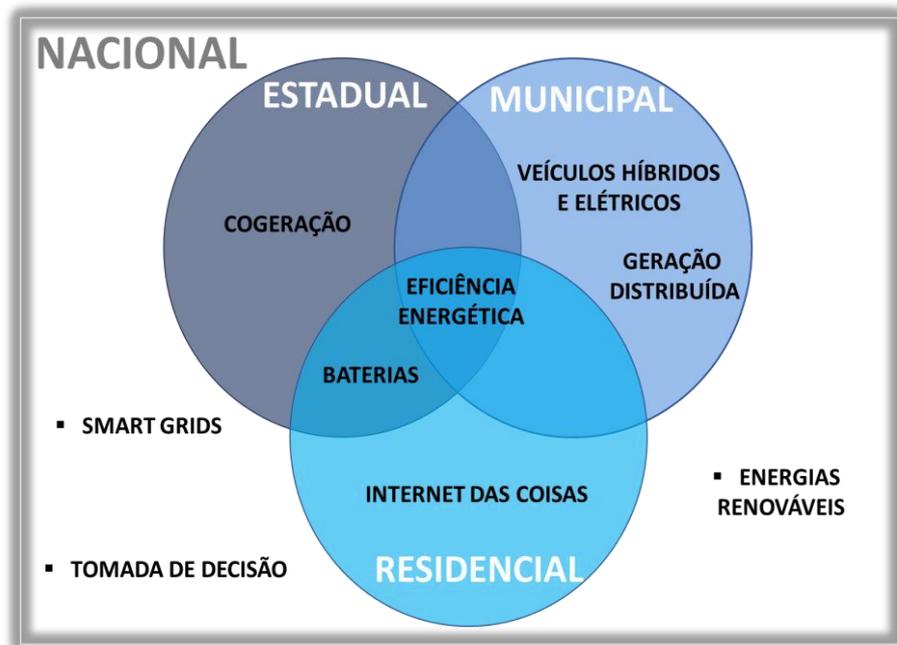


Figura 31 – Diagrama do Espaço Físico

Fonte: Elaborada pela autora

### 4.2.1. Intersecções Tecnológicas

As intersecções tecnológicas para o setor elétrico são as novas tecnologias que apresentam modificações para o planejamento energético, tanto do país inteiro, quanto do estado, município e residências e suas prováveis modificações serão analisadas a seguir.

#### 4.2.1.1. Eficiência Energética

Abrangendo todo o país, as medidas de eficiência energética conseguem modificar o planejamento energético. O estudo de demanda de energia elétrica para o período de 2017-2026 apresentou os ganhos de eficiência energética acumulada a partir de 2016 para este período. A Tabela 5 e a Figura 32 mostram os percentuais de redução do consumo de energia em cada classe, sendo estimada em 2021 uma redução de 2,3% e para 2026, 4,1%. Os ganhos adicionais em 2026 proporcionam um decréscimo de geração de energia em torno de 4 GW médio, sendo equivalente à metade da capacidade da usina hidroelétrica de Itaipu. Deve-se ressaltar o quanto foram importantes as medidas de eficientização em todo país, como a mudança das lâmpadas incandescentes e outras que foram realizadas nos últimos anos, impactando positivamente todo o cenário energético.

Tabela 5 – Eficiência Percentual de redução do consumo por classe (%)

<b>Classe</b>	<b>2021</b>	<b>2026</b>
<b>Residencial</b>	<b>1,7%</b>	<b>4,1%</b>
<b>Industrial</b>	<b>2,3%</b>	<b>3,8%</b>
<b>Comercial</b>	<b>3,2%</b>	<b>5,0%</b>
<b>Outras</b>	<b>2,3%</b>	<b>3,8%</b>
<b>Total</b>	<b>2,3%</b>	<b>4,1%</b>

Fonte: Projeção da demanda de energia elétrica (2017-2026)

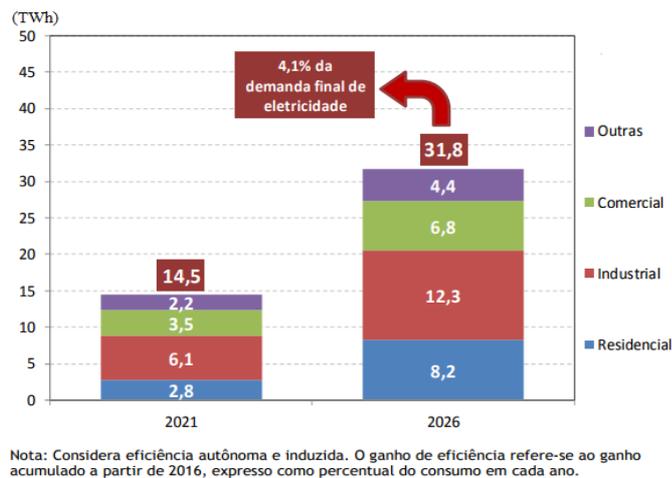


Figura 32 – Ganhos de eficiência (TWh)

Fonte: Projeção da demanda de energia elétrica 2017-2026 (2017)

Mas ainda existem muitos desafios para a eficiência energética no Brasil, principalmente relacionados à questão de sustentabilidade financeira como o desconhecimento das vantagens por parte dos empresários, falta de conscientização da população e captação de recursos.

#### 4.2.1.2. Baterias

Com o aumento dos investimentos em tecnologias renováveis, houve também um aumento da demanda de baterias que auxiliam no armazenamento de energia para os períodos de alta produção. Nos períodos de baixa produção, esta energia pode ser utilizada. Apesar dos benefícios em seu uso, as baterias apresentam desvantagens financeiras em relação ao seu custo, não sendo ainda economicamente viáveis.

Com a redução dos preços das baterias, são possíveis maiores investimentos em carros elétricos, já que os mesmos apresentam um alto valor devido ao custo das baterias inseridas neles, e devido a sua durabilidade e autonomia ainda não ser robusta o suficiente para o setor. Logo, com o aprimoramento da tecnologia, é possível que em um futuro próximo, as baterias sejam totalmente inseridas no setor automobilístico.

O Plano Nacional de Energia (PNE) prevê, através do planejamento energético brasileiro, que até 2050, aproximadamente 15 milhões de domicílios irão instalar placas solares, sendo as residências responsáveis pela geração de aproximadamente 13% da energia do país.

Apesar dos benefícios com o desenvolvimento de baterias, é possível se ter uma sobrecarga de energia voltada para rede elétrica futuramente, devido ao país apresentar uma estrutura antiga e que foi projetada apenas para fornecer energia às residências e indústrias. Problemas como esses já estão presente no Havaí, onde se utilizam painéis solares em residências, além de outras cidades que devem passar por problemas similares, pois muitas vezes a rede não está preparada para suportar a injeção de toda esta energia. Mesmo com investimentos das empresas de eletricidade em modernizações da rede, não é possível prever qual será o aumento da capacidade ideal e o valor que deve ser repassado aos consumidores, sendo uma alternativa a utilização de baterias apenas para armazenar a energia e ser utilizada posteriormente, e não para se injetar na rede da empresa concessionária, sobrecarregando-a.

#### **4.2.2. Espaço Nacional**

No espaço nacional, as tecnologias causam grande impacto em todo país, como o *Smart Grid* que pode ser aplicado em residências inteligentes, armazenamento de energia, veículos elétricos, eficiência energética, geração distribuída, comunicação e controle, entre outras aplicações. Além disso, há também a diversificação da Matriz com as energias renováveis, sendo que os espaços estadual, municipal e o setor residencial modificam também o espaço nacional.

##### **4.2.2.1. Smart Grid**

Devido aos problemas enfrentados pelo sistema elétrico tradicional, foram requeridos ajustes e modernizações na rede elétrica, com a aplicação de novos conceitos. O surgimento das redes elétricas inteligentes proporcionou ganhos, como o aumento da confiabilidade e eficiência energética do sistema.

As redes elétricas inteligentes, *Smart Grid*, apresentam um conceito inovador desde a geração até os consumidores finais, sendo possível destacar a geração de energia de maneira distribuída, principalmente devido ao uso de carros elétricos e o monitoramento da rede elétrica. Com *Smart Grid*, o consumidor passa a ser fundamental para o funcionamento e controle da rede elétrica, além da possibilidade de ser produtor de energia.

A Figura 33 retrata a diferença entre a rede elétrica tradicional, tendo um fluxo de energia unidirecional, e uma rede inteligente com fluxo de energia em duas vias, além de seus conceitos.

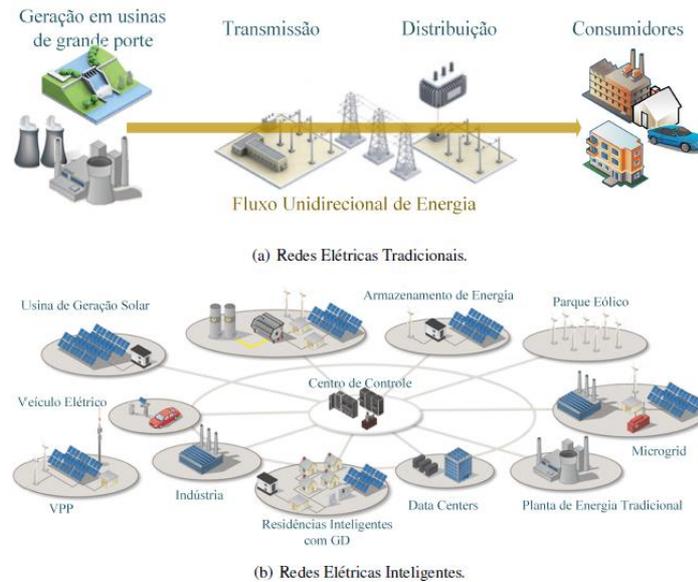


Figura 33 – Comparação das Redes Elétricas Tradicionais e Inteligentes

Fonte: Lopes (2015)

No Brasil, a Chamada ANEEL nº 011/2010, através do projeto estratégico de P&D, “Programa Brasileiro de REDES INTELIGENTES, objetiva desempenhar a migração tecnológica do setor elétrico brasileiro para a implementação do conceito de redes inteligentes em todo país e diante disso, estão sendo realizados os seguintes pilotos:

#### Minas Gerais

- Cidades do Futuro (Cemig) - Cidade de Sete Lagoas/MG

#### Rio de Janeiro

- Cidade Inteligente Búzios (Ampla/Endesa Brasil) - Cidade de Búzios/RJ
- Smart Grid Light (Light) - Cidade do Rio de Janeiro/RJ

#### Amazonas

- Parintins (Eletrobrás Amazonas Energia) - Cidade de Parintins/AM

#### São Paulo

- Smart Grid (AES Eletropaulo) - Barueri e outras localidades, São Paulo/SP
- InovCity (EDP Bandeirante) - Aparecida/SP

#### Ceará

- Cidade Inteligente Aquiraz (Coelce/Endesa) - Cidade de Fortaleza/CE

Paraná

- Paraná Smart Grid (Copel) - Curitiba/PR

Pernambuco

- Arquipélago de Fernando de Noronha (CELPE) - Ilha de Fernando de Noronha/PE

No novo sistema, é necessária uma grande infraestrutura para comunicação, monitoramento e suporte da rede. Com o aumento da confiabilidade da rede e da eficiência operacional, o consumidor é o que mais desfruta dos ganhos, pois a qualidade no fornecimento de energia passa a ser bem maior. Porém, todas essas melhorias apresentam desafios para o sistema tradicional que opera atualmente, e o planejamento futuro auxilia na maneira como as mudanças no sistema podem ser enfrentadas.

#### **4.2.2.2. Energias renováveis**

Constata-se uma transformação global e um novo recorde de geração de energias renováveis. A Figura 34 relata como as energias renováveis se desenvolveram desde 2010 em mais de 200 países no mundo, sendo a potência instalada de energias eólica e solar, as fontes dominantes na transformação da matriz energética e incentivadas principalmente pelo seu baixo custo de produção e por estas instalações serem mais baratas do que as usinas convencionais a diesel, carvão, gás e nucleares. Além disso, estas fontes de energia proporcionam alguns benefícios, pois são muito lucrativas e auxiliam na geração de novos empregos e na melhoria do bem-estar e do meio ambiente e são fundamentais para se atingir as metas climáticas do acordo em Paris, em que são necessários investimentos adicionais para a descarbonização do setor de energia e uma expansão em ritmo acelerado. É possível notar pelos dados que o mundo tem caminhado de maneira correta, apesar de ainda se ter muitas mudanças para acontecer.

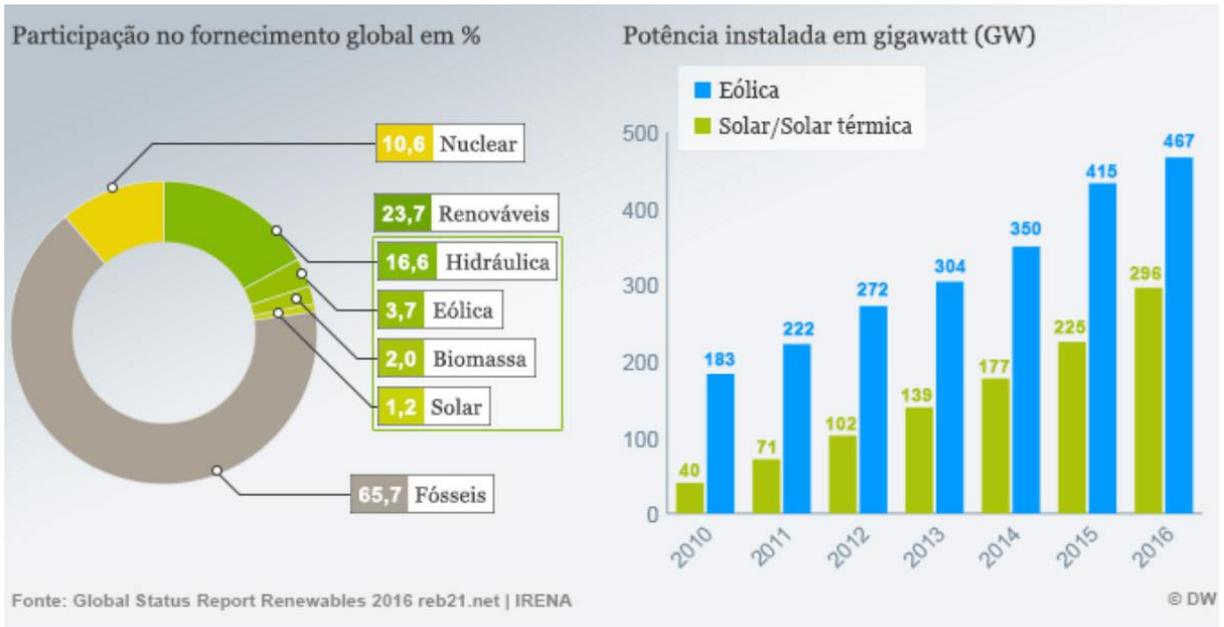


Figura 34 – Evolução das Energias Renováveis no mundo

Fonte: Global Status Report Renewables 2016 reb21.net

As perspectivas para o setor elétrico nos próximos anos estão relacionadas, sobretudo, com a busca da diversificação de fontes energéticas, energia limpa e tarifas cada vez menores devido ao crescimento de fontes como a solar e a eólica na participação na matriz brasileira. Nos últimos anos, o país se tornou líder na produção de energia eólica na América Latina. Na Figura 35, conforme o ranking divulgado pela *Global Wind Energy Council* (GWEC), organização internacional especializada em energia eólica, o país aumentou em 2.014 MW de geração de energia eólica em 2016 e se classificando na 5ª posição no ranking mundial de capacidade instalada e também ocupando uma nova colocação em relação à capacidade acumulada de geração eólica com 10.740 MW. Além disso, os órgãos brasileiros como a Aneel e a CCEE registraram um aumento de 53,4% da produção de energia eólica comparados com 2015 e com perspectivas que aumentem ainda mais nos próximos anos, sendo que hoje no país mais de 7% de toda a energia produzida é eólica.

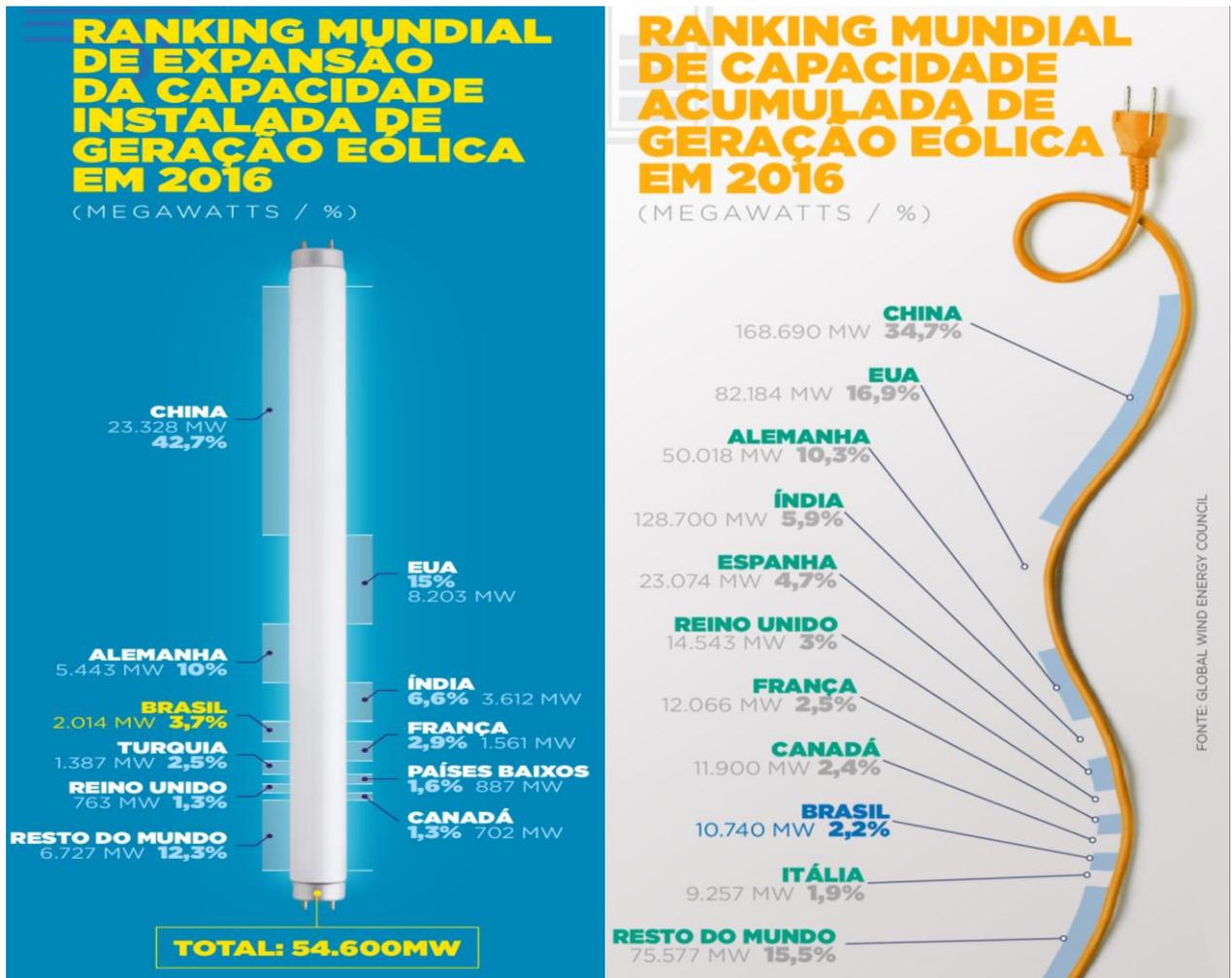


Figura 35 – Infográfico Energia Eólica

Fonte: Global Wind Energy Council

No ano de 2015, o país assinou na COP 21 o compromisso de aumentar em 33% o uso de energias renováveis até 2030, acrescentando na parcela de energias renováveis como eólica, biomassa e solar além da energia hídrica, um fornecimento de energia de aproximadamente 23% até 2023.

A redução de emissão de carbono é um dos principais fatores para a transição energética mundial, associada principalmente à diminuição do uso de combustíveis fósseis na geração de eletricidade. Além disso, há outros mecanismos para se reduzir essas emissões nos segmentos de transporte, consumo e aquecimento com o maior emprego de carros e sistemas de aquecimento de ambientes elétricos, contribuindo para uma matriz energética limpa e com alta incidência de fontes renováveis no futuro.

Para o Brasil atingir os objetivos estabelecidos nos acordos de meio ambiente com

outros países, deve-se modificar principalmente o uso de termelétricas. As construções destes parques termelétricos no país foram realizadas priorizando apenas a flexibilidade e o uso de tecnologias com menores custos de desenvolvimento e grandes custos operacionais. A operação em ciclo aberto não prioriza a eficiência por kWh produzido, e seu uso acentuado desde 2013, implicou no aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e nos custos de suprimento elétrico.

O país apresenta boas perspectivas de se ter um planejamento energético futuro com maior uso de fontes renováveis e redução dos impactos ambientais e emissões que o auxiliem a atingir as metas estabelecidas e um maior aproveitamento de toda a energia produzida.

### **4.2.3. Espaço Estadual**

No espaço estadual, a cogeração apresenta um grande destaque para o planejamento do Brasil, contribuindo principalmente para o aumento da capacidade instalada e obtendo benefícios ao meio ambiente e contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

#### **4.2.3.1. Cogeração**

A cogeração no Brasil desde 1980 vem apresentando evoluções e benefícios ao setor energético, a Figura 36 mostra o quanto a capacidade instalada aumentou, chegando em dezembro de 2016 a 16MW acumulado, e com a biomassa de cana-de-açúcar com as maiores capacidades instaladas, seguidas pelo gás natural e licor negro.

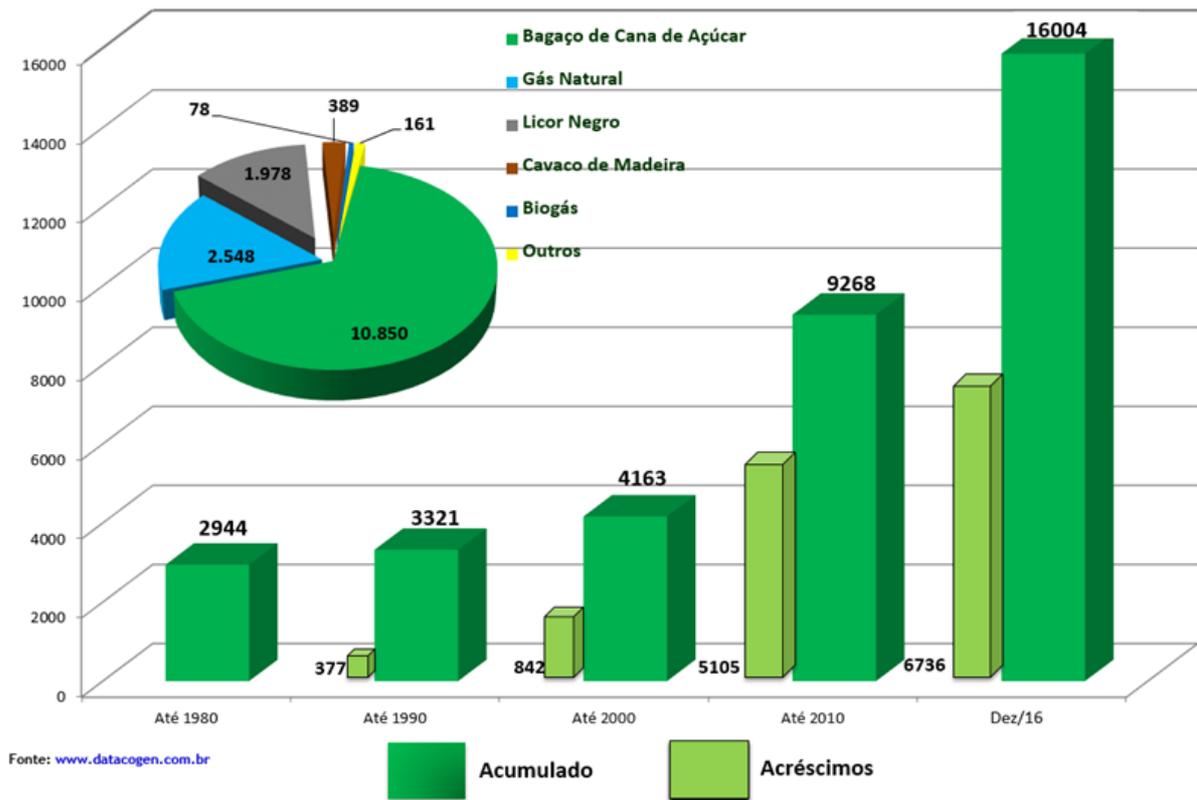


Figura 36 – Evolução da Cogeração no Brasil

Fonte: Datacogen (2016)

Nos dados da Associação da Indústria de Cogeração de Energia (Cogen), até julho de 2017, é possível notar ainda uma evolução no qual o Brasil atingiu 17,4 mil MW de capacidade instalada de cogeração em operação comercial, representando um crescimento de aproximadamente 9,4%, se comparado a julho de 2016 (15,9 mil MW).

Diante destes dados da DataCogen, é possível observar o progresso da cogeração no país e a sua otimização com o apoio de políticas públicas, como incentivos à geração distribuída, mostrando boas perspectivas de expansão para os próximos anos. Além disso, o destaque na cogeração permanece sendo a biomassa de cana que corresponde a 64% ou 11,19 mil MW e está concentrada principalmente nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Minas Gerais, seguida ainda pelo gás natural com 15,7% (2,7 mil MW) da capacidade instalada no país e com o licor negro com 14,3% do total do mês.

As cogerações tanto de biomassa quanto de gás natural apresentam baixos níveis de emissão e são ambientalmente sustentáveis, sendo que a biomassa de cana-de-açúcar pode ser apontada como uma energia verde e o gás natural, como o combustível do milênio e

principalmente desejado pelas nações mais industrializadas do mundo. Em relação ao mercado de créditos de carbono, o Brasil detém 8% de atividades de projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no mundo, sendo que 50% dos projetos são relacionados à energia renovável. Em relação à bioeletricidade nos novos projetos, o potencial para geração de créditos de carbono é de aproximadamente 1 MW de potência instalada. Conseguem-se 1680 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, totalizando no país quase 30 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

#### **4.2.4. Espaço Municipal**

Algumas tecnologias conseguem modificar o setor positivamente e com a participação do usuário no processo de geração de energia é possível aumentar a eficiência do processo, além de gerar energia localmente e se ter um menor impacto ambiental, e sem a necessidade de altos investimentos financeiros como a criação de grandes usinas. Assim também, a utilização de veículos híbridos e elétricos consegue diminuir os impactos no meio ambiente e trazer benefícios ao planejamento no país.

##### **4.2.4.1. Geração Distribuída**

Os consumidores sempre atuaram no setor como usuários desse sistema, apenas pagando um valor pela energia utilizada determinada pela ANEEL para a concessionária da região. As empresas privadas e públicas responsáveis pela região eram as responsáveis pela compra da energia das usinas e por repassar aos consumidores todo esse custo.

Mas nos últimos anos, algumas mudanças na legislação do setor e incentivos proporcionados pelo governo proporcionaram a oportunidade de pequenos produtores de energia e até mesmo de grandes produtores a gerenciar seu consumo e ainda venderem esta energia excedente produzida através de leilões para a concessionária de distribuição local.

O governo tem incentivado bastante a microgeração distribuída de energia, principalmente pela utilização de fontes renováveis e também por diminuir os problemas de perdas no sistema, devido a transportes efetuados pelas linhas de transmissão.

Os recursos energéticos distribuídos ou em inglês, *Distributed Energy Resources* (DERs), é um grupo de soluções que é aplicado na rede de energia de maneira distribuída e que proporciona a otimização da rede, sendo esta, fragmentada em algumas soluções fundamentais como:

- **Eficiência energética:** Baseia-se na implementação de equipamentos com uma maior eficiência e menor consumo de energia que os antigos.
- **Controle de demanda:** É constituído pelo gerenciamento do consumo dos equipamentos e pelos incentivos de programa para consumo consciente de energia.
- **Geração distribuída:** Como mencionado anteriormente, incentiva o usuário a produzir sua própria energia.
- **Armazenamento distribuído:** Neste caso, são aplicadas soluções para que se possa armazenar a energia através de baterias e até mesmo carros elétricos para o usuário utilizar quando necessário.

O interesse pela geração de eletricidade de forma distribuída tem se intensificado, e este possibilita a exploração de uma rede elétrica mais sustentável e que permite o controle do horário de pico e a redução de perdas do sistema, além de outros benefícios para o meio ambiente. Devido a este aumento da GD, as redes de comunicação têm tido um papel importante em todo o processo.

Além de ser importante para a sustentabilidade e geração de energia limpa, pode causar um grande impacto no sistema de transmissão e distribuição de energia por alterar toda a concepção do sistema atual. Com o aumento da exploração das novas tecnologias, as redes de comunicação passaram a conectar milhões de fontes de energia renovável, tornando o funcionamento da rede da geração de energia elétrica intermitente, funcionando em alguns momentos e tendo interrupções em outros.

Na maioria das vezes, as regiões afastadas e com pequena quantidade populacional, apresentam desvantagens em relação à distribuição de energia pelas concessionárias nessas regiões, sendo muitas vezes a razão da ausência do abastecimento de energia nestes locais. Ressalta-se que mesmo com os incentivos da geração distribuída, essas regiões remotas terão que ser interligadas e apresentar redes elétricas inteligentes no futuro.

No entanto, para implantação de GD nas residências, são necessários recursos de operação adicionais às redes convencionais e também práticas para o planejamento da expansão. Para essa expansão, são necessários investimentos em outras áreas que são impactadas com essas mudanças, como nas áreas de automação e telecomunicações, que precisarão suportar e controlar as mudanças e principalmente a proteção do sistema, evitando

que o mesmo se torne vulnerável.

#### **4.2.4.2. Veículos Híbridos e Elétricos**

Um grande desafio para as redes de transmissão e distribuição de energia com o avanço das tecnologias de veículos elétricos e híbridos está principalmente relacionado ao aumento da capacidade de produção de energia que será necessário devido ao carregamento destes veículos. Uma solução para este desafio seria o desenvolvimento de redes inteligentes para a distribuição de energia em que poderia se monitorar o consumo a cada minuto e através disso incentivar o uso de veículos elétricos; além disso, é possível que estes veículos injetem eletricidade de volta na rede, sendo possível estabelecer a conexão entre a rede de eletricidade e uma frota de veículos elétricos.

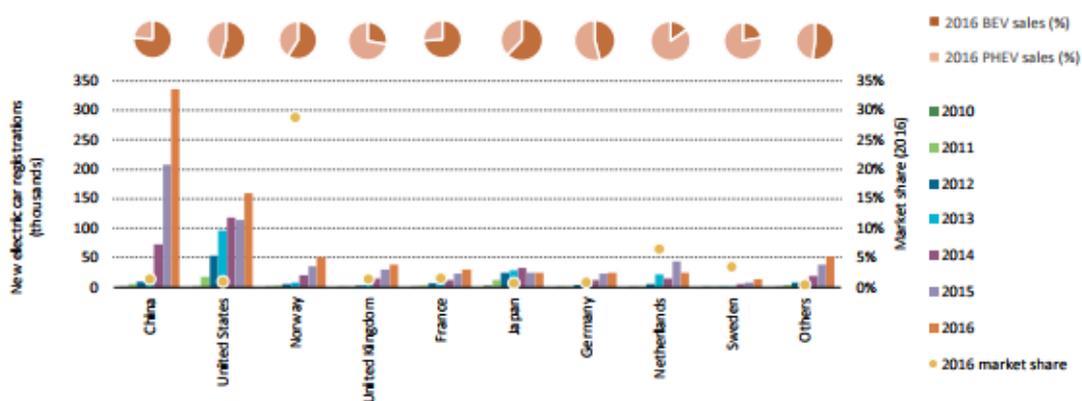
Segundo a Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), desde 2006 até o momento, foram emplacados apenas 2,5 mil carros verdes dentro de uma frota total que é em torno de 50 milhões de automóveis. A pequena quantidade no país deve-se principalmente ao alto preço dos veículos e à ausência de sensibilização dos consumidores em relação à questão ambiental. Mas apesar disso, as pesquisas da Anfavea se mostram otimistas e estimam que até 2020 circulem no Brasil de 30 mil a 40 mil veículos verdes. Ainda é uma pequena quantia se comparada com outros países e considera-se o crescimento da frota atual, aplicando essa porcentagem aos veículos elétricos e híbridos, estes seriam apenas de 0,08% do total no país.

Para os estudiosos do tema, a única maneira de modificar todo esse cenário é com os incentivos do governo em relação à isenção de impostos para os potenciais clientes, tornando os preços mais competitivos no mercado e proporcionando adesão ao produto, expansão da tecnologia, aumento das vendas e conseqüente redução dos custos de produção. Se comparar o mercado brasileiro com outros mercados internacionais, é possível analisar que há distância de alguns países que revelam lideranças de vendas.

De acordo com o relatório da *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY* (IEA), na Figura 37, a evolução do mercado de carros elétricos registrou um novo recorde em 2016 com 750 mil vendas em todo mundo. Entretanto, as vendas em 2016 apresentaram uma desaceleração da taxa de crescimento em relação aos anos anteriores de 40% desde 2010, em que o crescimento anual das vendas de carros era abaixo de 50%. Apesar do decréscimo, ainda será possível nos próximos anos, o cumprimento da meta de vendas de veículos elétricos e

híbridos para 2025

Ainda é possível analisar através da Figura 37, que 95% das vendas de carros elétricos e híbridos no mundo estão concentradas em apenas 10 países, sendo a China detentora do maior mercado em 2016, com aproximadamente 336 mil vendas de veículos, sendo mais que o dobro das vendas dos Estados Unidos, com 160 mil unidades. Já os países europeus representaram 215 mil vendas, no qual a maioria se centralizou em apenas seis países: Alemanha, Holanda, Reino Unido, França, Noruega e Suécia. Tendo ainda mais dois países de destaque: Japão e Canadá.



Fontes: Análise do IEA baseou nas submissões EVI dos países, complementada por EAFO (2017a), IHS Polk (2016), Marklines (2017), ACEA (2017a, 2017b) e EEA (2017).

Ponto chave: Os dois maiores mercados de carros elétricos são China e Estados Unidos. Seis países alcançaram a fatia de mercado de mais de 1% em 2016. Noruega, Países Baixos, Suécia, França, Reino Unido e China.

Figura 37 – Evolução das Vendas de Carros Elétricos e Híbridos no mundo 2010-16

Fonte: Global EV Outlook 2017 (2017), traduzido pela autora

## 4.2.5. Setor Residencial

Nas residências, existem diversos objetos que são utilizados diariamente e que facilitam a nossa vida, mas os gastos com eletricidade são significativos. Com o uso da IoT em casas, é possível que tudo esteja conectado e que tenha-se a chamada casa inteligente, que visa principalmente à economia de energia. Trabalhando de maneira simples e permitindo através de aplicativos que as pessoas consigam controlar remotamente todos os aparelhos, sistemas de segurança e de iluminação, facilitando o controle e a economia de energia, esses aparelhos funcionam através de sensores de movimento.

### 4.2.5.1. Internet das Coisas

No cenário nacional, é possível que com a Iot tudo esteja conectado e as projeções

como o PNE 2050 sejam modificadas, pois ao se ter uma maior utilização da tecnologia pode ser que se tenha uma redução do consumo de energia. Mais objetos conectados permitem que sensores auxiliem na economia e no uso correto da energia e outros recursos naturais.

Muitos especialistas acreditam que a internet das coisas resultará em um impacto como o da Revolução Industrial. Apesar de ser ainda algo novo, com a implementação desta tecnologia no mundo, haverá muitos impactos em todos os setores, como no transporte, na racionalização e flexibilização da produção e se formará o conceito de cidades mais inteligentes, em que os objetos conectados diariamente mudarão completamente a maneira de se fazer o consumo de venda dos produtos, sua entrega, propaganda e a maneira de se produzir. Ao estar tudo conectado, processos, pessoas e objetos, é possível que as empresas armazenem informações a respeito da rotina diária das pessoas, seus hábitos e com maior precisão otimizem os dados e economizem recursos naturais, energéticos e aumentem a produtividade.

A consultoria McKinsey realizou estudos a respeito do tema e prevê que em 2025, a IoT consiga gerar receitas entre US\$ 3,9 trilhões a US\$ 11,1 trilhões no mundo todo, auxiliando inclusive no PIB global em até 11%. O número de dispositivos conectados à internet apresentará um grande avanço, na qual se tinha 10 bilhões em 2015, contra 34 bilhões até 2020, com uma população do planeta estimada em 7,6 bilhões, ocasionando em uma média maior que 4 dispositivos por pessoa, segundo a consultoria *BI Intelligence*.

Para uma área de utilidades com a Iot, será possível monitorar e controlar as redes de energia elétrica e sistemas de água, proporcionando diversos benefícios para a conservação de energia, emissão de gases de efeito estufa e redução do uso da água. Por meio dos sensores, é possível ainda utilizá-los nas operações do setor público, como coleta de lixo e na segurança das cidades.

#### **4.2.6. Considerações Espaços Físico**

Todas essas tecnologias no espaço físico irão modificar o planejamento energético para 2050 e os planos decenais para os próximos 10 anos. Em alguns casos, será necessária a criação de novas linhas de transmissão devido ao aumento de geração de energia através de fontes renováveis, geração distribuída e a melhoria da infraestrutura no país. A Figura 38 apresenta de maneira consolidada o que as novas tecnologias proporcionarão ao setor, subdivididas em quatro tipos de mudanças: uma relacionada a benefícios na redução do

consumo de energia como citados anteriormente na dissertação; outra em relação ao auxílio na geração de energia e diversificação da matriz; a seguinte em relação aos benefícios ao setor no geral e melhoria na infraestrutura; e a última referente aos ganhos de emissões e ao meio ambiente.

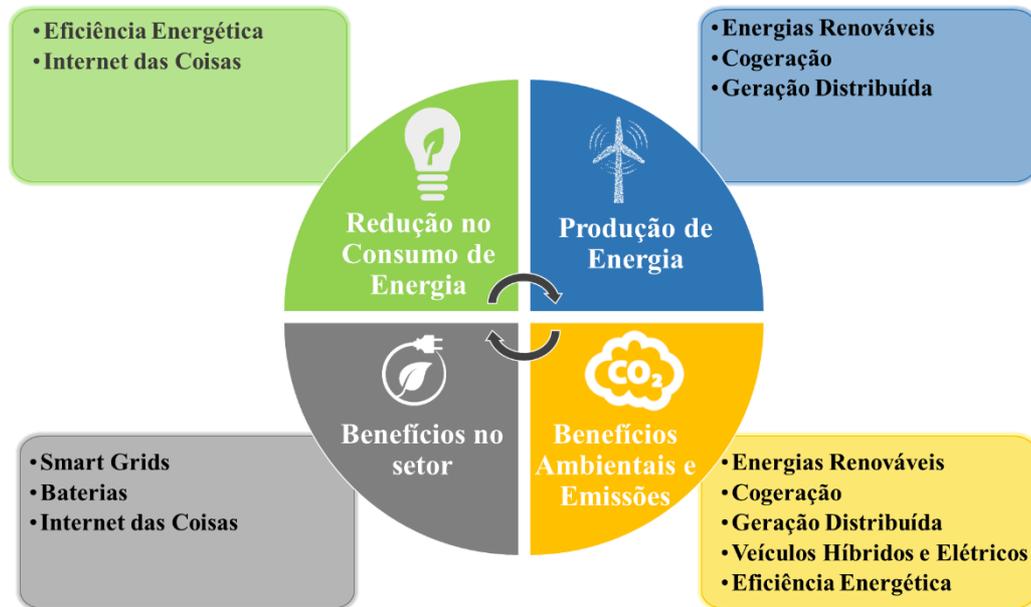


Figura 38 – Modificações com as novas tecnologias

Fonte: Elaborada pela autora

#### 4.2.7. Iteração Espaço Temporal

Para a manutenção do planejamento energético são utilizados softwares para os cálculos de demanda necessária em cada local. Com a inserção de novas tecnologias, esses cálculos serão modificados como nos casos de fontes de energias renováveis, em que será necessária a inserção destas usinas nos programas, pois uma usina afeta a outra no planejamento devido ao sistema brasileiro ser todo interligado.

Para os intervalos menores como um período de cinco anos, o ideal seria que o software Newave incorporasse as novas tecnologias que impactam na produção de demanda de médio prazo, e que estes auxiliem a verificar o menor custo de operação para as usinas, além de benefícios proporcionados pela eficiência energética.

Para o curto prazo, a inserção da geração distribuída deve ser incorporada na tomada de decisão no Decomp, pois ao se ter um aumento dos consumidores gerando a própria energia e incorporando a rede, surgem mudanças no modelo de otimização.

Já para modelos diários como no Dessem, tecnologias como internet das coisas devem

ser incorporadas, pois se tem um maior uso da rede e a possibilidade de um aumento da demanda, que devem ser adicionados ao planejamento diário.

Logo, para os modelos de otimização futuros, são necessárias não só a consideração dos recursos hídricos e térmicos, que proporcionam grande parte do abastecimento no país, mas também a adição das fontes renováveis, geração distribuída, a modernização da rede com o *Smart Grid* que poderá trazer uma diminuição das perdas no sistema de transmissão, os veículos híbridos e elétricos que poderão injetar energia na rede e modificarão a demanda de energia principalmente nos grandes centros urbanos.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. Considerações finais

Após discursar sobre o conteúdo histórico do planejamento adotado no Brasil, a dissertação mostra a situação do cenário atual e as perspectivas com a implantação de novas tecnologias e fontes renováveis, tais como a possibilidade de redução do consumo de combustíveis fósseis e das metas de descarbonização do setor, do custo das tarifas, e dos benefícios associados à modernização da rede.

Tendo em vista a exploração de novas fontes renováveis como as energias eólica e solar, é possível estruturar o setor com fontes complementares às energias hidráulica e térmica, proporcionando a diversificação na matriz, e uma menor dependência de combustíveis fósseis.

Ainda é possível verificar que o governo tem buscado viabilizar medidas para a microgeração distribuída, leilões para fontes renováveis como a eólica e a solar, aumentando os incentivos para os produtores, como benefícios econômicos, movimentação da indústria, etc.

Além disso, é preciso que o país estimule uma diversificação da matriz de modo sustentável, e o financiamento em pesquisas para novas tecnologias, a fim de que se aumente a competição no mercado de energia e das concessionárias, com uma maior qualidade no fornecimento, e menores tarifas.

É possível verificar que com o aumento da preocupação em relação ao meio ambiente e às fontes energéticas, os pilares da sustentabilidade (Econômico, Social e Ambiental) são explorados em todos os espaços físicos. Os requisitos econômicos são fundamentais para a viabilização dos empreendimentos e das tecnologias. Isto faz com que a mobilidade de energia seja cada vez mais competitiva, devido ao menor preço dos equipamentos e à escala que o setor pode ter ao se aumentar os incentivos, apesar dos retornos financeiros serem ainda caros e os investimentos de longo prazo. Isto evidencia como são importantes os estímulos do governo para o fortalecimento e organização do setor.

Logo, esta dissertação buscou analisar o setor do ponto de vista do planejamento energético com o seu histórico e como foi evoluindo e se tornando mais completo desde o surgimento da EPE, com a responsabilidade de elaboração de relatórios sobre o balanço

energético nacional e perspectivas futuras, que conseguem direcionar todos os setores a respeito do consumo e produção atual e das necessidades futuras. Esta dissertação apresenta possíveis respostas para a influência das novas tecnologias, dividindo nos espaços físicos suas mudanças, desafios e oportunidades. E através da pesquisa bibliográfica e dos dados analisados, constatou-se que o país ainda precisa de bastantes incentivos para que essas mudanças se concretizem no futuro e que auxiliem o planejamento energético brasileiro, como a inserção de medidas de eficiência energética e energias renováveis que proporcionaram uma modificação no setor nos últimos tempos, resultando em benefícios à população, ao país e principalmente ao meio ambiente.

Portanto, os tomadores de decisão do país devem utilizar essas informações sobre as inovações para aplicá-las no planejamento futuro, buscando-se o desenvolvimento sustentável, a melhoria da confiabilidade e qualidade do setor elétrico, para a garantia do suprimento futuro, de maneira otimizada e sem desperdícios.

## **5.2. Recomendações para trabalhos futuros**

Para pesquisas futuras, seriam relevantes estudos direcionados à análise de dados para a prospecção de quanto seria o aumento de energia ou a redução com a aplicação de algumas tecnologias como veículos elétricos, buscando compreender como é impactado o desenvolvimento tecnológico no setor. Além de práticas de sustentabilidade e uma comparação com os benefícios do emprego das tecnologias relacionados a países que são referência no desenvolvimento e inovação, ampliando os conhecimentos do setor e o papel importante que representam no planejamento energético brasileiro.

Portanto, propõem-se como aperfeiçoamento em pesquisas futuras, os seguintes tópicos:

- Inclusão de novas tecnologias recentemente apresentadas;
- Cálculo de demanda necessária para implementação das tecnologias;
- Prospecção de quanto se reduzirá no consumo de combustíveis fósseis;
- Cálculo da redução de CO<sub>2</sub> adquirida;
- Novos softwares para planejamento energético que contemplem novas tecnologias e não somente recursos hídricos e termoelétricos.

Por fim, devido ao avanço das tecnologias e do desenvolvimento de pesquisas serem constantes, há necessidade de sempre se realizar estudos relacionados ao setor energético e seus impactos. Outra sugestão seria o desenvolvimento de áreas de pesquisas do governo, com foco na exploração dos impactos da expansão do setor energético. Sendo livre a outros pesquisadores prosseguir com novos estudos e soluções para o planejamento energético futuro.

## 6. REFERÊNCIAS

ABESCO. Projetos visam melhorar a transmissão de energia do país. 2015. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/projetos-visam-melhorar-a-transmissao-de-energia-do-pais/>>. Acesso em: 11 set. 2017.

ASHTON, K. **Internet das Coisas, nova revolução da conectividade**. Porto Alegre:2014. Inovação em Pauta, Porto Alegre, n. 18, p. 6-9, 14 dez. 2014.

BAJAY, S. V. Planejamento Energético: Elementos para um Novo Enfoque. In: La Rovere, E.L.; Robert, M. (Org.). **Planejamento Energético Regional: A experiência paulista à luz de práticas que a inspiram no exterior**. 1989a, v. 1, pp. 271-322.

BAJAY, S. V. Evolução do planejamento energético no Brasil na última década e desafios pendentes. **Revista Brasileira de Energia**. 2013, v. 19, nº1, pp. 255-266.

BAJAY, Sergio Valdir. Uma revisão crítica do atual planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 9, nº 1, pp.1-7, 2001.

BARAN, F.D. **Avaliação de uma Floresta de Eucaliptos na Presença de um Mercado de Certificados para Reduções de Emissões de Carbono: Uma Abordagem por Opções Reais**, Dissertação de Mestrado, Puc-Rio, 2005.

BARAN, R.; LEGEY, L.F.L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p.207-224. nov. 2010.

BARBELI, M. C. **A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental**. Empreendedorismo, Gestão e Negócio, v. 4, p. 238-246, 2015.

BASSO, L.A; VERDUM, R. **Avaliação de Impacto Ambiental: Eia e Rima como instrumentos técnicos e de gestão ambiental**. Rio Grande do Sul, 2006.

BATISTA, F. R. S. **Estimação do valor incremental do mercado de carbono nos projetos de fontes renováveis de geração de energia elétrica no Brasil: Uma abordagem pela teoria das opções reais**. 2007. 199 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Puc-rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc-rio, Rio de Janeiro, 2007.

BORNIA, A.C.; WERNKE, R. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**. FIPECAPÍ – FEA – USP. v.14, n. 25, p. 60-71, jan./abr. 2001.

BRASIL, Decreto nº 5.184/04. **Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências**. Brasília, 2004.

BRASIL, Lei nº 10.847/04. **Criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE**. Brasília, 2004.

BRASIL, Lei nº 9.427/96. **Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.** Brasília, 1996.

BRASIL, Lei nº 9.478/97. **Criação do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE.** Brasília, 1997.

BRASIL, Lei nº 9.648/98. **Criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.** Brasília, 1998.

BRASIL, Lei nº 9.984/00. **Criação da Agência Nacional de Águas – ANA.** Brasília, 2000.

BRASIL, Portaria nº 150/99. **Atribuições do Ministério de Minas e Energia – MME** Brasília, 1999.

BRASIL. Decreto nº 24.643/34. **Código de Águas.** Rio de Janeiro, 1934.

BRASIL. Lei nº 3.782/60. **Criação dos Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia, e outras providências.** Brasília, 1960.

BRASIL. Lei nº 5.899/73. **Aquisição dos serviços de eletricidade da ITAIPU e outras providências.** Brasília, 1973.

BRASIL. Lei nº 6.189/74. **Criação das Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima - NUCLEBRÁS.** Brasília, 1974.

BRASIL. Lei nº 8.028/90. **Organização da Presidência da República e dos Ministérios, e outras providências.** Brasília, 1990.

BRASIL. Lei nº 8.422/92. **Organização de Ministérios, e outras providências.** Brasília, 1992.

BRASIL. Lei nº 9.433/97. **Lei das Águas.** Brasília, 1997.

BRASIL. Portaria nº 1.617/82. **Criação do Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos - GCPS.** Brasília, 1982.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001/865. **Criação da Avaliação de Impacto Ambiental.** Brasília, 1986.

BRAVO, D. M.; MEIRELLES, P.S; GIALONARDO, W. **Análise dos desafios para a difusão dos veículos elétricos e híbridos no Brasil.** XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva. São Paulo, p. 1-22. ago. 2014.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). Guia Treinamento NEWAVE - DECOMP. São Paulo. 2009.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **O SIN e os modelos Newave e Decomp utilizados no planejamento da operação energética e no cálculo do PLD.** 2016. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 02 nov. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 511.2012:** Regras de Comercialização Formação do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Rio de Janeiro, 2012.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Câmara prorroga investimento obrigatório em eficiência energética.** Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/ECONOMIA/499700-CAMARA-PRORROGA-INVESTIMENTO-OBRIGATORIO-EM-EFICIENCIA-ENERGETICA.html>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

CASTRO, N.J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G.A.; ELY, R.N. **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020:** Análise do método, metas e riscos. Rio de Janeiro. GESEL/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2012 (Texto de Discussão do Setor Elétrico n.º 44).

CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL (CME). **Panorama do Setor de Energia Elétrica no Brasil.** Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, Rio de Janeiro, 1988.

CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL. **O planejamento da expansão do setor de energia elétrica:** a atuação da Eletrobrás e do Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS) 1ª ed. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2002. 540 p.; ISBN: 85-85147-53-9

CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica -. **DESSEM - Modelo de Despacho Hidrotérmico de Curto Prazo.** 2015. Disponível em: <<http://www.cepel.br/produtos/dessem-modelo-de-despacho-hidrotermico-de-curto-prazo.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração:** na administração das organizações. Edição Compacta. 3º Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

CLARKE, L., WEYANT, J., BIRKY, A., 2006. On the sources of technological change: assessing the evidence. **Energy Economics.** 28, 579–595.

COGEN. ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Geração Distribuída – Novo Ciclo de Desenvolvimento.** Disponível em: [http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao\\_Distribuida\\_Calabro\\_22052013.pdf](http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf). Acesso em 13 dez 2016.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum.** Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

CORRÊA NETO, V. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural.** 2001. 174 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão.** Rio de Janeiro: Niterói, 2002.

CUNHA, S. H. F. et al. Desafios da EPE no planejamento energético nacional. In: **X SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA.** 2006, Florianópolis.

DAHER, M. **O planejamento e a programação da operação do SIN pelo operador nacional do sistema elétrico – ONS.** 2006. Disponível em: <<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2006/artigos>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

DEVINCENZI, G.R.P. **Metodologia para Implantação do Custeio Baseado em Atividades em Pequenas Empresas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

ELETOBRAS CEPEL. **DECOMP - Modelo de Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos Interligados de Curto Prazo.** Disponível em: <<http://www.cepel.br/produtos/decomp-modelo-de-planejamento-da-operacao-de-sistemas-hidrotermicos-interligados-de-curto-prazo.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Plano Nacional de Energia 2030.** Rio de Janeiro, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Plano Nacional de Energia 2050.** Rio de Janeiro, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Balço Energético Nacional – BEN 2016.** 2016. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/BEN2016\\_Default.aspx](https://ben.epe.gov.br/BEN2016_Default.aspx)>. Acesso em: 11 abr. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2015.** Rio de Janeiro, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Plano Nacional de Energia – PNE 2030.** 2007. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano\\_Nacional\\_de\\_Energia\\_-\\_PNE/Estudos\\_12.aspx?CategoriaID=346](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano_Nacional_de_Energia_-_PNE/Estudos_12.aspx?CategoriaID=346)>. Acesso em: 11 abr. 2016.

FAIAS, S.; SOUSA, J.; CASTRO, R. (2009). **Embedded Energy Storage Systems in the Power Grid for Renewable Energy Sources Integration.** Renewables Energy, T J Hammonds (Ed.), ISBN: 978-953-7619-52-7, InTech. Dezembro de 2009.

FERIOLI, F., SCHOOTS, K., VAN DER ZWAAN, B.C.C., 2009. Use and limitations of learning curves for energy technology policy: a component-learning hypothesis. **Energy Policy** 37, 2525–2535.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis**. Springer, N. York, 2005.

FILHO, J. M. C. **Smart grids uma visão geral com enfoque em condicionamento e qualidade de energia elétrica**. 01-31 de oct de 2014. 10 p. Notas de Aula. Eel805 Condicionamento de Energia outubro/2014 - Universidade Federal de Itajubá.

FONSECA, P. C. **Uma alternativa aos Modelos NEWAVE e DECOMP por meio da Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

FORMAN, E. H.; SELLY, M. A. **Decision by objectives: how to convince others that you are right**. Word Scientific Press, 2001.

FREITAS, M. A. V.; SOITO, J. L. S. As Mudanças Climáticas e a Hidroeletricidade. **Revista Energia Nacional**, pp. 23-27, 2014.

GILLINGHAM, K., NEWELL, R.G., PIZER, W.A., 2008. Modeling endogenous technological change for climate policy analysis. **Energy Economics**. 30, 2734–2753.

G.L. KYRIAKOPOULOS and G. ARABATZIS (2016). “**Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes**”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, pp. 1044–1067. doi:10.1016/j.rser.2015.12.046

GOMES, A. C. S.; ABARCA, C. D. G.; FARIA, E. A. S. T.; FERNANDES, H. H. O. “BNDES 50 Anos. Histórias Setoriais: O Setor Elétrico”. BNDES, dez/2002.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2003.

GONÇALVES, L.C. **A Evolução do Planejamento do Setor Elétrico no Brasil: Conceitos e Críticas**. In: 7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 2008, Fortaleza - Ceara.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA. **BATTERY STORAGE FOR RENEWABLES: MARKET STATUS AND TECHNOLOGY OUTLOOK**. Janeiro de 2015.

KLAASSEN, G; MIKETA, A; LARSEN, K; SUNDQVIST, T. The Impact of R&D on Innovation for Wind Energy in Denmark, Germany and the United Kingdom. **Ecological Economics**, v. 54(2-3), p. 227-240. 2005.

KLIGERMANN, A.S. **Um Sistema de Apoio à Decisão Bicritério para o Planejamento da Operação Energética**. Tese de doutorado. Niterói, Universidade Federal Fluminense, 2009.

KROENKE, A.; HEIN, N. Aplicação do método AHP na análise das demonstrações contábeis das empresas do setor metal/mecânico listadas na Bovespa. In: **Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais**, 2011, São Paulo.

KROHLING, R. A.; SOUZA, T. T. M. DE. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 8, p. 31–35, 2011.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2007.

LEMOS, F.A.B. **Avaliação da inserção de carros elétricos na operação de uma rede de distribuição de energia elétrica**. 2013. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LIBERATORE, M. J.; NYDICK, R. L. **Group decision making in higher education using the analytic hierarchy process**. *Research in Higher Education*, v. 38, n. 5, p. 593-614, 1997.

LOPES, Y., FRAZÃO, R. H., MOLANO, D. A., DOS SANTOS, M. A., CALHAU, F. G. a., BASTOS, C. A. M., MARTINS, J. S. B., e FERNANDES, N. C. (2012). **Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico**. In *Minicursos do XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, pages 1–44. (SBRT), Sociedade Brasileira de Telecomunicações, 1 edition.

LOPES, Y.; FERNANDES, N. C.; MUCHALUAT-SAADE, D. C.. **Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação**. Livro de Minicursos do SBRC 2015. 1ed. Em: . 2015.p. 1

LYRA, R.L.W.C. **Análise hierárquica dos indicadores contábeis sob óptica do desempenho empresarial**. 2008. 171 p. Tese. (Doutorado em Controladoria e Contabilidade). Departamento de Contabilidade e Atuária da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MAGALHÃES, G. **Força e luz: eletrificadas e modernização na República Velha**. São Paulo: Editora UNESP: FAPESP, 2000.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999.

MARINS, C. S; SOUZA, D. O; BARROS, M. S. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso**. XLI SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 2009. Porto Seguro: 2009.

MARTINS, K. S. **Planejamento energético no Brasil: a incorporação de uma lógica sustentável**. 2010. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MATOS, D.M.B.; CATALÃO, J.P.S.. **Geração Distribuída e os seus Impactos no Funcionamento da Rede Elétrica: Parte 1**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING UBI2013, 13., 2013, Covilha, Portugal. **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING UBI2013**. Covilha, Portugal: Iceubi 2013, 2013.

MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à administração**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MERCEDES, S. S. P. **Análise Comparativa dos Serviços Públicos de Eletricidade e Saneamento Básico no Brasil: Ajustes Liberais e Desenvolvimento.** Tese de doutorado. São Paulo, Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da USP, 2002.

MERCEDES, S. S. P. **Economia da Geração Termoeletrica:** Curso de Especialização Lato Sensu, Gestão e Supervisão de Termelétricas. São Paulo, IEE-USP, 2012b.

MERCEDES, S.S.P.; RICO, J. A. P.; POZZO, L. Y. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, v. JAN/FEV/MA, p. 13-36, 2015.

**MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA:** sistema de compensação de energia elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed – Brasília: ANEEL, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria\\_interministerial+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1](http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria_interministerial+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1)>. Acesso em: 04 abr. 2017.

MITACC MEZA, E. B.; DIANIN, M. F. V.; VIANNA, D. S.; PINTO, R. S.; MITACC, M. C. M. Aplicação do método de análise hierárquica na seleção de revestimentos anticorrosivos para equipamentos contidos em paradas de produção de plataformas marítimas. In: **XLIV JAIIO - Jornadas Argentinas de Informática**, 2015, Rodario.

MOREIRA, J. A.; SCHETTINO, S.; SILVA, R. M. da. **ASPECTOS DE SEGURANÇA EM SMART GRID.** Salvador, Ba, Brasil: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A Gestão dos Processos de Produção e As Parcerias Globais Para O Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos, 2013. 12 p.

MUÑOZ, F. J. **The evolution of our use of electricity:** The What and Why of Smart Grids. 2015. Disponível em: <<http://www.ennomotive.com/what-are-and-why-of-smart-grids/>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA, S. K. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia:** o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. Cad. EBAPE.BR [online]. 2012, vol.10, n.3, pp.630-651.

NORDHAUS, W.D., 2009. **The Perils of the Learning Model for Modeling Endogenous Technological Change (Working Paper No. 14638).** National Bureau of Economic Research.

QUEIROZ, R. **Setor Energético Brasileiro:** a incontornável agenda governamental de 2015. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2014/08/18/setor-energetico-brasileiro-a-incontornavel-agenda-governamental-de-2015/>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

REN21, Renewables Global Status Report 2016 (Paris: 2016), draft table of Distributed Energy projects by end of 2015, <http://www.ren21.net/gsr-2016-report-full-report-en/>.

RODRIGUES, B. **EPE, Eletrobrás e a Estruturação de Projetos no Setor Elétrico 1**. Disponível em: <<http://www.sefaz.ba.gov.br/scripts/redeppp/default.asp?id=artigo-aborda-a-estruturacao-de-projetos-no-setor-eletrico>>. Acesso em: 2 dez. 2015.

ROSA, C.R.M. **Utilização de análise hierárquica de processo para centro de distribuição**: um estudo de campo em empresa do ramo alimentício. 2013. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Pós-graduação de Engenharia de Produção / Ppgep, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

RUBIN, Edward S. et al. A review of learning rates for electricity supply technologies. **Energy Policy**, [s.l.], v. 86, p.198-218, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011>.

RUSSO, J. E.; SCHOEMAKER, P. J. H. **Decision traps**: Ten barriers to brilliant decision-making and how to overcome them. Simon & Schuster, New York, 1990.

SAATY, T. L. **Creative thinking, problem solving and decision making**. U.S.A: RWS publications, 2006.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

SALOMON, V.A.P.; SHIMIZU, T. Utilização de Matrizes de Julgamentos na Análise do Controle da Produção, **Revista Gestão Industrial**, v. 2, pp. 70-78, 2006.

SANTOS, G.A.G et al. **Carro elétrico, a revolução geopolítica e econômica do século XXI e o desenvolvimento do Brasil**. Oikos, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p.329-353, 2009.

SCHETTINO, S. **Cenário de uso das redes elétricas inteligentes (smart grid)**: tendências de sua difusão no Brasil. Dissertação. PPGEP. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Pb. 2013.

SILVA, M. V. M; BERMANN, C. O Planejamento Energético como Ferramenta de Auxílio às Tomadas de Decisão sobre a Oferta de Energia na Zona Rural. In: **IV Encontro de Energia no Meio Rural** - Agrener 2002, Campinas.

SILVA, Y.F.F.C.S. **Um modelo para seleção e operação otimizada de sistemas de armazenamento de energia elétrica em redes inteligentes**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

SOITO, J.L.S. **Amazônia e a expansão da hidroeletricidade no Brasil**: vulnerabilidades, impactos e desafios. 2011. 432f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Empresa de Pesquisa Energética: Nossa História**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - Epe, 2016. 99 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/LivroEPE-NossaHistoria.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

TOLMASQUIM, M. T. et al. **Mercado de Energia Elétrica 2006-2015**. Rio de Janeiro: Epe- Empresa de Pesquisa Energética, 2005. 380 p.

TRAMARICO, C. L.; SALOMON, V. A. P.; MARINS, F. A. S.; MUNIZ JR., J. **Modelagem com AHP e BOCR para a Seleção de Prestadores de Serviços Logísticos**. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v. 4, p. 139-159, 2012.

VASSEUR, J.P; DUNKELS, A. **Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet**. Woodhurst: Morgan Kaufmann Publishers, 2010.

VILA, C.U. **Planejamento Energético e as Políticas Públicas: Aspectos Conceituais e Metodológicos**. In: Thulio Cícero Guimarães Pereira. (Org.). Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético. 1ed. Curitiba: Companhia Paranaense de Energia - Copel, 2014, v. 1, p. 24-45.

YEH, S., RUBIN, E.S., 2012. A review of uncertainties in technology experience curves. **Energy Economics**. 34, 762–771.

ZELNY, M. **Multiple criteria decision making**. New York: McGraw-Hill, 1982.