



**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ  
IFCE CAMPUS FORTALEZA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO  
AMBIENTAL**

**MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

**RAINA SANTOS CÂNDIDO**

**MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO  
ESTADO DO CEARÁ: POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DA  
PREDOMINÂNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS**

**FORTALEZA – CE  
2019**

RAINA SANTOS CÂNDIDO

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO  
ESTADO DO CEARÁ: POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DA  
PREDOMINÂNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Dissertação submetida a Coordenação do Programa de Pós graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus Fortaleza, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Luís António da Cruz Tarelho

**FORTALEZA – CE**  
**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Instituto Federal do Ceará - IFCE  
Sistema de Bibliotecas - SIBI  
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

Cândido, Raina.

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ:  
POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DA PREDOMINÂNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS /  
Raina Cândido. - 2019.

81 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Tecnologia em Gestão Ambiental, Campus  
Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva. Coorientação:  
Prof. Dr. Luís António da Cruz Tarelho.

1. Potencial energético. 2. Biomassa. 3. Sistema de energia de hidrogênio. I. Título.

CDD 628

---

RAINA SANTOS CÂNDIDO

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO  
ESTADO DO CEARÁ: POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DA  
PREDOMINÂNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Dissertação submetida a Coordenação do  
Programa de Pós graduação em  
Tecnologia e Gestão Ambiental do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus  
Fortaleza, como requisito para obtenção  
do título de Mestre.

Aprovada em: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Titular Adeildo Cabral da Silva (Orientador)  
Instituto Federal do Ceará – IFCE

---

Profa. Titular Rita Mickaela Barros de Andrade  
Instituto Federal do Ceará – IFCE

---

Profa. Dra. Meiry Sayuri Sakamoto  
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME

**FORTALEZA – CE**  
**2019**

*A Deus.*  
*Aos meus pais: Raicilene e João Bosco*  
*A minhas irmãs: Rayssa e Rochelly*

.

## **RESUMO**

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, o Estado do Ceará possui 52,32% da sua energia gerada oriunda de combustíveis fósseis, ou seja, proveniente de usinas termoeletricas. Apesar de apresentar grande potencial para exploração de energia eólica e solar, não é possível contar com estas duas fontes energéticas durante todo o ano, uma vez que atuam de forma complementar devido a perspectiva climática do Estado. A partir de um levantamento de dados governamentais, foi possível identificar onde estão localizadas cada usina e seus respectivos potenciais energéticos através do uso da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica – SIG por meio da espacialização dos dados quantitativos, além da utilização do Atlas de Biomassa do Brasil, realizado pelo Centro Nacional de Biomassa – CENBIO. Identificou-se a partir desse recorte espacial que o Ceará possui potencial residual para exploração de biomassa. Sabendo que é intangível que o Estado do Ceará seja completamente independente dos combustíveis fósseis propõe-se meios viáveis e já pesquisados na literatura, como o do Sistema de Energia de Hidrogênio, para buscar reduzir a dependência do mesmo no cenário energético estadual, tendo em vista que a tendência é de que, cada vez mais, a população crescerá e consumirá mais energia.

Palavras-chave: Potencial Energético, Biomassa, Sistema de Energia de Hidrogênio

## **ABSTRACT**

According to the National Electric Energy Agency - ANEEL, the State of Ceará has 52.32% of its energy generated from fossil fuels, in other words, from thermoelectric power plants. Although it presents great potential for exploration of wind and solar energy, it is not possible to count on these two energy sources throughout the year, since they act in a complementary way due to the climatic perspective of the State. From a survey of governmental data, it was possible to identify where each plant and its respective energy potential are located using the tool of Geographic Information System - GIS through the quantification of the quantitative data, besides the use of the Biomass Atlas of Brazil, conducted by the National Biomass Center - CENBIO. It was identified from this spatial cut that the Ceará has residual potential for biomass exploitation. Knowing that it is intangible that the State of Ceará is completely independent of fossil fuels, we propose viable means already researched in the literature, such as that of the Hydrogen Energy System, in order to reduce its dependence on the state energy scenario, with a view to that the trend is that the population will grow and consume more energy.

**Keywords:** Energy Potential, Biomass, Hydrogen Energy System

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Cenários comparativos do consumo mundial de energia primária nos últimos 15 anos.....                                                                                                         | 10 |
| Figura 2 – Fluxo de Energia Elétrica – BEN (2016/ano base 2015) .....                                                                                                                                    | 14 |
| Figura 3 – Fluxograma Organizacional das Instituições do Setor Elétrico Nacional .....                                                                                                                   | 16 |
| Figura 4 – Mapa de Energia Elétrica por fonte no Estado do Ceará (potência instalada) .....                                                                                                              | 20 |
| Figura 5 – Inserção Internacional do Estado do Ceará .....                                                                                                                                               | 21 |
| Figura 6 – Organograma da metodologia utilizada .....                                                                                                                                                    | 32 |
| Figura 7 – Mapa de localização das instalações de usinas solares no Ceará e potencial em kW .....                                                                                                        | 38 |
| Figura 8 – Climatologia da radiação solar no Ceará por mês ( $W/m^2$ ) .....                                                                                                                             | 39 |
| Figura 9 – Mapa de localização das instalações de usinas eólicas no Ceará e potencial em kW .....                                                                                                        | 40 |
| Figura 10 – Mapa de localização das instalações de usinas termoelétricas no Ceará e potencial em kW .....                                                                                                | 43 |
| Figura 11 – Mapa de localização das instalações de usinas termoelétricas no Ceará e tipos de combustíveis utilizados .....                                                                               | 43 |
| Figura 12 – Mapa de estimativa do potencial energético dos resíduos agrícolas do Estado do Ceará (em MW/ano) .....                                                                                       | 44 |
| Figura 13 – Mapa de estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás proveniente do tratamento de efluentes oriundos da criação de suínos no Estado do Ceará (em $m^3$ metano/mês) ..... | 45 |
| Figura 14 – Mapa de estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás de aterro sanitário no Estado do Ceará (em MWh/dia) .....                                                           | 45 |
| Figura 15 – Estimativa do potencial de geração de energia no setor sucroalcooleiro nos municípios do Ceará .....                                                                                         | 46 |
| Figura 16 – Mapa de localização das instalações de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Ceará e potencial em kW .....                                                                                      | 48 |
| Figura 17 – Tecnologias-chave setor de Energia.....                                                                                                                                                      | 50 |
| Figura 18 – Comparação da participação das principais fontes de emissão de GEE do Ceará em relação ao Brasil .....                                                                                       | 55 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 19 – Emissões no Setor de Energia no Ceará (em toneladas de CO <sub>2</sub> ) de 2003 a 2014 ..... | 56 |
| Figura 20 - Emissões de dióxido de carbono no Estado do Ceará.....                                        | 59 |
| Figura 21 – Emissões de metano no Estado do Ceará .....                                                   | 59 |
| Figura 22 – Emissões de óxido de enxofre no Estado do Ceará.....                                          | 60 |
| Figura 23 – Emissões de óxido de nitrogênio.....                                                          | 61 |
| Figura 24 – Indicador de qualidade de vida.....                                                           | 62 |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Evolução da estrutura da oferta de energia (Brasil 1970-2000) .....                                                  | 11 |
| Gráfico 2 – Oferta de energia no Brasil (2016) .....                                                                             | 12 |
| Gráfico 3 – Evolução da participação das fontes hidráulica, térmica e eólica na geração elétrica do Subsistema Nordeste (%)..... | 18 |
| Gráfico 4 – Consumo total de energia elétrica no Ceará (2007 – 2017) .....                                                       | 51 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Empreendimentos em operação por matriz .....                                                        | 14 |
| Tabela 2 – Capacidade de Geração no Estado do Ceará por fonte de energia<br>(empreendimentos em operação)..... | 20 |
| Tabela 3 – Empreendimentos em Construção no Estado do Ceará .....                                              | 22 |
| Tabela 4 – Empreendimentos com Construção não iniciada no Estado do Ceará.....                                 | 22 |
| Tabela 5 - Panorama de expansão de energias renováveis no Ceará – 2018.....                                    | 52 |
| Tabela 6 – Geração Distribuída Ceará (Nov/2018) .....                                                          | 54 |

## **LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações**

|         |                                                                  |
|---------|------------------------------------------------------------------|
| PPT     | Programa Prioritário de Termoelétricas                           |
| PROINFA | Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica |
| MW      | Megawatt                                                         |
| mW      | Miliwatt                                                         |
| SIG     | Sistema de Informação Geográfica                                 |
| GEE     | Gases de Efeito Estufa                                           |
| TEP     | Toneladas Equivalentes de Petróleo                               |
| SEB     | Sistema Elétrico Brasileiro                                      |
| ONS     | Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro                 |
| ERS     | Energia Renovável Sustentável                                    |
| BEN     | Balanço Energético Nacional                                      |
| kW      | Quilowatt                                                        |
| MME     | Ministério de Minas e Energias                                   |
| CMSE    | Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico                        |
| CCEE    | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica                    |
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica                             |
| CNPE    | Conselho Nacional de Políticas Energéticas                       |
| km      | Quilômetro                                                       |
| CHESF   | Companhia Hidroelétrica do São Francisco                         |
| CGH     | Central Geradora Hidroelétrica                                   |
| EOL     | Central Geradora Eólica                                          |
| UFV     | Central Geradora Fotovoltaica                                    |
| UTE     | Central Geradora Termelétrica                                    |
| PCH     | Pequena Central Hidroelétrica                                    |
| GLP     | Gás Liquefeito de Petróleo                                       |

|                      |                                                         |
|----------------------|---------------------------------------------------------|
| MEE                  | Medidas de Eficiência Energética                        |
| PIB                  | Produto Interno Bruto                                   |
| RSU                  | Resíduos Sólidos Urbanos                                |
| ETE                  | Estação de Tratamento de Esgoto                         |
| IEA                  | Agência Internacional de Energia                        |
| CO <sub>2</sub>      | Dióxido de Carbono                                      |
| kcal/kg              | Quilocaloria por quilo                                  |
| kWh/kg               | Quilowatt hora por quilo                                |
| PCI                  | Poder Calorífico Inferior                               |
| kWh/t                | Quilowatt hora por tonelada                             |
| CH <sub>4</sub>      | Metano                                                  |
| W/m <sup>2</sup>     | Watt por Metro Quadrado                                 |
| GW                   | Gigawatt                                                |
| MWh                  | Megawatt hora                                           |
| MtCO <sub>2</sub> eq | Milhões de toneladas equivalentes em dióxido de carbono |
| SO <sub>2</sub>      | Óxido de Enxofre                                        |
| NO                   | Óxido de Nitrogênio                                     |

## SUMÁRIO

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                  | 5  |
| 2. OBJETIVOS .....                                                   | 8  |
| Objetivo Geral .....                                                 | 8  |
| Objetivos Específicos .....                                          | 8  |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO .....                                         | 9  |
| A matriz energética mundial.....                                     | 9  |
| O contexto energético brasileiro .....                               | 10 |
| Organização institucional do Sistema Elétrico Brasileiro – SIB ..... | 15 |
| Cenário energético no Nordeste .....                                 | 16 |
| O Ceará na perspectiva energética .....                              | 18 |
| Energias Renováveis.....                                             | 22 |
| Eficiência energética.....                                           | 23 |
| Biomassa e Bioenergia .....                                          | 26 |
| Co-geração .....                                                     | 27 |
| Alterações climáticas .....                                          | 28 |
| Sistema de Informação Geográfica – SIG .....                         | 30 |
| 4. METODOLOGIA .....                                                 | 32 |
| Resíduos agrícolas .....                                             | 33 |
| Arroz.....                                                           | 33 |
| Coco .....                                                           | 33 |
| Amendoim.....                                                        | 34 |
| Cana-de-açúcar .....                                                 | 34 |
| Cenário 1 – 30kW/t cana.....                                         | 34 |
| Cenário 2 – 60kW/t cana.....                                         | 35 |
| Cenário 3 – 120 kW/t cana.....                                       | 35 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Efluentes líquidos .....                                                                                                | 35 |
| Suínos .....                                                                                                            | 35 |
| Resíduos sólidos .....                                                                                                  | 36 |
| Resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários .....                                                                    | 36 |
| 5. RESULTADO E DISCUSSÃO .....                                                                                          | 38 |
| Mapeamento da geração de energia no Estado do Ceará por fonte, incluindo a potência e o tipo .....                      | 38 |
| Solar .....                                                                                                             | 38 |
| Eólica.....                                                                                                             | 40 |
| Térmicas, fósseis e biomassa .....                                                                                      | 42 |
| Hidráulica .....                                                                                                        | 47 |
| Histórico e estratégias adotadas.....                                                                                   | 48 |
| Ações e perspectivas para o futuro energético do Ceará .....                                                            | 51 |
| Emissão de Gases de Efeito Estufa – GEEs .....                                                                          | 54 |
| Sistema de Energia de Hidrogênio como perspectiva de redução de emissão de gases poluentes de combustíveis fósseis..... | 56 |
| 6. CONCLUSÃO .....                                                                                                      | 62 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                        | 64 |

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea apresenta um quadro de consumo excessivo devido ao meio de produção ao qual está inserida. Sendo as fontes energéticas um recurso indispensável para o desenvolvimento sócio-político do mundo atual, é importante ressaltar a escassez das fontes de origem fóssil, em especial o petróleo (PERES, 2012).

Segundo Martin (1992) a escassez possibilitou novas descobertas a fim de encontrar outras opções de recursos energéticos. Assim, novas tecnologias de conversão e uso da energia deram origem às cadeias de suprimento energético cada vez mais complexas, fazendo com que a energia passasse a assumir um papel estratégico para o desenvolvimento das nações.

Aos poucos, vêm-se buscando substituir o petróleo e seus derivados por fontes renováveis de energia, como a solar, eólica e de biomassa, conforme as iniciativas políticas locais (ARRUDA JÚNIOR, 2013).

De acordo com Arivumani & Vijayalaxmi (2017) o desenvolvimento sustentável surge nesse aspecto como uma abordagem ao desenvolvimento que busca equilibrar necessidades diferentes e frequentemente concorrentes, contra a consciência das limitações ambientais, sociais e econômicas que enfrentamos como sociedade.

Nessa perspectiva o desenvolvimento significa, portanto, fazer uso renovável dos recursos disponíveis, diminuir externalidades negativas, modificar ou adaptar padrões de consumo, desenvolver novas tecnologias - ou utilizar já existentes - apropriadas de produção no sistema, obter ganhos de eficiência no uso final e eliminar interferências presentes no planejamento, gestão e operação (WITTMANN, 2014).

Diante desta abordagem o Brasil vem passando por uma crise energética em razão da sua matriz que é pouco diversificada e predominantemente hídrica, estando a mercê de condições climáticas que fogem do seu controle. Outro fator é que, no país, há uma necessidade de se atingir um melhor planejamento estratégico para o setor energético, uma vez que ainda há incidência de atrasos resultantes de projetos mal elaborados, burocracia, dificuldades financeiras e outras questões de responsabilidade do governo ou das empresas – os quais impedem o andamento das construções dos parques geradores e entrega das linhas de transmissão (BEZERRA, 2016).

Para Miranda (2004) o aumento das necessidades de energia elétrica e os altos custos advindos da falta de suprimento desta energia, podendo-se citar como exemplo os efeitos do racionamento brasileiro em 2001, submete o Brasil a tomar decisões que visem aumentar a oferta de energia elétrica a partir da construção de novas fontes de geração e obras de transmissão/distribuição correspondentes, e de promover um melhor aproveitamento dos recursos já disponíveis.

Estes problemas de abastecimento ocorridos em 2001 intensificaram os programas para a diversificação da matriz energética nacional, como o Programa Prioritário de Termelétricas (PPT), com o objetivo de tentar suprir a escassez de energia por meio da rápida instalação de 49 usinas termelétricas movidas, principalmente, a gás natural (Michellini, 2005) e Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) que, de acordo com Guardabassi (2006), em sua primeira fase procurou assegurar a participação de 3.300 MW de energia a partir de fontes renováveis, e na segunda fase as energias renováveis (biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e eólica) buscaram atender a 10% do consumo anual de energia elétrica no país em vinte anos (BALESTIERI, 2014).

O Estado do Ceará, recorte espacial objeto deste trabalho, apresenta, de acordo com Mendes (2004) um abastecimento majoritariamente hidráulico com a geração eólica como complemento, uma vez que o período de ventos é superior ao de chuvas na região. Entretanto, há um enorme potencial energético a ser explorado, como as fontes de biomassa (bioenergia), a fim de descentralizar a geração de energia e proporcionar preservação ambiental e atendimento às camadas menos atendidas da população.

Nesse contexto, quando uma informação produzida necessita ser espacializada geograficamente como um conhecimento para auxiliar a tomada de decisões, o conceito de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) torna-se uma ferramenta. Os SIG são um conjunto/sistema de hardware, software e procedimentos criados para apoiar o recolhimento, a gestão, a análise, a modelagem e a visualização de dados georreferenciados para solucionar problemas de planejamento e de gestão (MENDES, 2013).

Dito isto, é de extrema importância espacializar a matriz energética cearense em busca de obter respaldo para a tomada de decisões voltadas ao futuro da disposição energética do Estado e avaliar as potencialidades e limitações do mesmo. Isto é possível através das metodologias empregadas em estudos ambientais que, ao longo das últimas quatro décadas, vêm sofrendo grandes impactos com as novas tecnologias que permitem maior agilidade, objetividade e consistência para as tomadas de decisões. O processamento de informações geográficas tem sido indispensável nas atividades de análises qualitativas e quantitativas na caracterização dos estudos. (FLORENZANO, 2008).

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma base de informações utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta, de forma a integrar o mapeamento das instalações produtoras de eletricidade na matriz energética do Estado do Ceará, incluindo as baseadas em recursos energéticos fósseis e as que integram recursos renováveis (biomassa, hídrica, solar, eólica), assim como o mapeamento dos recursos de biomassa com potencial para utilização para conversão energética e produção de eletricidade e analisar a evolução da produção energética no Estado, a fim de identificar problemas e sugerir soluções já utilizadas em outros países, de forma a contribuir à sociedade como um instrumento de apoio à tomada de decisão de órgãos públicos e privados.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar o setor de produção de energia elétrica no Estado do Ceará, incluindo a localização e tipologia das instalações, tipo de combustível e potência instalada.
- Analisar a evolução da produção de energia elétrica no Estado do Ceará.
- Identificar estratégia do Estado do Ceará no contexto da produção de energia elétrica.
- Indicar o potencial de biomassa agrícola e florestal assim como resíduos sólidos urbanos no Estado do Ceará na perspectiva de avaliar a possibilidade de sua utilização como recurso renovável para a produção de energia elétrica.
- Mensurar as consequências da utilização de combustíveis fósseis nas condições climáticas e emissões de gases de efeito estufa no Estado do Ceará.
- Avaliar o impacto da utilização de novas tecnologias como fonte alternativa aos fósseis.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

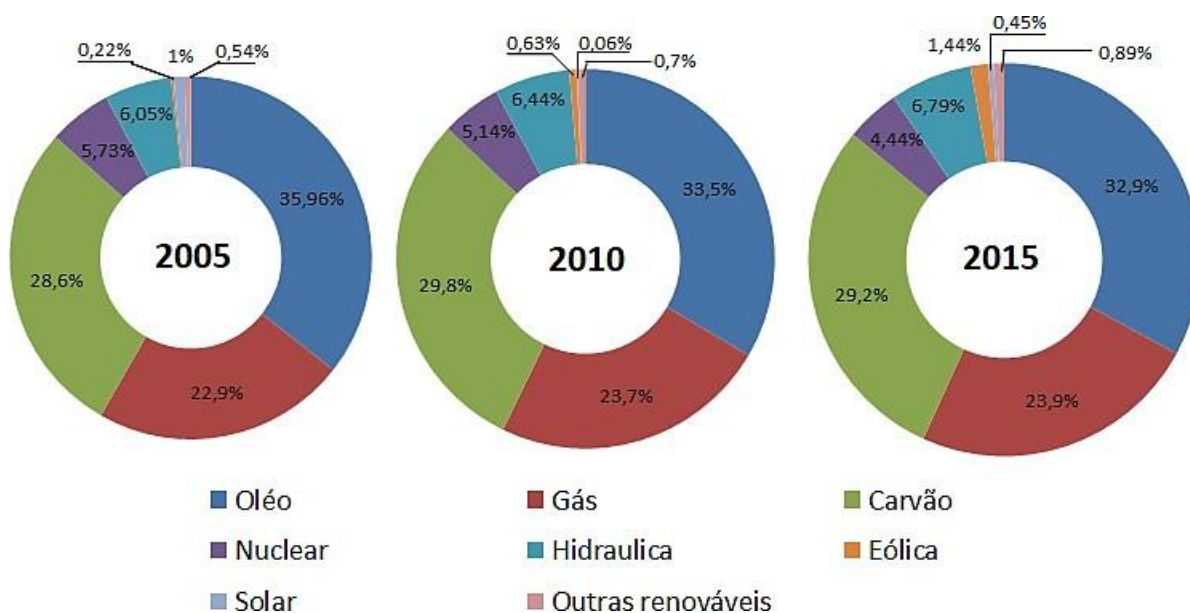
#### **3.1.A matriz energética mundial**

A demanda global por energia para o desenvolvimento socioeconômico e melhoria da qualidade de vida da população aumentou significativamente devido aos avanços tecnológicos e científicos da sociedade humana. Desde cerca de 1850, o consumo global de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) dominou o fornecimento de energia, levando ao rápido crescimento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo o consumo dessas fontes de energia não renováveis o responsável pela maioria das emissões antrópicas globais desses gases (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2012).

No entanto, desde a última virada do século, o mundo testemunhou uma mudança evidente no consumo de fontes de energia. O setor de energia mudou significativamente, principalmente devido ao aumento inesperado nos investimentos no mercado de energia renovável, novas capacidades tecnológicas e altas taxas de crescimento nos países em desenvolvimento. Por consequência disso, cada vez mais o mundo mostra um rápido desenvolvimento de fontes não convencionais e desenvolvimentos tecnológicos para a exploração de todas as formas de energia. Isso contribuiu para a queda dos preços e aumento da dissociação entre os conceitos de crescimento econômico e emissões de GEE. Portanto, a maioria dos países está buscando alcançar uma maior diversificação de sua matriz energética, com crescimento no setor de microprodução de energia privada e desenvolvimento no sistema de geração descentralizada (WEC, 2016).

Como pode ser visto na Figura 1, apesar das fontes de energia não renováveis continuarem representando aproximadamente 90% do consumo mundial de energia primária, pode-se observar uma tendência de queda no uso de combustíveis fósseis nos últimos 15 anos, principalmente em relação ao carvão e óleo combustível. Além disso, a participação de fontes renováveis, principalmente a energia solar e hidrelétrica, começaram a ganhar um espaço maior na matriz energética mundial.

Figura 1 – Cenários comparativos do consumo mundial de energia primária nos últimos 15 anos



Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de WEC (2016a)

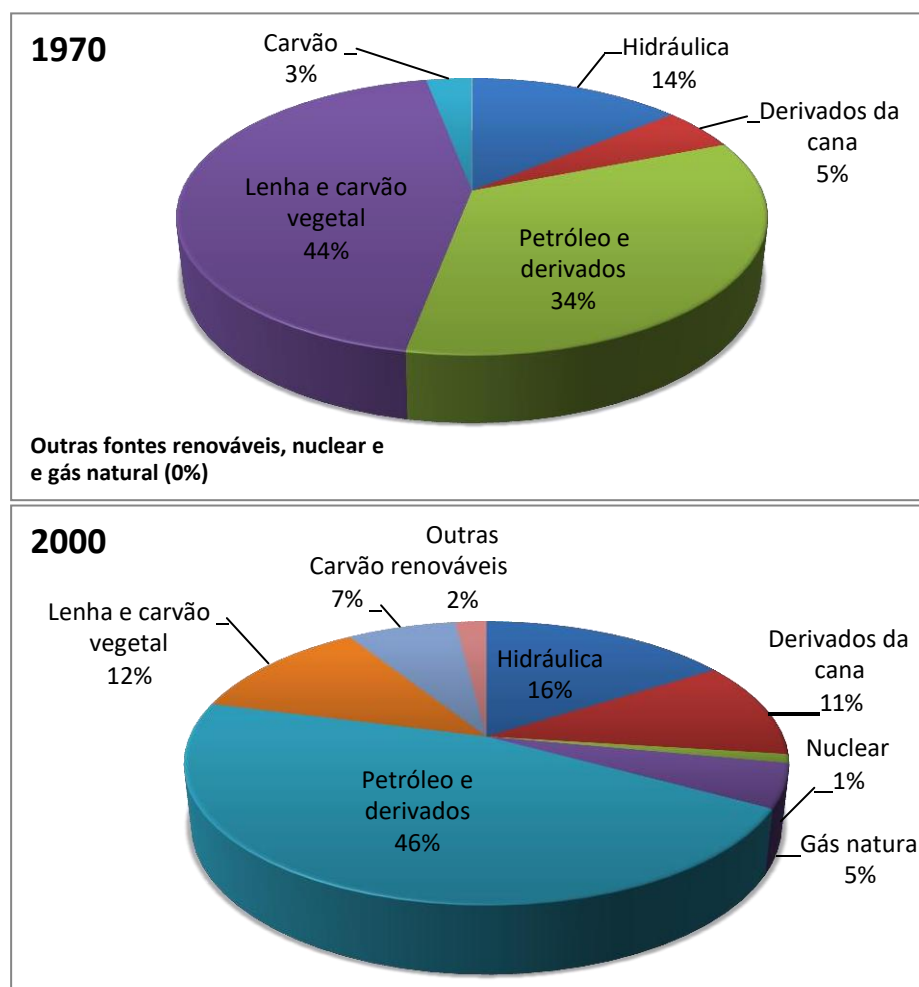
De acordo com Wec (2016a) é importante ressaltar que o setor de energia é um investimento em longo prazo, portanto se comparando os últimos 15 anos já é possível visualizar uma notória mudança e, apesar do setor de energias renováveis ainda não atender as expectativas, é irrefutável afirmar que ele está crescendo rapidamente, possuindo grande significado no panorama energético mundial.

### ***O contexto energético brasileiro***

Durante o século XX o Brasil passou por um acentuado desenvolvimento econômico, que repercutiu na necessidade de um aumento na demanda de energia primária. Entre os fatores que determinaram esse crescimento estão relacionados um intenso processo de industrialização, com a instalação de setores que dependem intensivamente de energia, gás e óleo, e uma notável expansão demográfica, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização. Considerando-se apenas o período a partir de 1970, a série histórica da evolução do consumo de energia e do crescimento populacional indica que naquele ano a demanda de energia primária era inferior a 70 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), enquanto a população atingia 93 milhões de habitantes. Em 2000 a demanda de energia quase triplicou, alcançando 190 milhões de tep, e a população ultrapassava 170 milhões de habitantes (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Vale atentar a uma visível tendência de diversificação da matriz energética brasileira. No Gráfico 1 pode-se observar que em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, correspondiam a 78% do consumo, enquanto em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo: além de petróleo e lenha, a energia hidráulica.

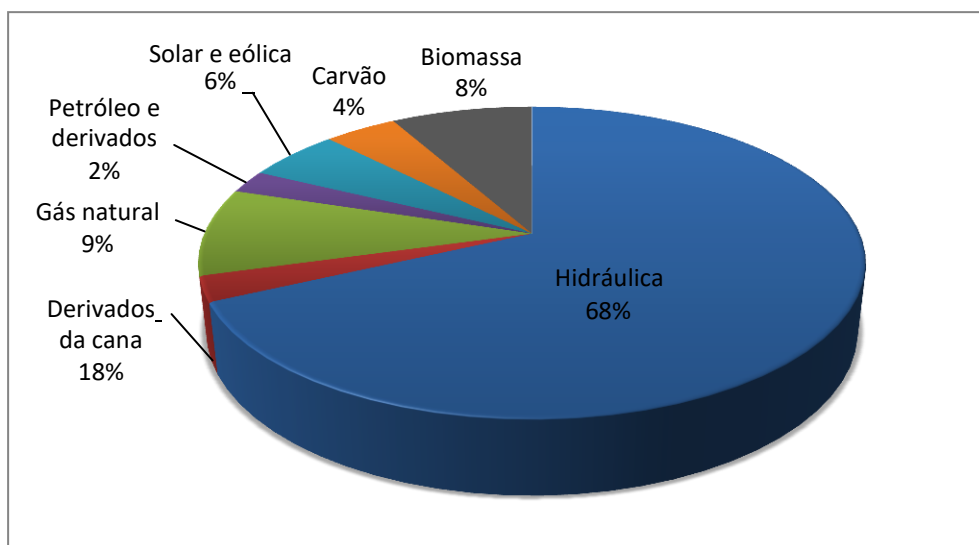
Gráfico 1 – Evolução da estrutura da oferta de energia (Brasil 1970-2000)



Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de EPE *apud*. TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI (2007)

Em 2016 foi possível identificar um aumento, ainda que de forma muito discreta, nas fontes de energias renováveis para fornecimento de energia no Brasil, como é possível observar no Gráfico 2. Isso se deu pela demanda causada pelo aumento populacional e políticas energéticas voltadas ao incentivo de geração de energia mais limpa, buscando cumprir acordos internacionais para redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) e, principalmente, em função da necessidade de diversificar a matriz energética do setor elétrico, ao contrário de muitos países, cuja base da matriz é predominantemente fóssil.

Gráfico 2 – Oferta de energia no Brasil (2016)



Fonte: Elaborado pela autora (Adaptado de EPE, 2016)

O Sistema Elétrico Brasileiro – SEB é predominantemente hidrotérmico. Juntas, a geração hidráulica e a geração térmica são responsáveis por aproximadamente 95% da geração elétrica do país, sendo 80% correspondente à geração hidrelétrica e 15% relativo à geração térmica convencional (ONS, 2011). As fontes hidroelétrica e termonuclear operam em regime de base, e as fontes termoelétricas (óleo, carvão, gás e biomassa), eólica e solar operam em complemento (ONS, 2014).

O predomínio do setor hidrelétrico na geração brasileira pode ser atribuído em parte às características hidrológicas e ao histórico de desenvolvimento da tecnologia de geração hidráulica do país. No que se refere à geração térmica, desde o início dos anos 2000 a importância do gás natural na matriz de geração vem crescendo significativamente (CENERGIA, 2006).

Tal particularidade do Sistema Elétrico Brasileiro é causada por alguns fatores, dentre eles: (1) a ausência de planejamento estratégico ao longo do seu desenvolvimento; (2) as particularidades de cada região em que o país se divide (norte, nordeste, centro-oeste, sul e sudeste) como geografia, densidade populacional, circulação de renda, entre outros; (3) dificuldade econômica para a expansão da rede elétrica por toda a extensão territorial, uma vez que o Brasil é um país de dimensões continentais e apresenta longas distâncias entre os grandes centros de consumo e as maiores usinas de geração e (4) a sazonalidade da maior fonte da matriz, o estoque hídrico (ANEEL-ATLAS, 2008; WITTMANN, 2014).

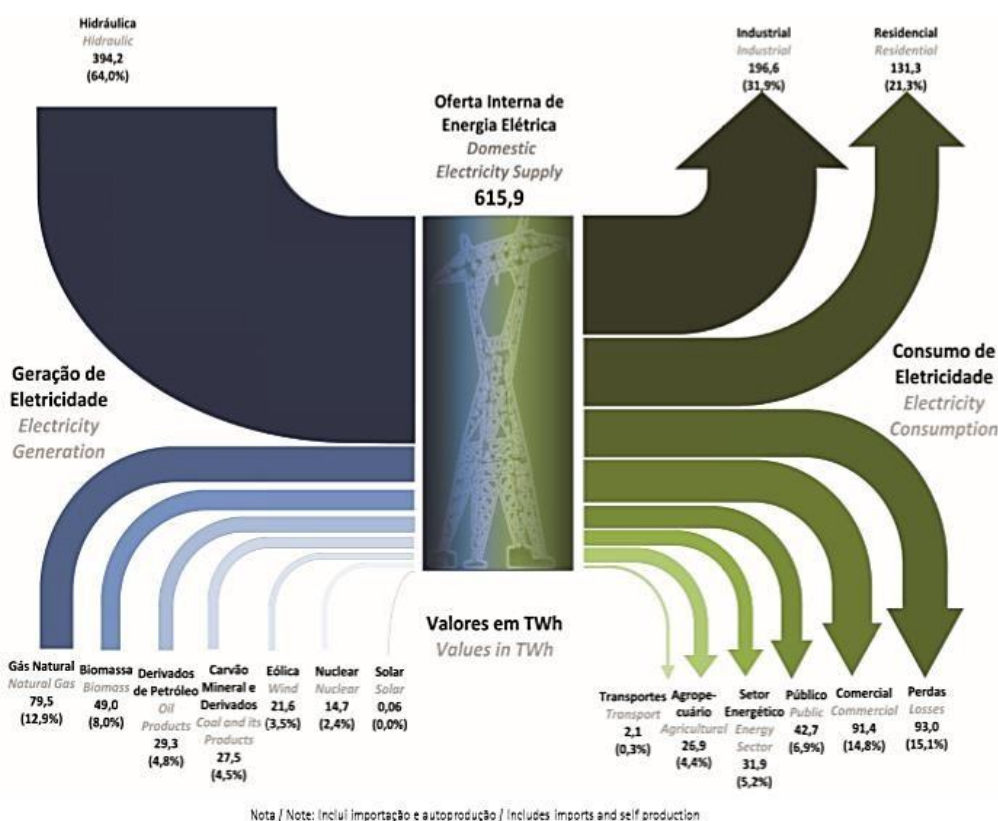
De acordo com o Relatório do Balanço Energético Nacional 2015 - Ano base 2014, no que tange ao consumo, o setor residencial registrou crescimento de 5,7%. O setor industrial apresentou queda de 2,0% no consumo eletricidade em relação ao ano anterior. Os demais setores (público, agropecuário, comercial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

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

Nessa perspectiva, fontes como energia solar, eólica e biomassa mostram grande potencial de aproveitamento, podendo ser utilizadas de forma a complementar a produção das usinas hidrelétricas ao invés da complementação feita pelas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis para seu funcionamento nos períodos em que os níveis dos reservatórios ficam baixos (BEZERRA, 2016)

Simioni (2006) explana que atualmente o governo brasileiro busca incentivar outras formas de energia alternativas, como a biomassa (principalmente derivados de cana, óleos vegetais e resíduos diversos), gás natural, carvão e eólica, com o discurso principal de diversificação da matriz, entretanto esse incentivo se dá mais em razão de estratégia de mercado (auto sustento em energia, conhecimento e o desenvolvimento tecnológico para um provável futuro sem os combustíveis fósseis). Como já citado, as ERSs não são consideradas fundamentais, apenas complementares como mostra a Figura 2. Não há, até o presente momento, uma política realmente orientada para o uso em grande escala das ERSs e sim, para o gás natural.

Figura 2 – Fluxo de Energia Elétrica – BEN (2016/ano base 2015)



Fonte: Balanço Energético Nacional (2016)

Atualmente o Brasil conta com 4.375 empreendimentos de geração de energia em operação, totalizando 136.955.770 kW de potência instalada. Na Tabela 1, resumo dos empreendimentos por matriz em operação e em construção.

Tabela 1 – Empreendimentos em operação por matriz

| Empreendimentos em Operação  |              |                         |                           |            |
|------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|------------|
| Tipo                         | Quantidade   | Potência Outorgada (kW) | Potência Fiscalizada (kW) | %          |
| Central Geradora Hidráulica  | 498          | 326.479                 | 328.156                   | 0,24%      |
| Central Geradora Eólica      | 257          | 6.197.061               | 6.092.549                 | 4,45%      |
| Pequena Central Hidrelétrica | 476          | 4.824.588               | 4.802.494                 | 3,51%      |
| Usina Foto Voltaica          | 317          | 19.179                  | 15.179                    | 0,01%      |
| Usina Hidroelétrica          | 201          | 87.308.965              | 84.928.838                | 62,01%     |
| Usina Térmica                | 2.606        | 40.292.776              | 38.798.554                | 28,33%     |
| Usina Termo Nuclear          | 2            | 1.990.000               | 1.990.000                 | 1,45%      |
| <b>Total</b>                 | <b>4.375</b> | <b>140.959.048</b>      | <b>136.955.770</b>        | <b>100</b> |

Fonte: Aneel, 2015

### ***Organização institucional do Sistema Elétrico Brasileiro – SIB***

O governo brasileiro, através de leis aprovadas em 2004, estabeleceu as diretrizes para o funcionamento do atual modelo do setor elétrico brasileiro, dando alguns importantes passos no sentido de tornar menos vulnerável o setor elétrico nacional. Os objetivos da criação do novo modelo, segundo o Ministério das Minas e Energia (MME), são assegurar a eficiência na operação e prestação do serviço aos Consumidores, garantir a modicidade tarifária e criar um ambiente regulatório estável que seja estímulo à concorrência, mostrando-se atrativo ao ingresso de novos investimentos privados no setor e que mantenha orientação para as funções de planejamento setorial de longo, médio e curto prazo.

Este novo modelo regulatório, definiu a criação de três novas instituições, como a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, que retomou o planejamento do setor no longo prazo; o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE, responsável por avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica do país; e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, com a atribuição de organizar as atividades de comercialização de energia no país.

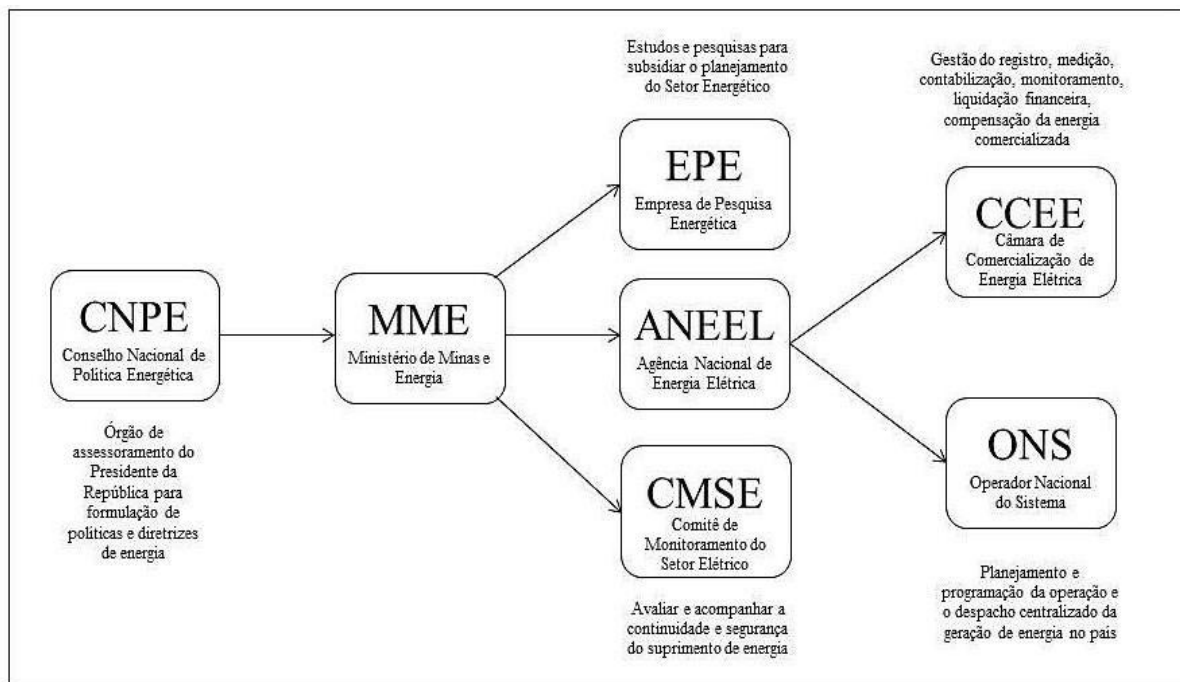
Outras alterações importantes incluíram a definição do exercício do Poder Concedente ao Ministério de Minas e Energia (MME) e a ampliação da autonomia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entidade de direito privado sem fins lucrativos, responsável por coordenar e controlar a operação das instalações de geração e de transmissão do Sistema Interligado Nacional, visando otimizar a geração conjunta do sistema hidrotérmico, com a pretensão da segurança energética e a minimização dos custos da energia elétrica para os Consumidores.

A atuação da ANEEL, agência reguladora independente, foi priorizada nos seus diversos papéis, em especial os de regulação, de fiscalização e do estabelecimento das tarifas, de forma a preservar o equilíbrio econômico-financeiro dos agentes e proteger os Consumidores quanto aos custos da energia fornecida.

Destaca-se também, a importância do Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE), conselho interministerial consultivo da Presidência da República, que tem como principais atribuições a definição de diretrizes e a aprovação das políticas energéticas formuladas e propostas pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2018).

A atual estrutura de funcionamento do setor elétrico foi concebida sob um ideal de equilíbrio institucional entre Agentes de Governo, Agentes Públicos e Privados, como menciona a Figura 3 abaixo.

Figura 3 – Fluxograma Organizacional das Instituições do Setor Elétrico Nacional



Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de MME (2018)

No setor elétrico brasileiro, existem Agentes de Governo responsáveis pela política energética do setor, sua regulação, operação centralizada e comércio de energia. Efetivamente, os Agentes diretamente ligados à produção e transporte de energia elétrica são os de geração, transmissão e distribuição.

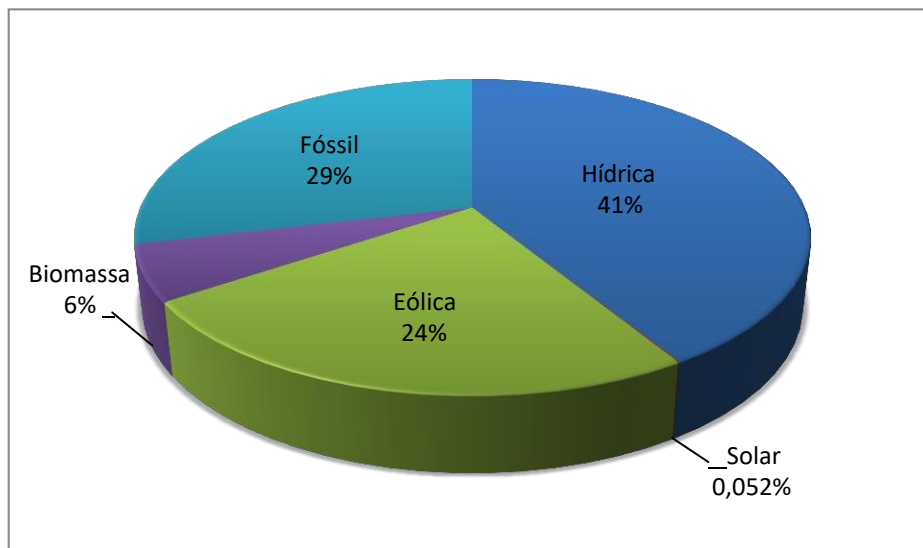
As atividades de governo são exercidas pelo CNPE, MME e CMSE. As atividades regulatórias e de fiscalização são exercidas pela ANEEL. As atividades de planejamento, operação e contabilização são exercidas por empresas públicas ou de direito privado sem fins lucrativos, como a EPE, ONS e CCEE. As atividades permitidas e reguladas são exercidas pelos demais Agentes do setor: Geradores, Transmissores, Distribuidores e Comercializadores.

### ***Cenário energético no Nordeste***

De acordo com Araújo (2011) o Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, possuindo uma área de 1.561.177,8 km e sendo composta por 9 estados. A

Região Nordeste do Brasil apresenta usinas de todas as fontes de energia elétrica, com exceção da Nuclear. Têm uma capacidade instalada estimada em mais de 19.788 MW até 2012, liderada pelo estado da Bahia.

Gráfico 3 – Potência instalada de geração de eletricidade por fonte (em MW) na Região Nordeste



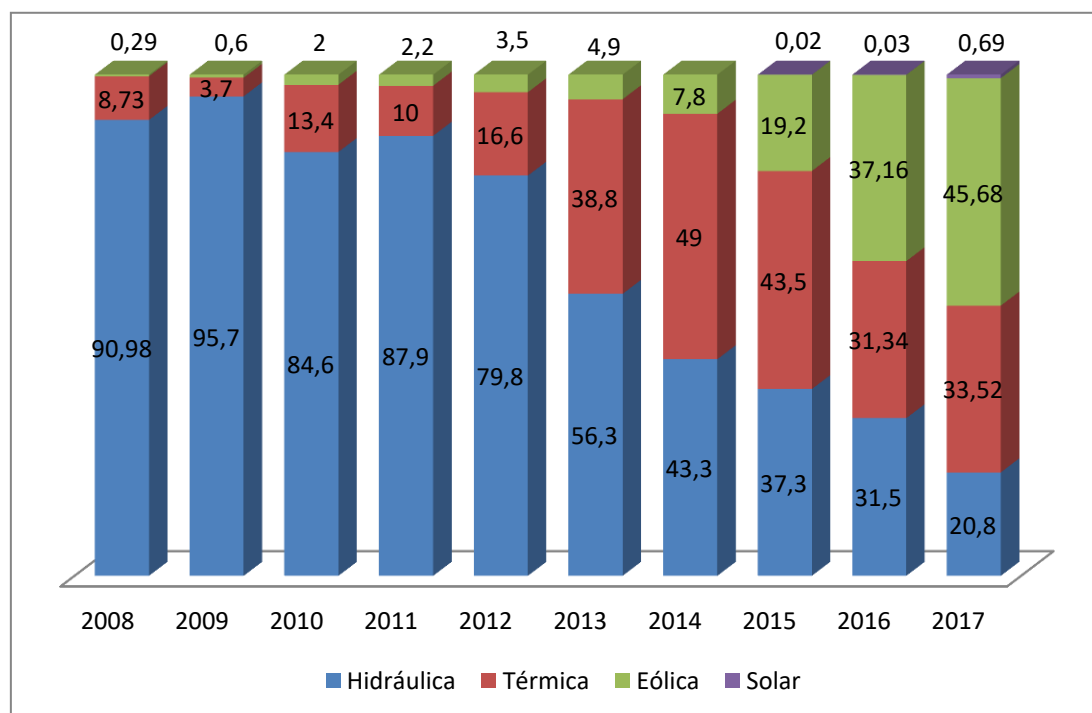
Fonte: ANEEL (2016).

Até recentemente, a energia elétrica produzida na Região Nordeste decorria basicamente da fonte hídrica, com destaque para o Rio São Francisco como maior provedor, sendo a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF de grande importância para o subsistema Nordeste como principal empresa geradora de energia elétrica e proprietária das mais importantes hidrelétricas da Região. Como exposto no Gráfico 3, o Nordeste possui valores significativos nas fontes hidráulica, termelétrica e eólica.

Desde 2013, as termelétricas e a energia eólica têm crescido e forma significativa na geração de energia elétrica do subsistema Nordeste em virtude da ocorrência de seguidos anos de baixa pluviosidade e da descoberta do potencial da energia eólica na Região. Por conta disso, a energia solar vem sendo uma proposta de incremento visada para os próximos anos, juntamente com a energia eólica, sendo esta segunda alternativa a segunda mais competitiva da Região, perdendo apenas para as grandes hidrelétricas, além de possuir dezenas de projetos já contemplados que entrarão em operação nos próximos anos. A energia solar, ainda que tímida, começa a crescer substancialmente entre 2016 e 2017, em virtude de projetos de leilões promovidos pela ANEEL. Em 2017, o Subsistema Nordeste gerou 8.875,83 MW médios, dos quais 61,25

MW (0,69% do total) médios da fonte solar (ETENE, 2018). O gráfico 4 mostra em porcentagem como se deu a evolução dessas fontes entre os anos de 2008 a 2017.

Gráfico 4 – Evolução da participação das fontes hidráulica, térmica e eólica na geração elétrica do Subsistema Nordeste (%)



Fonte: ONS (2018a)

Considerando que o potencial hidrelétrico restante economicamente viável no Nordeste encontra-se próximo do seu esgotamento, a expansão dessa fonte de geração elétrica na Região está comprometida. Assim, a tendência é o aumento gradativo como incremento as fontes já existentes, a participação das fontes solar e eólica na matriz de geração de energia elétrica da Região nordestina, em razão destas serem, atualmente, alternativas competitivas, principalmente pelos preços dessas fontes terem sido menores do que os de outras como solar, eólica e termelétrica (ETENE, 2018).

### ***O Ceará na perspectiva energética***

O Estado do Ceará, recorte espacial desse estudo, está inserido na Região Nordeste do Brasil, possuindo maior parte do seu território inserido na Região Semiárida nordestina. O clima do Semiárido é o elemento motivador pela variação dos outros elementos que constituem o campo visual do nordeste brasileiro. A vegetação e os processos geomorfológicos que formam as paisagens estão adequados ao clima,

onde, dependendo da época do ano (período chuvoso ou seco), agem um sobre o outro. Por conseguinte, a ausência de chuvas tornam os solos dessa região pouco desenvolvidos na perspectiva de horizontes pedológicos.

A hidrografia nesta região é formada por leitos intermitentes e geridos pelas chuvas durante o período chuvoso, de forma a se formarem rios superficiais. Estes rios na época de seca praticamente se tornam inexistentes, pois estão cobertos pelo relevo formado pela força das águas no período chuvoso, com pouca quantidade hídrica no lençol freático. Esse processo justifica o crescimento da exploração de outras fontes, sendo o Estado do Ceará tão prejudicado quanto os outros Estados da Região Nordeste. (ARAÚJO, 2011).

Atualmente, o Estado do Ceará, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2018), possui um total de 114 empreendimentos de geração de energia de fontes eólica, solar, termelétrica e hidrelétrica, perfazendo um total de capacidade instalada de 4.115.735 KW (2,56% do total brasileiro).

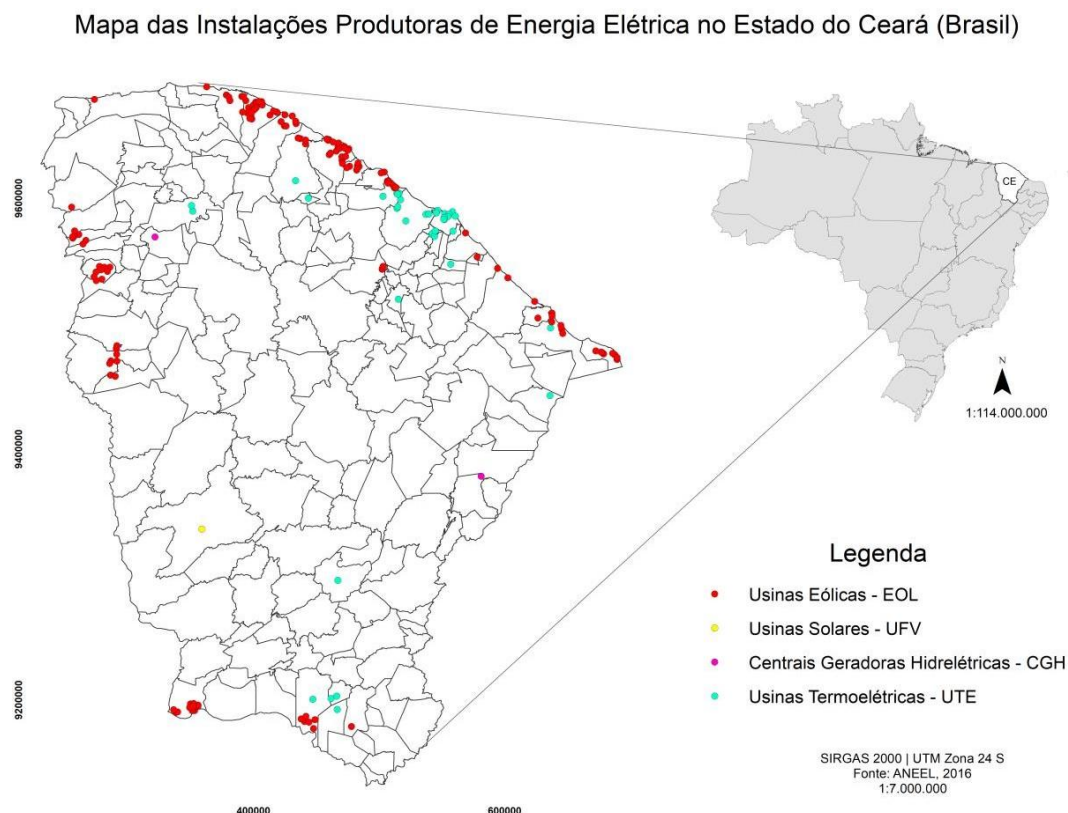
No que tange à hidrelétrica, o Ceará possui duas centrais de geração hidrelétrica (CGH), denominadas Taquara e Figueiredo, com potência instalada de 1.263 KW juntas e situadas, respectivamente, nos municípios de Cariré e Alto Santo. A energia eólica cearense está dimensionada com potencial de 1.956.264 KW, contando atualmente com 76 usinas eólicas em operação, localizadas em sua maior parte no município de Trairi, seguida da região do Litoral Norte, Litoral Leste, Litoral Oeste/Vale do Curu e Serra da Ibiapaba.

Além das usinas de energia eólica e hidrelétrica, o Ceará possui a primeira usina comercial de energia solar do Brasil, na cidade de Tauá, com capacidade total de geração de 5000 KW. Localizada no município de mesmo nome, no Sertão dos Inhamuns, a usina é de propriedade da MPX Tauá Energia Solar Ltda e corresponde a 0,12% da produção do Estado.

Quanto aos empreendimentos térmicos, o Ceará conta com 36 usinas em operação, sendo o óleo diesel (72,2%) e o gás natural (16,6%) as principais fontes, totalizando uma potência instalada de 2.153.158 KW. A Região Metropolitana de Fortaleza concentra 26 das 36 usinas desta fonte no Estado, com destaque para os municípios de Fortaleza, São Gonçalo do Amarante e Caucaia.

O Ceará conta, ainda, com uma usina de geração de energia elétrica a partir da energia das ondas do mar, situada no Terminal Múltiplo Uso do Porto do Pecém. Inicialmente foi construída para ter capacidade de geração de 50 KW por meio de parceria com Eletrobrás, Finep e Coppe/UFRJ. Entretanto, atualmente, encontra-se parada (ADECE, 2013). A Figura 4 estabelece a localização geográfica de cada instalação elétrica por fonte.

Figura 4 – Mapa de Energia Elétrica por fonte no Estado do Ceará (potência instalada)



Fonte: ANEEL (2018). Elaborado pela autora (2018).

Tabela 2 – Capacidade de Geração no Estado do Ceará por fonte de energia (empreendimentos em operação)

| Tipo                                      | Quantidade | Potência (kW)  | %          |
|-------------------------------------------|------------|----------------|------------|
| Central Geradora Hidrelétrica – CGH       | 2          | 1263           | 0,03       |
| Central Geradora Eólica – EOL             | 74         | 1916364        | 47,03      |
| Central Geradora Solar Fotovoltaica - UFV | 1          | 5000           | 0,12       |
| Usina Termoeletrica – UTE                 | 36         | 2152235        | 52,82      |
| <b>Total</b>                              | <b>114</b> | <b>4074912</b> | <b>100</b> |

Fonte: ANEEL (2018)

Sobre projetos relacionados à energia proveniente de biomassa, segundo a ADECE, estão sendo concebidos alguns voltados para biodigestão de cama de frango, capim e bagaço de caju, decorrente de *joint venture* entre empresas eslovena e cearense. Estão previstas duas unidades, uma no município de Pacajus e outra no município de Jaguaribe, que terão capacidade de geração de aproximadamente 5 MW cada. Entretanto, até a presente data não se obteve nenhuma informação de avanço sobre o projeto.

No que diz respeito à inserção internacional, verifica-se que apenas 1,3% da produção cearense de Equipamentos de Geração e Controle de Energia foram direcionadas ao mercado externo. Relativizando esse indicador, observa-se que o Estado possui 56% da inserção internacional brasileira de 2,3%, como mostra a Figura 5. Vale destacar que a inserção internacional considera somente o segmento de Equipamentos de Geração e Controle de Energia, calculada por meio da relação entre valor bruto da produção industrial e valor da exportação (FIEC, 2016).

Figura 5 – Inserção Internacional do Estado do Ceará



Fonte: Núcleo de Economia/SFIEC a partir de IBGE (2013) e MDIC (2014). Elaborado pela autora (2018).

Dados recentes disponibilizados pela ANEEL mostram que, de fato, assim como o Nordeste num geral, o Ceará está buscando investir na renovação da sua matriz energética através de projetos de energias renováveis, principalmente da fonte eólica, como é possível observar nas Tabelas 3 e 4. Está previsto para os próximos anos uma adição de 547.896 kW na capacidade de geração do Estado, proveniente dos 11 empreendimentos atualmente em construção e mais 12 em construção não iniciada.

Tabela 3 – Empreendimentos em Construção no Estado do Ceará

| <b>Tipo</b>                               | <b>Quantidade</b> | <b>Potência (kW)</b> | <b>%</b>   |
|-------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Central Geradora Eólica - EOL             | 7                 | 138600               | 51,79      |
| Central Geradora Solar Fotovoltaica - UFV | 4                 | 129000               | 48,21      |
| <b>Total</b>                              | <b>11</b>         | <b>267600</b>        | <b>100</b> |

Fonte: ANEEL (2017)

Tabela 4 – Empreendimentos com Construção não iniciada no Estado do Ceará

| <b>Tipo</b>                               | <b>Quantidade</b> | <b>Potência (kW)</b> | <b>%</b>   |
|-------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Central Geradora Eólica - EOL             | 8                 | 187200               | 66,79      |
| Pequena Central Hidrelétrica - PCH        | 1                 | 9000                 | 3,21       |
| Central Geradora Solar Fotovoltaica - UFV | 3                 | 84096                | 30         |
| <b>Total</b>                              | <b>11</b>         | <b>280296</b>        | <b>100</b> |

Fonte: ANEEL (2017)

### **Energias Renováveis**

A questão da sustentabilidade ambiental teve seu maior estímulo a partir dos debates ocorridos na Conferência de Estocolmo (Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano) em 1972. Nesse documento é expressa a convicção de que os recursos da Terra devem ser utilizados de forma a evitar o perigo do seu esgotamento futuro e assegurar que toda a humanidade participe.

Os debates sobre o ponto de vista energético se tornaram alvo das preocupações entre as nações, principalmente após a crise do petróleo de 1970, que gerou instabilidade política e econômica generalizada (REIS, 2011; AZEREDO, 2012). Nas décadas de 1980 e 1990, a percepção quanto à limitação dos combustíveis fósseis, a alta dos preços do petróleo e os efeitos nocivos causados pelos gases emitidos pelo homem, apontados por pesquisas científicas, fortaleceram os estudos em busca de alternativas de energia sustentáveis, culminando no alerta dado à comunidade internacional por meio da Convenção sobre Mudança do Clima (DEMIRBARS, 2010).

Na busca pela diminuição dos impactos ambientais e sociais causados pelas fontes de energia tradicionais e buscando a preservação dos recursos naturais deu-se início a investigação e pesquisas por fontes de energia alternativas com baixo custo ambiental, chamadas energias renováveis, dentre as quais podemos citar a energia solar, energia eólica, energia hidráulica, biomassa, biogás, biodiesel e geotérmica.

Berman (2008) explana que cada vez mais essas fontes de energia vêm ganhando espaço e competindo com as já existentes. A lenha e carvão vegetal que representam 12% da oferta energética nacional são entendidos como fontes renováveis, muito embora nesta conta não se considere a proporção ainda relevante da lenha e do carvão vegetal obtidos da mata nativa.

O acesso das comunidades remotas a redes de energia limpa no Brasil ainda é muito restrito por elementos sociais e econômicos. De acordo com EPE (2008), o consumo de lenha representa 36,4% na matriz energética Brasileira ao nível residencial, enquanto que o gás GLP de cozinha representa 25,8% do consumo total de energia final

Além da preocupação da sociedade moderna com a finitude das fontes fósseis, as energias renováveis também se destacam por causarem impactos substancialmente menores, diminuindo ainda a emissão de gás carbônico na atmosfera. O debate contínuo, sobre os impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis, contribui decisivamente para o interesse mundial por soluções sustentáveis por meio de geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis (BERMAN, 2008).

### **Eficiência energética**

A eficiência no uso da energia, em especial a elétrica, está na pauta no mundo desde os choques do petróleo na década de 70, quando se tornou incontestável que as reservas fósseis não seriam baratas para sempre, nem o seu uso seria sem prejuízos para o meio ambiente. Em pouco tempo se descobriu que o mesmo –serviço de energia (iluminação, força motriz e os usos que proporciona, aquecimento, condicionamento ambiental, equipamentos eletro-eletrônicos, etc.) poderia ser proporcionado com menos gasto de energia, com repercussões econômicas, ambientais, sociais e culturais. Equipamentos e hábitos de uso passaram a ser analisados também sob o ponto de vista de sua eficiência energética, verificando-se que muitos deles eram economicamente viáveis, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia cujo uso evitava (EPE, 2007).

Para Pimentel (2011) avanços em eficiência energética implicam a utilização de quantidades menores de energia para a produção de um bem ou serviço. Essa redução do consumo pode advir de conquistas tecnológicas (e.g. lâmpadas fluorescentes ou carros mais econômicos), ou ainda de melhorias em estruturas organizacionais e gerenciais (e.g. maximização de capacidade de carga via planejamento logístico, ou a construção de edifícios ecológicos, que aproveitem fontes de luz e calor naturais). Em sua acepção macroeconômica, eficiência energética mede a quantidade de energia requerida para um aumento de 1% no PIB de um determinado país.

Estas medidas – uso de equipamentos e hábitos que provocam menor uso da energia para auferir o mesmo serviço prestado – receberam o nome de medidas de eficiência energética (MEE). A diversidade das medidas disponíveis e a análise correta das oportunidades de implementação ensejou o surgimento, a partir do início da década de 80 (VINE, 2005) de uma indústria – a chamada indústria de ESCOs (Energy Service Companies) ou Companhias de Serviços de Energia. O serviço típico de uma ESCO se dá através de um contrato de performance, onde cabe a ela a análise, a sugestão e a implementação de uma MEE, sendo remunerada através da economia proporcionada.

Apesar dos grandes benefícios que uma MEE pode trazer a seu usuário e à sociedade como um todo, muitas barreiras impedem a sua disseminação: dificuldades para financiamento, percepção dos riscos envolvidos, falta de informação, conscientização, treinamento, conhecimento das regras de um contrato de performance, acesso às tecnologias e equipamentos de uso eficiente da energia, altos custos de transação, falta de confiança no resultado das medidas, etc. Essas barreiras necessitam de políticas adequadas para serem quebradas, incluindo o desenvolvimento e fortalecimento de agentes promotores como ESCOs (VINE, 2005).

Em muitos países da Europa como da América do Norte cada vez mais se têm lançado mão de uma política cada vez mais agressiva no estabelecimento de eficiências mínimas para os equipamentos. Nesses países, os índices mínimos de eficiência energética são mecanismos de políticas públicas que eliminam equipamentos ineficientes do mercado e estão dentre as opções que mais resultados efetivos vêm apresentando em relação aos ganhos de economia de energia e à transformação dos mercados de eficiência energética. Nos Estados Unidos da América do Norte, os

padrões de eficiência energética para os equipamentos de uso residencial e comercial representam a maior fonte de economia de energia (VIANA, et al., 2012).

O estabelecimento desses MEPS (Minimum Energy Performance Standards) ou Padrões Mínimos de Desempenho Energético requer um processo de várias etapas inclusive na avaliação prospectivas de impactos. Um exemplo de uma política agressiva nessa questão foi quando o Congresso dos Estados Unidos, com o apoio do governo federal, aprovou uma nova Lei de Energia em 2007 estabelecendo novas e severas metas de eficiência energética que vigoraram a partir de 2012. Através dessa lei, numa primeira fase (2012-2014), as lâmpadas de uso geral devem ser aproximadamente 30% mais eficientes (mais lumens por watt) do que as lâmpadas convencionais fabricadas hoje e, numa segunda fase (a partir de 2020), as mesmas lâmpadas devem ser três vezes mais eficientes.

Uma consequência dessa lei foi o incentivo para que pesquisadores em diversos centros dos Estados Unidos produzissem lâmpadas incandescentes capazes de cumprir as normas que vigorarão a partir de 2012 demonstrando que medidas regulatórias em eficiência energética adotadas por ordem do governo podem se transformar também em ferramentas de estímulo à inovação.

No Brasil, atualmente, o Plano Nacional de Energia (PNE 2030) definiu para 2030 uma meta de economia de 10% no consumo final de energia elétrica, a ser alcançada mediante o incremento da eficiência dos sistemas energéticos, e evidenciou a necessidade de elaborar um plano específico para atender esse desafio. Com esse propósito, o Ministério de Minas e Energia vem elaborando o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que deverá nortear essas atividades e constituir um direcionamento fundamental para o desenvolvimento da eficiência energética no País.

Um dos instrumentos legais recentes no Brasil é a Lei nº. 10.295/2001 (Lei de Eficiência Energética) e o Decreto nº 4.059/2001, que regulamentou a referida Lei e criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a função, dentre outras, de elaborar um programa de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado. Outro instrumento importante é o Programa Brasileiro de Etiquetagem e o Selo PROCEL de Economia de Energia que responde atualmente pela maioria dos resultados obtidos pelo PROCEL.

A eficiência energética, portanto, coloca sua importância através da economia de recursos, aumento da competitividade, menor necessidade de investimentos em infraestrutura, menor impacto ambiental e maior segurança energética.

### **Biomassa e Bioenergia**

O termo biomassa refere-se a uma série de produtos e subprodutos agrícolas e florestais, assim como resíduos diversos de origem animal e humana (RSU – resíduos sólidos urbanos, como lixo e lodo de ETEs - estações de tratamento de esgoto; gás de aterro e de ETEs), ou seja, matéria orgânica que pode ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica, utilizada em termoelétricas de forma direta, através de combustão, ou de forma indireta, através de processos de gaseificação, liquefação ou na forma de biocombustíveis.

A biomassa produzida de forma sustentável - a chamada biomassa moderna - exclui os usos tradicionais da biomassa como lenha e inclui geração de eletricidade e produção de calor, bem como combustíveis de transporte, de resíduos agrícolas e florestais e resíduos sólidos. Por outro lado, a "biomassa tradicional" é produzida de forma insustentável e é usada como uma fonte não comercial - geralmente com baixíssimas eficiências para cozinhar em muitos países. Nos números da Agência Internacional de Energia (AIE), as renováveis incluem a biomassa utilizada de forma sustentável ou insustentável, apesar do fato de que em muitos países o uso difundido de árvores como lenha não é sustentável (GOLDEMBERG E COELHO, 2004).

Se não utilizada de forma correta, o uso da biomassa pode trazer prejuízos em pequena (uso doméstico) e larga escala (uso industrial), como problemas de saúde causados pela poluição gerada com a finalidade de cozinhar e aquecer e o desmatamento. Para Carvalho (2010) considera-se a combustão residencial de biomassa como um processo neutro do ponto de vista do balanço de carbono, entretanto, é um processo que pode ser prejudicial para a saúde e ambiente (Simon, 2011), responsável por 2 milhões de mortes por ano a nível mundial – 99% nos países em desenvolvimento, devido à emissão de pequenas partículas de fuligem (OMS, 2004).

Ainda assim a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a

diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2008).

Existem várias rotas tecnológicas para obtenção da energia elétrica a partir da biomassa. Todas prevêm a conversão da matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz. Essa máquina produzirá a energia mecânica que acionará o gerador de energia elétrica.

De uma maneira geral, todas as rotas tecnológicas, também, são aplicadas em processos de co-geração – produção de dois ou mais energéticos a partir de um único processo para geração de energia - tradicionalmente utilizada por setores industriais. Nos últimos anos, transformou-se também em um dos principais estímulos aos investimentos na produção de energia a partir da cana-de-açúcar por parte das usinas de açúcar e álcool (ANEEL, 2008).

### **Co-geração**

A geração termelétrica implica necessariamente a produção de calor residual, que pode ser aproveitado, ainda que parcialmente, por meio da co-geração. Essa tecnologia consiste na produção simultânea e seqüencial de calor de processo e potência mecânica e/ou elétrica. Além de opção importante como geração distribuída de energia elétrica (Walter & Nogueira, 1997), a co-geração é uma forma de racionalização do uso de recursos naturais e de redução de impactos socioambientais negativos, particularmente em decorrência da emissão de gases de efeito estufa (ABDALAD, 2000; COELHO, 2002). Além da geração de energia mecânica e elétrica, a recuperação de calor residual pode ser destinada a sistemas de aquecimento de fluidos, climatização de ambientes, geração de vapor, secagem de produtos agrícolas etc.

Um sistema padrão de co-geração consiste basicamente em uma turbina a vapor ou de combustão (turbina a gás), que aciona um gerador de corrente elétrica, e um trocador de calor, que recupera o calor residual e/ou gás de exaustão, para produzir água quente ou vapor. Desse modo, gasta-se até 30% menos do combustível que seria necessário para produzir separadamente calor de geração e de processo e amplia-se a eficiência térmica do sistema, que pode atingir um índice de 90% (ANEEL, 2008).

Grandes empresas brasileiras vêm implantando sistemas de co-geração com a utilização do gás natural ou do próprio lixo industrial. O material que antes era descartado pela indústria de celulose passou a ser utilizado como combustível para aquecer as caldeiras. No Brasil, destaca-se ainda, na utilização da co-geração, o setor sucroalcooleiro.

A co-geração pode ser realizada com todos os combustíveis usados em usinas termelétricas – por exemplo, óleos, biomassa e carvão, além do gás natural. A opção por um ou por outro depende, em última instância, da disponibilidade de suprimento e das características do consumidor.

Em síntese, o processo de co-geração permite a produção simultânea de energia elétrica, energia térmica e vapor. No caso do gás natural, os dois últimos são produzidos a partir do calor gerado na produção da eletricidade por usinas em ciclo simples e que, se não utilizado, seria liberado na atmosfera. Este calor é recuperado antes da emissão dos gases e destinado à produção de vapor, do ar quente ou da refrigeração.

Um dos argumentos favoráveis à co-geração é a possibilidade de utilização da energia que naturalmente se perde no processo de geração da eletricidade nas termelétricas. Outro é a independência em relação ao suprimento fornecido por terceiros – no caso brasileiro, pelas distribuidoras ou comercializadoras de energia elétrica. Finalmente, um terceiro é a redução do volume de gases lançados na atmosfera, o que pode ser um fator de competitividade no momento atual, em que os consumidores estão cada vez mais exigentes com relação ao impacto ambiental provocado pelos produtos que adquirem.

### **Alterações climáticas**

Nos últimos 150 anos, os combustíveis fósseis foram e continuam sendo os principais componentes de nossa produção de energia. Durante esse período, uma fração substancial dessas reservas foi explorada. Como não são fontes renováveis nem limpas, nossa dependência significativa desses combustíveis, seu esgotamento e seu considerável impacto no meio ambiente levam à necessidade crucial de implementar fontes de energia renováveis e diversificar a matriz energética mundial. O consumo dessas fontes é particularmente responsável pela emissão antropogênica de Gases de

Efeito Estufa (GEE) nos últimos séculos, e apontado como responsável pelas mudanças climáticas e pelo aquecimento global (WEC, 2016).

O crescimento do movimento ecológico e a presença dos temas nas agendas políticas tornaram o assunto ainda mais presente para os formadores de opinião. A consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável foi apenas parte de um processo que culminou, enfim, na adoção formal de políticas ambientais por todos os governos mundiais nos anos noventa.

Em paralelo, constatou-se que, provavelmente, a humanidade já poderia, de forma definitiva, ter alterado o ambiente do planeta. A verificação de uma mudança climática tendo como fonte as atividades humanas tem sido o momento em que a humanidade constata que o crescimento econômico anterior deu-se sob uma base energética limitada e frágil.

A percepção a respeito da mudança climática e sua provável causa antropogênica realçou o desafio imposto à formulação de políticas para a matriz energética mundial. Nesse sentido, a política ótima constitui-se em manter o crescimento econômico sem, todavia abrir mão da transição energética rumo a uma matriz energética que proporcione menor nível de emissões de poluentes. Ao mesmo tempo, tanto melhor, se possível, nesse processo é possível corrigir algumas desigualdades surgidas no processo de crescimento econômico.

Considerando que o carbono nos combustíveis fósseis foi armazenado no subsolo por milhões de anos, ao remover este carbono sequestrado do fundo da Terra e liberá-lo na atmosfera, o orçamento de carbono da Terra fica desequilibrado. O dióxido de carbono é um gás responsável por manter o calor na atmosfera da Terra, resultando no processo de –efeito estufa. Esse efeito é essencial para a vida na Terra, mas, quando o orçamento de carbono é desequilibrado, contribui para que as temperaturas subam mais rápido do que os organismos podem se adaptar, agravando as mudanças climáticas e o aquecimento global (OLIVEIRA & TRINDADE, 2018a).

Segundo Dunlap (2015), ao longo do último século, a mudança climática tem se manifestado de várias formas, como na redução do tamanho e do número de geleiras; a área redutora e a espessura do gelo marinho do Ártico; o aumento do nível do mar; as mudanças biológicas na migração das aves e os estágios de desenvolvimento

das plantas; a crescente distribuição geográfica de certas plantas e animais; o degelo do permafrost no Ártico; e mudanças climáticas, como eventos mais frequentes do El Niño.

A liberação de GEE para a atmosfera por atividades antropogênicas é a principal causa dessas mudanças, de acordo com o consenso científico geral. Além disso, outros fatores antropogênicos, como o desmatamento, também têm contribuído para o agravamento do problema.

De acordo com Rocha (2003), em 1992 estabeleceu-se a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change), durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO-92), com o objetivo de propor ações para que os países industrializados estabilizassem as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa. Na sequência, foram realizadas diversas conferências das partes (COP, Conference of Parts), dentre as quais se destaca a que se realizou em Quioto, em 1997.

Em tal conferência se estabeleceu um acordo que definia as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa para os países com compromisso de redução desses gases, assim como critérios e diretrizes para a utilização de mecanismos do mercado, chamado de mercado de créditos de carbono. Por meio de tal estrutura, um país em desenvolvimento receberia créditos de carbono por utilizar uma tecnologia menos poluente ou utilizar uma fonte energética renovável; por sua vez, países industrializados, ao comprarem tais créditos, compensariam as próprias emissões de CO<sub>2</sub>, reduzindo o custo de sua adesão ao referido Protocolo (BALESTIERI, 2014).

### **Sistema de Informação Geográfica – SIG**

O geoprocessamento é uma forma de sistematização, análise e representação de dados que mostra cada vez mais crescimento em todo o mundo. Por meio do cruzamento e da superposição de dados espaciais, de diferentes origens e formatos, previamente selecionados, essa ferramenta permite acelerar os procedimentos de mapeamentos temáticos, antes dispendiosos e demorados (ANEEL, 2005).

Segundo Harder (1998), o trabalho com bases tabulares e gráficas digitais possibilita uma permanente atualização das informações, com a edição periódica de mapas ou a confecção de mapas interativos. Tais instrumentos são ideais, por exemplo,

para monitorar as consequências do crescimento e redistribuição da população e avaliar determinados processos de evolução ambiental.

Como um dos principais elementos do geoprocessamento está o sistema de informações geográficas (SIG). Um instrumento atualmente indispensável no auxílio ao planejamento, à gestão e à análise de projetos e atividades socioeconômicas. De acordo com Maguirre, Goodchild e Rhind (1991), esse sistema pode ser definido a partir de três propriedades básicas: a) capacidade de apresentação cartográfica de informações complexas; b) base integrada de objetos espaciais e de seus respectivos atributos ou dados; c) sofisticado instrumento analítico, composto por um conjunto de procedimentos e ferramentas de análise espacial.

Por suas características técnicas, o SIG permite reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial e estruturá-los adequadamente, de modo a aperfeiçoar o tratamento integrado de seus três principais componentes: posição, topologia e atributos. Desse modo, fornece relevantes subsídios para acelerar o processo decisório de administradores e analistas, ao propiciar, por meio de complexas aplicações gráficas, rapidez nas análises e prognósticos socioambientais mais precisos, em diferentes cenários. Sua multifuncionalidade, além de facilitar o desenvolvimento dos trabalhos, é uma das formas mais eficazes de integração e validação de dados. Entretanto, é primordial que as informações disponíveis sejam de fácil visualização e passíveis de representação gráfica, na forma de pontos, linhas, polígonos ou imagens georreferenciadas, ou seja, relacionadas a locais da superfície terrestre cartograficamente delimitados (ANEEL, 2005).

Diversas estratégias de georreferenciamento de dados podem ser utilizadas. Porém, todas dependem, fundamentalmente, da qualidade dos dados (informações demográficas atualizadas, mapas temáticos bem elaborados e da confiabilidade da base cartográfica existente). Com esses dois requisitos atendidos, a forma mais prática de fazer o georreferenciamento das informações é localizá-las, por meio das coordenadas geográficas, nas cartas das respectivas regiões ou municípios, usando os artifícios gráficos que melhor as representem (cores, símbolos, hachuras etc.). Uma segunda estratégia de georreferenciamento é a associação desses dados a coordenadas geográficas coletadas em campo, frequentemente com o auxílio de equipamentos do tipo GPS – Global Positioning System. Assim, torna-se mais prática e eficiente a delimitação das áreas ou pontos. Por fim, a terceira estratégia de georreferenciamento de

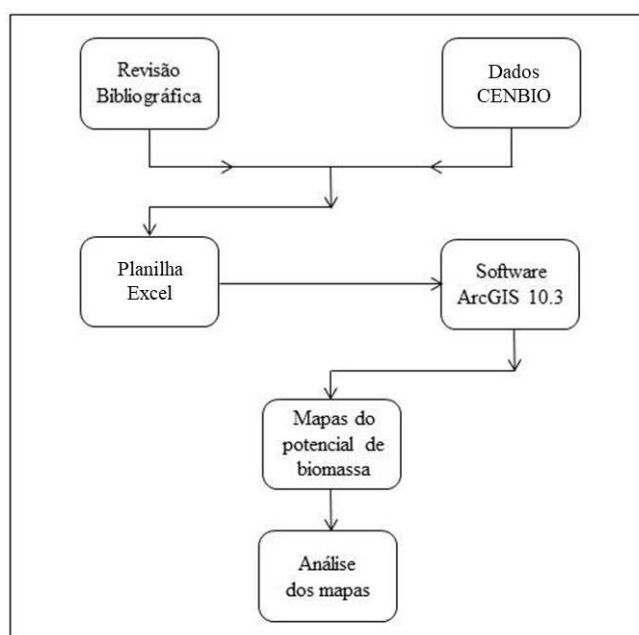
dados é a construção de unidades geográficas específicas, com o auxílio de técnicas da cartografia digital.

#### 4. METODOLOGIA

Para a obtenção dos objetivos pretendidos o melhor método a se aplicar a pesquisa é a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como principal ferramenta. A qualidade dos dados é indispensável para que se atinjam os melhores cenários possíveis, portanto a base de dados utilizada para este levantamento de informações sobre o potencial energético do Ceará foi elaborada a partir do emprego de dados das séries históricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará – ADECE, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Balanço Nacional Energético – BEN e, para a identificação do potencial de biomassa, houve, ainda, a inclusão da metodologia para conversão de biomassa desenvolvida pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO, fazendo um recorte do Estado do Ceará.

A partir de dados fornecidos por este projeto, foram realizados cálculos de acordo com a bibliografia em planilhas no Excel, transformando estes dados quantitativos em dados vetoriais no software ArcGIS 10.3, com a finalidade de identificar onde estão localizadas cada uma das fontes de biomassa (Resíduos agrícolas, cana de açúcar, efluentes líquidos e resíduos sólidos) e quais suas respectivas potências.

Figura 6 – Organograma da metodologia utilizada



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Para efetuar o cálculo de conversão energética dos diversos tipos de biomassa foram estabelecidas diferentes tecnologias de conversão e considerados os respectivos poderes caloríficos de cada biomassa. Os resultados obtidos são apresentados nos itens abaixo, separados por tipo de biomassa (CENBIO, 2009).

### **Resíduos agrícolas**

Para a estimação do potencial de geração de energia a partir de resíduos agrícolas foram levados em conta os valores das produções agrícolas em cada município do Estado, para as 5 grandes regiões, e foi feito o cálculo para cada tipo de resíduo a partir de índices citados na literatura. A eficiência de conversão ( $\eta$ ) para os resíduos adotados foi de 15%, de baixo rendimento termodinâmico - sistemas compostos de caldeira de 20 bar, turbina de condensador atmosférico. As formas de cálculo, para cada resíduo, são apresentadas a seguir.

- **Arroz**

O dado apresentado pelo IBGE é em toneladas de arroz em casca produzido, portanto é necessário considerar apenas a casca como resíduo agrícola aproveitável que, neste caso, representa 30% no peso total do arroz com casca. O Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca é de 3.384,09 kcal/kg (COELHO, PALETTA e FREITAS, 2000). Onde a conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860. O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado pela equação 1:

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{[(\text{arroz} * 0,3 \text{ casca}) * \text{PCI kcal/kg} * 0,15]}{(860 * 8322)} \quad (1)$$

Considera-se que o sistema opere o ano todo com os resíduos gerados e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8322 horas de operação/ano.

- **Coco**

O dado apresentado pelo IBGE (2005) é em mil frutos. Portanto, é necessário estabelecer um peso médio para cada fruto (aproximadamente 500 g) e dividir os valores dados pelo IBGE por mil. Posteriormente, é necessário considerar apenas a casca do fruto como resíduo agrícola aproveitável que, nesse caso, representa 60% no peso total do coco. O PCI da casca é de 4.556,82 kcal/kg (COELHO, PALETTA e FREITAS, 2000) e a conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela

divisão por 860. O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado pela equação 2:

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{\{[(\text{mil frutos} \times 500\text{g})/1000] \times 0,6\} \times \text{PCI kcal/kg} \times 0,15}{(860 \times 8.322)} \quad (2)$$

Considera-se que o sistema opere o ano todo com os resíduos gerados, e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8.322 horas de operação/ano.

- **Amendoim**

O dado apresentado pelo IBGE (2005) é em toneladas de amendoim em casca produzido. Portanto, é necessário considerar apenas a casca como resíduo agrícola aproveitável, que, nesse caso, 10 representa 30% no peso total do amendoim com casca. O PCI Inferior da casca é de 4.281,82 kcal/kg (COELHO, PALETTA e FREITAS, 2000) e a conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860. O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado pela equação 3:

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{[(t \text{ amendoim} \times 0,3) \times \text{PCI kcal/kg} \times 0,15]}{(860 \times 8.322)} \quad (3)$$

Considera-se que o sistema opere o ano todo com os resíduos gerados, e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8.322 horas de operação/ano.

### **Cana-de-açúcar**

O uso da cana-de-açúcar para cogeração de energia já foi largamente estudado. Neste trabalho, são propostos três cenários para geração de energia a partir dos resíduos dessa cultura: 30 kW/t de cana, 60 kW/t de cana e 120 kW/t de cana. O potencial para geração de energia é calculado multiplicando-se a eficiência do processo (kW/tc) pela quantidade de cana colhida em cada município da federação, dado este fornecido pelo IBGE (2005); conforme as equações 4, 5 e 6.

- **Cenário 1 – 30kW/t cana:**

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{(t \text{ cana} \times 30 \text{ kWh/t})}{(1000 \times 5.563)} \quad (4)$$

Considera-se que o sistema opere somente durante a safra com os resíduos gerados (abril a novembro), resultando em 5.563 horas de operação por ano.

- **Cenário 2 – 60kW/t cana:**

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{(\text{t cana} \times 60 \text{ kWh/t})}{(1000 \times 5563)} \quad (5)$$

Considera-se que o sistema opere somente durante a safra com os resíduos gerados (abril a novembro), resultando em 5.563 horas de operação por ano.

- **Cenário 3 – 120 kW/t cana:**

$$\text{Potencial (MW/ano)} = \frac{(\text{t cana} \times 120 \text{ kWh/t})}{(1.000 \times 8.322)} \quad (6)$$

Considera-se que o sistema opere o ano todo com os resíduos gerados e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8.322 horas de operação/ano. Nesse caso, são consideradas, além do bagaço, a palha e as pontas, resultantes da colheita da cana crua.

### **Efluentes líquidos**

- **Suínos**

O dado apresentado pelo IBGE para suinocultura é de número de cabeças. A fórmula utilizada para o cálculo da estimativa da geração de biogás na suinocultura foi retirada do –Manual do Usuário do Programa de Computador – Biogás – Geração e Uso Energético versão 1.0], publicado pela CETESB. Segundo a publicação a geração de metano (em m<sup>3</sup>) corresponde a quantidade de metano gerada contida no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras de suíno. O cálculo para esse potencial é apresentado na equação 7:

$$\text{M3 Metano} = 30 \text{ dias} \times \text{cabeças} \times \text{Et} \times \text{Pb} \times \text{Conc. CH}_4 \times \text{VE}^{-1} \quad (7)$$

onde:

Et: Esterco total [kg<sub>estercot</sub>/(dia.unidade geradora)];

Pb: Produção de biogás [kg<sub>biogás</sub>/kg<sub>estercot</sub>];

Conc. CH<sub>4</sub>: Concentração de metano no biogás [%];

$VE^{-1}$ : Volume específico do metano [ $kgCH_4/m^3CH_4$ ], sendo este igual a  $0,670\text{ }kgCH_4/m^3CH_4$ .

### **Resíduos sólidos**

- ***Resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários***

A pesquisa sobre o potencial de produção de biogás a partir de resíduos sólidos foi feita com base na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2000) identificando os municípios que possuem aterros sanitários. Os dados do IBGE referem-se volume total do lixo enviado a aterros sanitários em toneladas por dia em cada município. O cálculo do potencial de emissão de metano a partir do biogás oriundo da disposição de resíduos sólidos municipais foi baseado na metodologia recomendada pelo Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual and Workbook, mediante a equação 8:

$$\text{Metano (t } CH_4/\text{ano)} = V_{\text{lixo}} \times FCM \times COD \times \frac{CODf}{12} \times F_{16-R} \times (1 - OX) \quad (8)$$

onde:

$V_{\text{lixo}}$  = Volume de resíduos sólidos depositados no aterro (tonelada por dia)

FCM = Fator de correção de metano (adimensional)

COD = Carbono orgânico degradável no RSD (adimensional)

CODf = Fração de COD que realmente degrada (adimensional)

F = Fração de  $CH_4$  no gás de aterro (adimensional)

$16/12$  = Taxa de conversão de carbono em metano (adimensional)

R = Quantidade de metano recuperado ( $kgCH_4/\text{ano}$ )

OX = Fator de oxidação (adimensional)

#### *Cálculo do Fator de Correção de Metano - FCM*

O IPCC recomenda valores de FCM de acordo com a profundidade do local de disposição de resíduos sólidos. Um desses valores é de 60% para os locais sem classificação. No Brasil não há dados disponíveis sobre a profundidade dos locais de disposição de resíduos, por isso foi utilizado o valor de 60% para todos os municípios.

### *Cálculo do Carbono Orgânico Degradável – COD*

O valor do carbono orgânico degradável utilizado neste panorama foi o sugerido pelo IPCC, igual a 12%, valor que não leva em consideração a composição de resíduos no Brasil pois os dados de composição destes nas diferentes cidades brasileiras são escassos.

### *Cálculo da Fração de COD que Realmente Degrada - COD<sub>f</sub>*

Foi utilizado neste panorama, conforme recomendado pelo IPCC (1996), o valor de 77% a fração de COD que realmente degrada.

### *Cálculo da Fração de Metano no Biogás - F*

O IPCC recomenda que se considere a fração de gás metano no biogás de aterro da ordem de 50%. Uma amostra de dados da composição de gás na Região Metropolitana de São Paulo confirma os dados do IPCC, porém com a variação de um aterro para outro pode-se considerar um erro da ordem de 10%.

### *Cálculo da Quantidade de Metano Recuperado - R*

A quantidade de metano recuperada é considerada insignificante.

### *Cálculo do Fator de Oxidação - OX*

O fator de oxidação é considerado zero. É necessário salientar que na geração de metano a partir da disposição de resíduos sólidos há variação ao longo do tempo conforme aumenta-se ou diminui-se a disposição de matéria orgânica. Sendo assim, a equação 12 refere-se ao potencial de metano gerado ao longo de um ano de disposição, não considerando o metano que possa já estar sendo emitido a partir do lixo depositado anteriormente. A quantidade de metano emitida poderá aumentar conforme o aumento de lixo contido no aterro com o passar do tempo e vice-versa pois a curva de geração de metano tem um comportamento crescente durante o período em que o aterro recebe lixo - a cada nova tonelada de lixo depositada, soma-se um novo potencial de geração de biogás. O ponto máximo da curva ocorre no último ano de disposição do lixo no aterro e a partir daí a curva é regida pela constante de decaimento, referente à degradação da matéria orgânica no tempo.

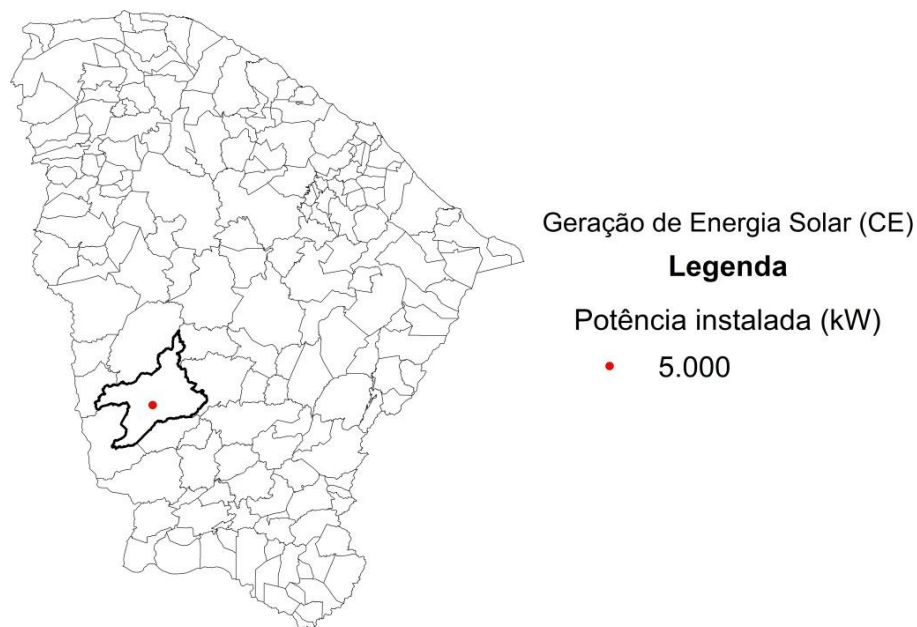
## 5. RESULTADO E DISCUSSÃO

### Mapeamento da geração de energia no Estado do Ceará por fonte, incluindo a potência e o tipo

Como primeiro resultado, a partir de dados governamentais, pôde-se mapear onde estão localizadas cada tipo de fonte energética no Estado, incluindo as respectivas potências instaladas, além do potencial energético proveniente de biomassa.

- *Solar*

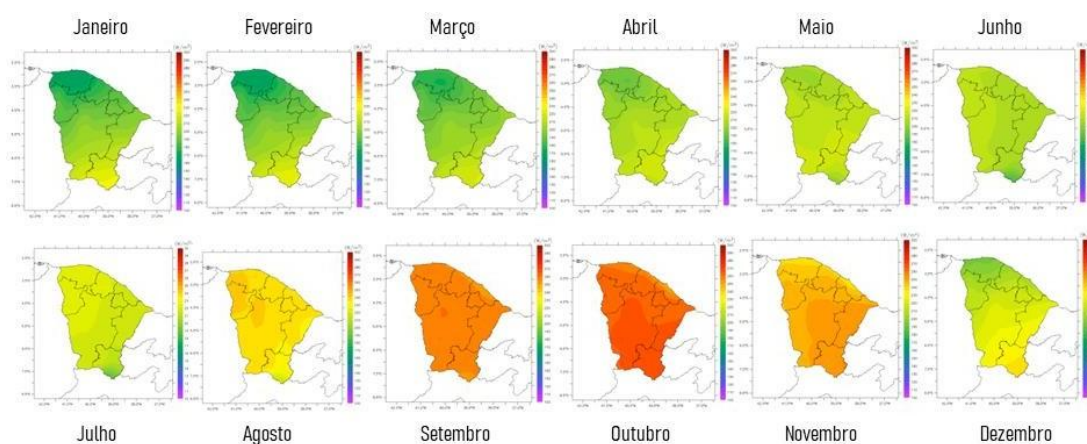
Figura 7 – Mapa de localização das instalações de usinas solares no Ceará e potencial em kW



Fonte: ANEEL, 2018. Elaborado pela autora (2018).

Em 2007, com o crescente preço dos combustíveis fósseis, atingindo mais de 100 dólares o barril ao final deste ano, a energia solar fotovoltaica surgiu como um atrativo para o Estado do Ceará, uma vez este possuindo uma posição geográfica que apresenta mais de 70% do seu território localizado no bioma da Caatinga e uma insolação média de 6,7 GJ/m<sup>2</sup>/ano. (SACRAMENTO et al., 2008, p. 5304). De acordo com o Atlas Solarimétrico (ADECE, 2011), os picos de insolação no Estado ocorrem durante o mês de outubro. A análise da insolação no Ceará, Figura 8, ilustra a variação mensal na incidência de radiação. As médias foram calculadas para o ano de 2008 e estão dispostos em watt por metro quadrado (W/m<sup>2</sup>).

Figura 8 – Climatologia da radiação solar no Ceará por mês (W/m<sup>2</sup>)



Fonte: Adece, 2011. Metodologia de simulações numéricas realizadas com o modelo atmosférico RAMS 6.0 (Regional Atmospheric Modeling System Versão 6.0).

Os índices de radiação apresentam-se inconstantes durante o ano, possuem uma relação inversamente proporcional às condições pluviométricas e diretamente proporcionais às condições anemométricas. Por isso, mesmo com certa inconstância na disponibilidade deste recurso, ele pode ser usado como complementaridade às fontes hídricas e eólicas.

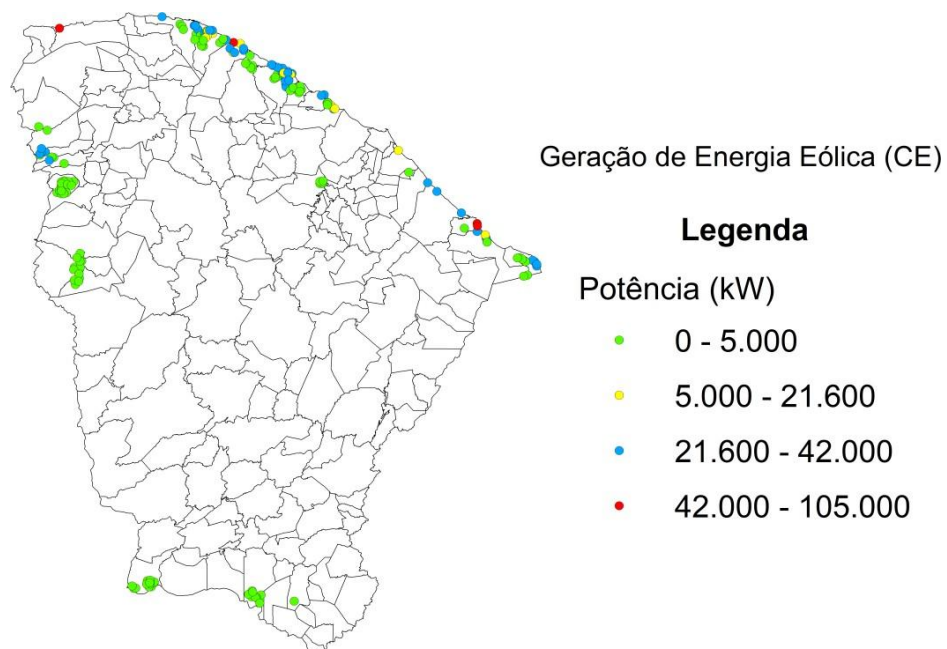
A primeira usina solar fotovoltaica do Ceará foi instalada em 2011, no município de Tauá. Contudo, o Ceará ainda não apresenta quantidade significativa da energia solar como fonte de abastecimento, mas o segmento mostra certa evolução. De 2013 até 2017 foram instaladas no Estado 719 unidades geradoras de energia solar de geração distribuída, com 12,6 megawatts (MW) de capacidade instalada, e em 2018 foram adicionadas 556 unidades geradoras, com 8,0 MW de capacidade. A capacidade instalada de janeiro a novembro de 2018 já era de 37% em relação a adicionada no ano de 2017. (ANEEL, 2018)

No que tange a capacidade de geração, a energia solar ainda não apresenta representatividade suficiente para abastecer o Ceará energeticamente, possuindo apenas uma única usina em Tauá, com 5000 kW de potencia instalada, mas promete crescer nas próximas décadas, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – ABSOLAR.

Contudo, de acordo com IPECE (2018), observa-se uma subutilização desse potencial em todo o país, explicada por diversos fatores, principalmente, o elevado custo de sua produção, ainda muito oneroso no país devido ao alto preço dos equipamentos e insumos da produção. A baixa demanda e a falta de estímulos governamentais para desenvolvimento desta fonte também contribuem para a baixa produção e alto custo de geração. Segundo Rangel et. al. (2016), a tarifa de energia solar fotovoltaica é aproximadamente 40% maior que a tarifa de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH).

- *Eólica*

Figura 9 – Mapa de localização das instalações de usinas eólicas no Ceará e potencial em kW



Fonte: ANEEL, 2018. Elaborado pela autora (2018).

Atualmente, o Estado do Ceará vem se consolidando como um dos principais produtores de energia eólica do Brasil, sendo essa a segunda matriz na produção do Estado, correspondendo a 47,53% da potência instalada do Ceará. Operam 76 usinas espalhadas por todo o Estado que somam uma potencia de 1.956.264 KW. A Região da Grande Fortaleza concentra a maior parte da potência total do Estado, com destaque para o município de Trairi, seguida da região do Litoral Norte, Litoral Leste, Litoral Oeste/Vale do Curu e Serra da Ibiapaba.

Esse potencial anemométrico se explica pela localização geográfica do Estado do Ceará, que está imerso na contínua circulação atmosférica subequatorial dos ventos

alísios, intensificados pelas brisas marinhas ao longo da costa. No caso específico do Ceará, os ventos alísios são provenientes de uma extensa área oceânica livre de obstáculos, que proporciona notável intensidade, constância e baixa turbulência. Os ventos sobre o Ceará são mais intensos durante o dia e concentram-se entre os meses mais secos, de julho a dezembro, apresentando intensidade e constância notáveis (CEARÁ, 2001).

As condições naturais refletem na utilização da fonte na matriz energética, incluindo sua variação diária e mensal na geração de energia. Isso porque, de acordo com o boletim mensal de geração de energia eólica produzido pelo Operador Nacional de Sistema – ONS, os meses de maior produção eólica estão concentrados no período seco (estiagem), de agosto a dezembro, quando os ventos atingem maior velocidade. Ou seja, a energia eólica acaba atuando como uma complementaridade, de modo a conservar a água existente nos reservatórios no período seco, que estão com menor capacidade, priorizando o consumo humano. Logo, nesse período, por conta das altas velocidades dos ventos, garante-se a segurança e a constância na produção da energia eólica.

Portanto, segundo Brannstrom et al. (2017), a climatologia do vento e os incentivos estaduais tornam o desenvolvimento dos parques eólicos brasileiros atraentes para os investidores. A partir de 2001, funcionários do governo desenvolveram políticas agressivas para a instalação a energia eólica pelo uso de leilões liderados pelo Estado, a redução das taxas de importação, o licenciamento simplificado e os subsídios do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Aproximadamente 95% dos projetos eólicos recebem financiamento do BNDES. O estado do Ceará tornou-se um líder nacional, embora o vizinho Rio Grande do Norte (capacidade instalada de 2,1 GW) seja o estado líder no Brasil.

Destaca-se que o aproveitamento eólico no Estado teve início ainda no final da década de 1990, com as usinas eólicas da Taíba no município de São Gonçalo do Amarante, sendo a primeira a atuar como produtor independente desta matriz do país e a usina eólica da Prainha, no município de Aquiraz. Além desta, também considera-se as torres eólicas no Mucuripe, litoral de Fortaleza, em 2000. (IPECE, 2018)

A expansão do setor de fontes renováveis em todo o país, principalmente a eólica, proporcionou uma redução significativa do valor da produção. Como exemplo

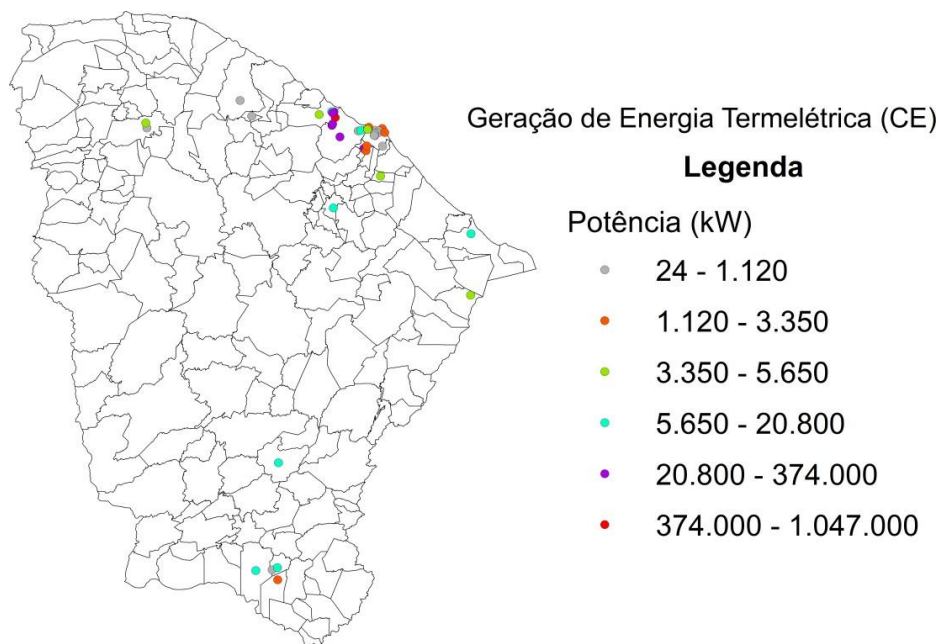
dessa redução, no ano de 2008 o valor da geração eólica no país custava em média R\$ 230,00/MWh (ANEEL, 2008), enquanto nos últimos leilões realizados no ano de 2017, esse valor chegou a R\$ 108,00/MWh (EPE, 2017). Alguns fatores podem explicar a redução dos valores da energia eólica no Ceará nos últimos anos, tais como políticas governamentais de estímulos e benefícios fiscais e a presença de considerável número de empresas produtoras de insumos e equipamentos eólicos.

Pelo posicionamento geográfico, a produção eólica do Estado esteve concentrada no litoral, entretanto, com o início da operação das usinas eólicas nos municípios de Tianguá e Ubajara, na Serra do Ibiapaba, no ano de 2016, iniciou-se um movimento de desconcentração espacial da produção, estimulando o aproveitamento eólico em áreas serranas. De acordo com o Atlas do Potencial Eólico do Ceará (2001), o relevo do interior do Estado apresenta possibilidade de existência de áreas de aceleração de ventos devido à presença de formas de relevo concentradoras de massas de ar e platôs elevados (CEARÁ, 2001).

- *Térmicas, fósseis e biomassa*

A produção de energia proveniente de combustíveis fósseis no Ceará tem um peso significativo na matriz energética do Estado, uma vez que mais da metade (52,32%) da energia produzida no Estado é pertence a essa matriz. Atualmente, o Ceará conta com 36 usinas em operação, sendo o óleo diesel (72,2%) e o gás natural (16,6%) as principais fontes, totalizando uma potência instalada de 2.153.158 KW.

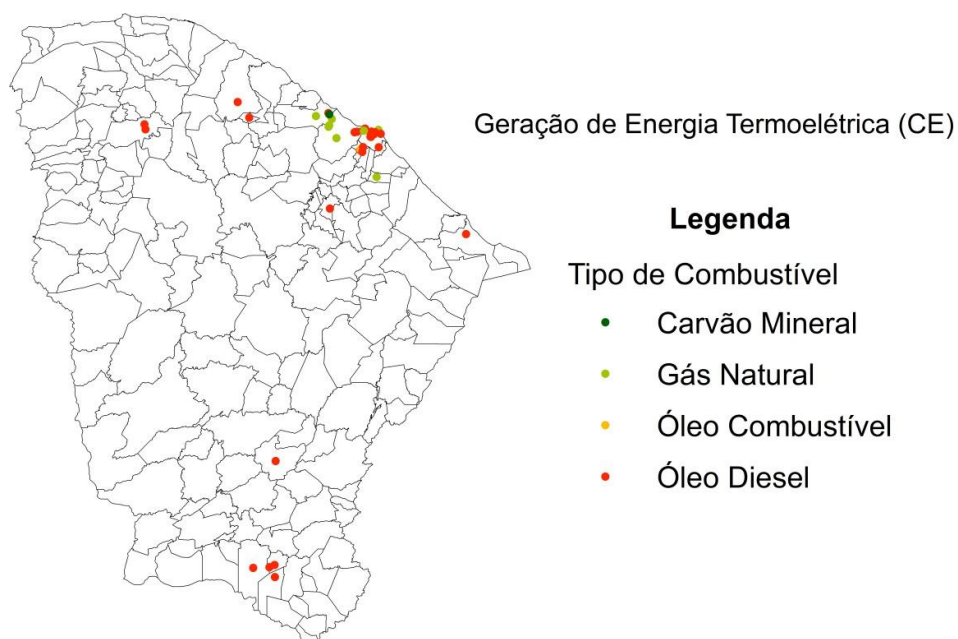
Figura 10 – Mapa de localização das instalações de usinas termoeletricas no Ceará e potencial em kW



Fonte: ANEEL, 2018. Elaborado pela autora (2018).

A Região Metropolitana de Fortaleza concentra 26 das 36 usinas desta fonte no Estado, com destaque para os municípios de Fortaleza, São Gonçalo do Amarante e Caucaia.

Figura 11 – Mapa de localização das instalações de usinas termoeletricas no Ceará e tipos de combustíveis utilizados

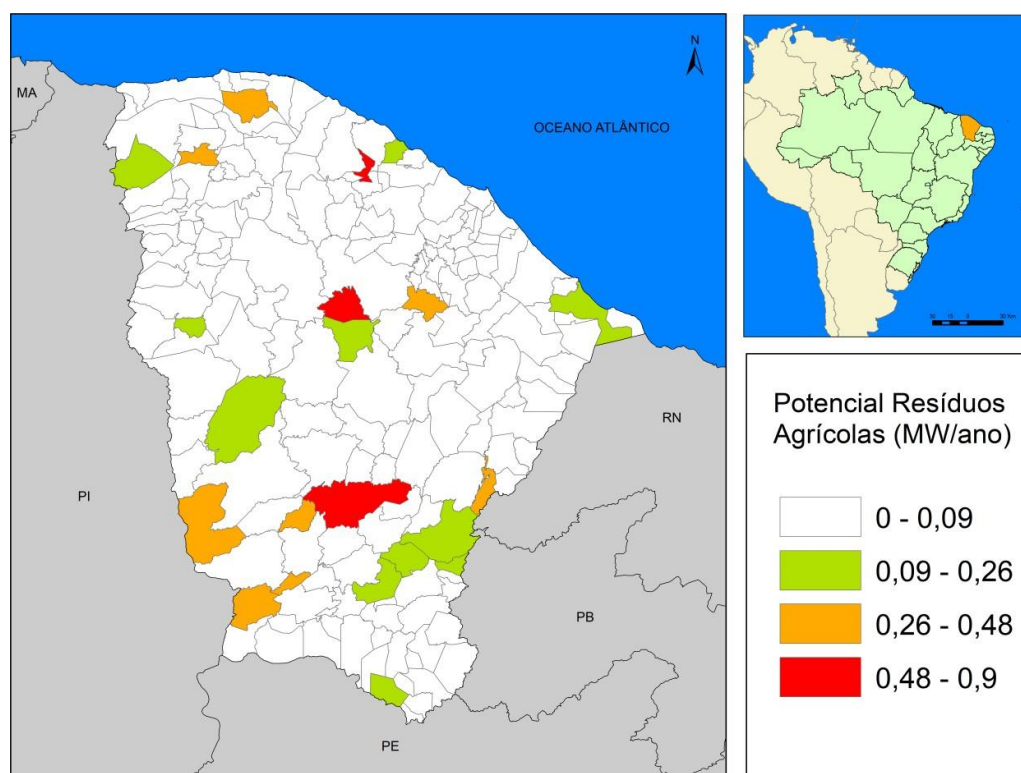


Fonte: CENBIO, 2009. Elaborado pela autora (2018).

Como se pode observar, o Ceará não conta com nenhuma usina de produção térmica proveniente de biomassa, seguindo uma direção oposta à tendência nacional de crescimento do uso desta fonte. Vale lembrar, ainda, que a baixa disponibilidade desta matriz (como bagaço de cana ou resquícios florestais) é um dos fatores que contribuem para que essa produção não se desenvolva no Estado.

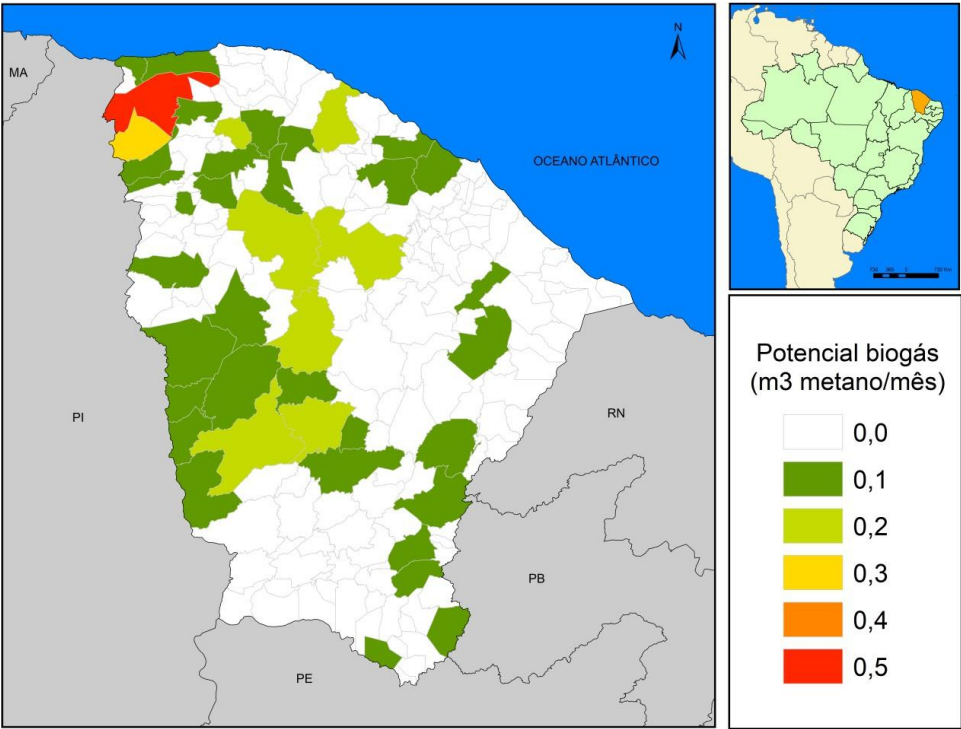
De acordo com o Atlas de Biomassa do Brasil (CENBIO, 2009), foi possível identificar, através de cálculos realizados de acordo com a bibliografia, a estimativa do potencial energético de cada tipo de biomassa no Estado do Ceará, o que comprova a disponibilidade residual.

Figura 12 – Mapa de estimativa do potencial energético dos resíduos agrícolas do Estado do Ceará (em MW/ano)



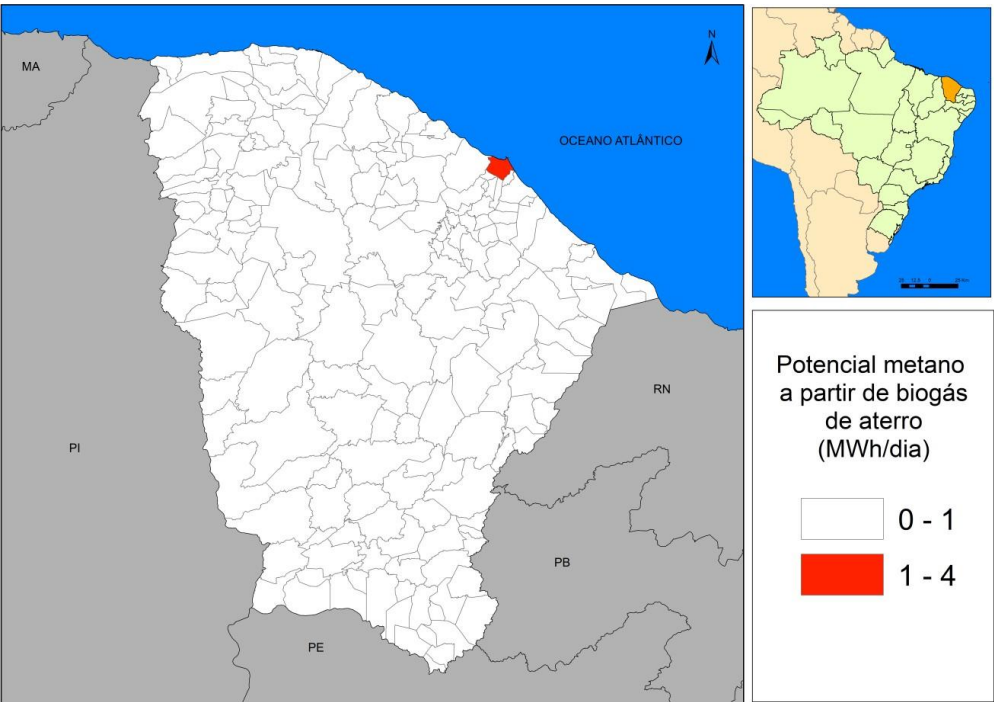
Fonte: CENBIO, 2009. Elaborado pela autora (2018).

Figura 13 – Mapa de estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás proveniente do tratamento de efluentes oriundos da criação de suínos no Estado do Ceará (em m3 metano/mês)



Fonte: CENBIO, 2009. Elaborado pela autora (2018).

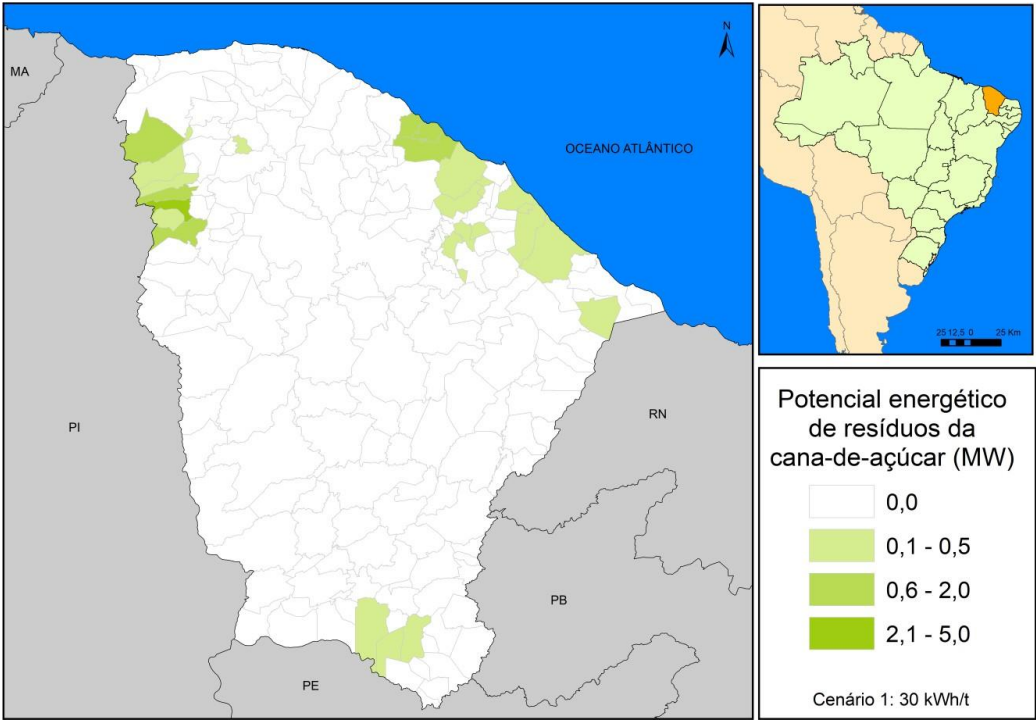
Figura 14 – Mapa de estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás de aterro sanitário no Estado do Ceará (em MWh/dia)



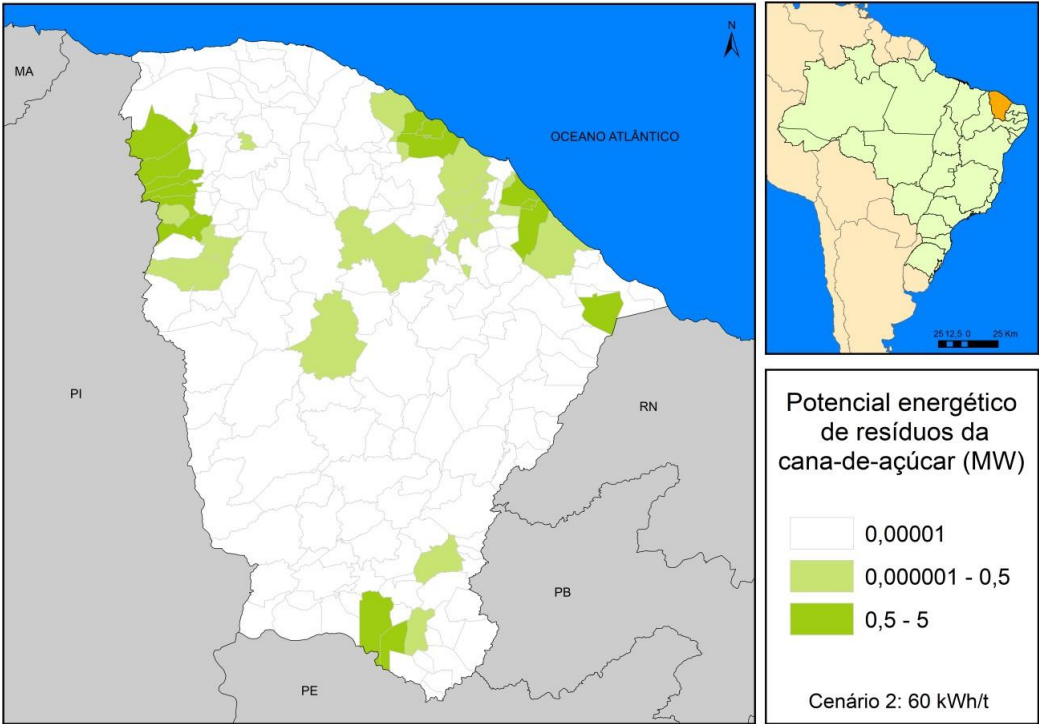
Fonte: CENBIO, 2009. Elaborado pela autora (2018).

Figura 15 – Estimativa do potencial de geração de energia no setor sucroalcooleiro nos municípios do Ceará

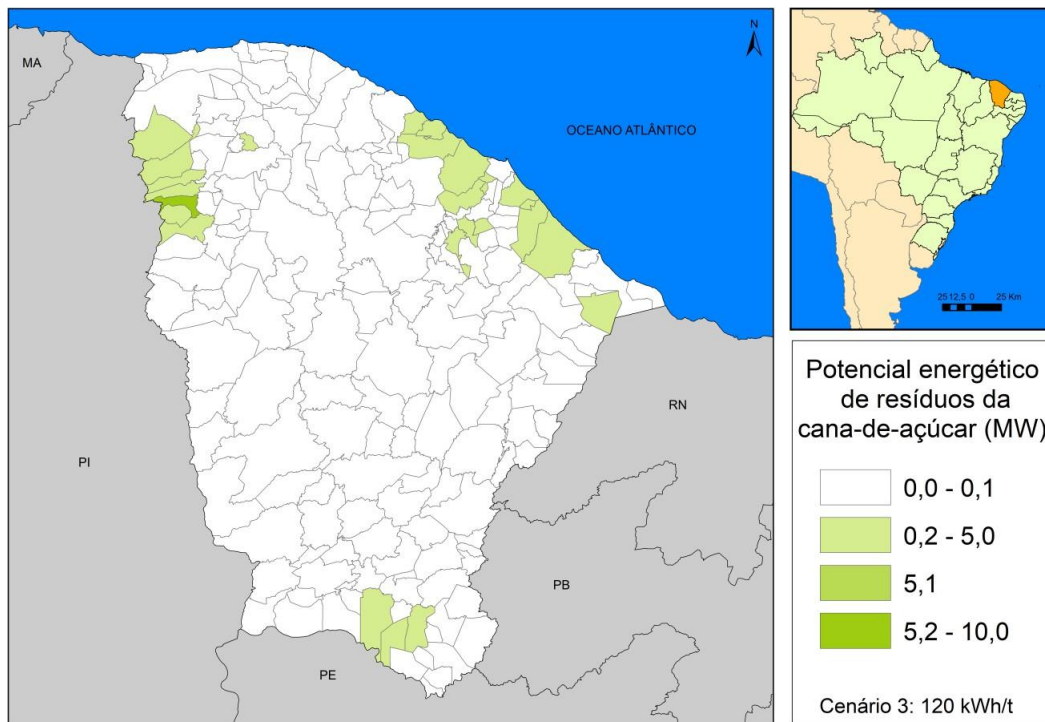
- Cenário 1: 30kWh/t cana



- Cenário 2: 60 kWh/t cana



- Cenário 3: 120 kWh/t cana

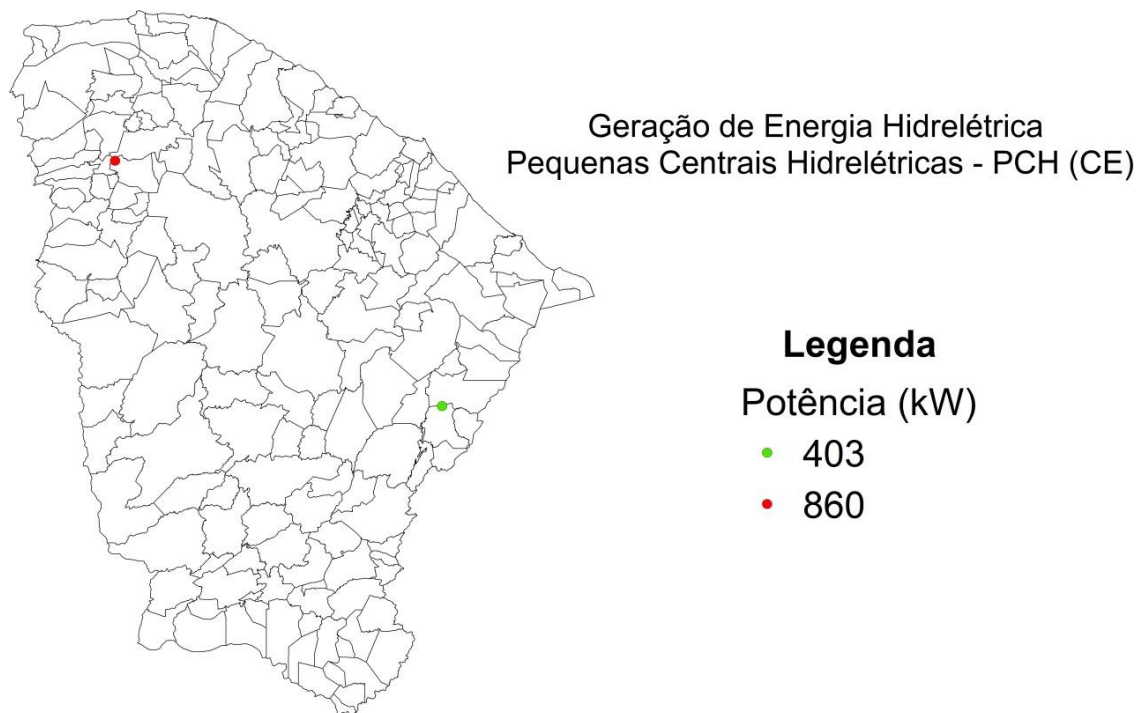


Fonte: CENBIO, 2009. Elaborado pela autora (2018).

- *Hidráulica*

No Ceará, a produção hidrelétrica é realizada por meio das Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) que, como citado anteriormente, possuem capacidade de geração de até 1 MW de potência. O Estado conta com duas CGHs, a usina Taquara e a usina Figueiredo. A usina Taquara localiza-se no município de Cariré, na região de planejamento do Sertão de Sobral, e barra o Rio Jaibaras. A CGH de Taquara é capaz de gerar 860 KW de potência. A Usina Figueiredo está localizada entre os municípios de Alto Santo e Iracema, na região do Vale do Jaguaribe e barra o Rio Figueiredo, sendo capaz de gerar 403 KW de potência (ANEEL, 2018).

Figura 16 – Mapa de localização das instalações de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Ceará e potencial em kW



Fonte: ANEEL, 2018. Elaborado pela autora (2018).

Essas duas usinas correspondem ao total de produção de energia hidrelétrica do Estado onde, somadas, possuem 1.263 KW de potência, e representam 0,03% da produção estadual (BIG ANEEL, 2018).

Na tentativa de ampliar o uso de fontes não poluentes no Ceará, projeta-se para o Estado o aumento do uso da fonte hidrelétrica com a construção de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), denominada PCH Castanhão no município de Alto Santo, no Vale do Jaguaribe, que irá barrar o Rio Jaguaribe. A PCH Castanhão tem previsão de conclusão para o ano de 2020, conforme informações do Ministério de Minas e Energia. A usina terá capacidade de 9.000 KW de potência.

### **Histórico e estratégias adotadas**

Se atualmente a matriz energética cearense é completamente dependente dos combustíveis fósseis, há 30 anos existia a mínima presença de outras fontes, principalmente as renováveis. De acordo com a cronologia do setor de energias renováveis (ADECE, 2011), em 1967 teve início a operação da usina de aproveitamento

hidroelétrico Araras Norte, onde apenas em 1992 estudos sobre o mapeamento eólico no Estado do Ceará tiveram início.

Durante 5 anos as empresas Coelce e J. Macedo instalaram 10 estações anemométricas e realizaram estudos que deram base científica para a implantação do Parque Eólico do Mucuripe, em Fortaleza. A partir do Edital de Concorrência nº 02/Coelce/97, em 1997, um bloco de eletricidade de até 105.000 MWh/ano foi adquirido. A empresa Wobben Windpower, após conseguir licitação, fecha um Contrato de Prestação de Serviço para fornecimento de energia eólica até 2015.

Em janeiro de 1999 é inaugurada a primeira usina de energia eólica do Ceará, na Praia da Taíba, município de São Gonçalo do Amarante, possuindo capacidade de 5MW com 10 aerogeradores de 44 m de altura e 500kW instalados. Em abril do mesmo ano inaugurou-se a segunda, desta vez localizada na Prainha, município de Aquiraz, com capacidade de 10MW com 20 aerogeradores de 44 m de altura e 500kW instalados. Ambas são as primeiras usinas no mundo a serem construídas sobre dunas e que possuem capacidade de fornecer 52,5GWh/ano, energia que possibilita suprir até 120 mil habitantes.

Nos anos 2000 a cidade de Fortaleza recebe um parque eólico no Porto do Mucuripe, na Praia Mansa, com 2,4 MW de potência instalada. Também deu-se início a pesquisas voltadas a construção de mais usinas de energia eólica de 30 MW cada em Paracuru e Camocim.

Nos anos seguintes o Ceará apresenta uma nova perspectiva no setor de energias com o lançamento do FNE PROINFRA - Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste, em 2004 e com a Instituição do PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Este programa trouxe a construção de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada, sendo 1.422,92 MW provenientes de 54 usinas eólicas.

Com o objetivo de incentivar a instalação e manutenção de usinas destinadas à produção de energia solar, assim como fabricantes de equipamentos solares no território cearense surge o Fundo de Incentivo à Energia Solar do Ceará - FIES, em 2009, através da Lei Complementar 81/09, regulamentada pelos decretos nº 29.993/09 e 30.205/1. O lançamento do Leilão de Energia de Reserva – Eólica, no mesmo ano propunha que dos 339 projetos habilitados, 108 empreendimentos com potência de 2.515 MW fossem

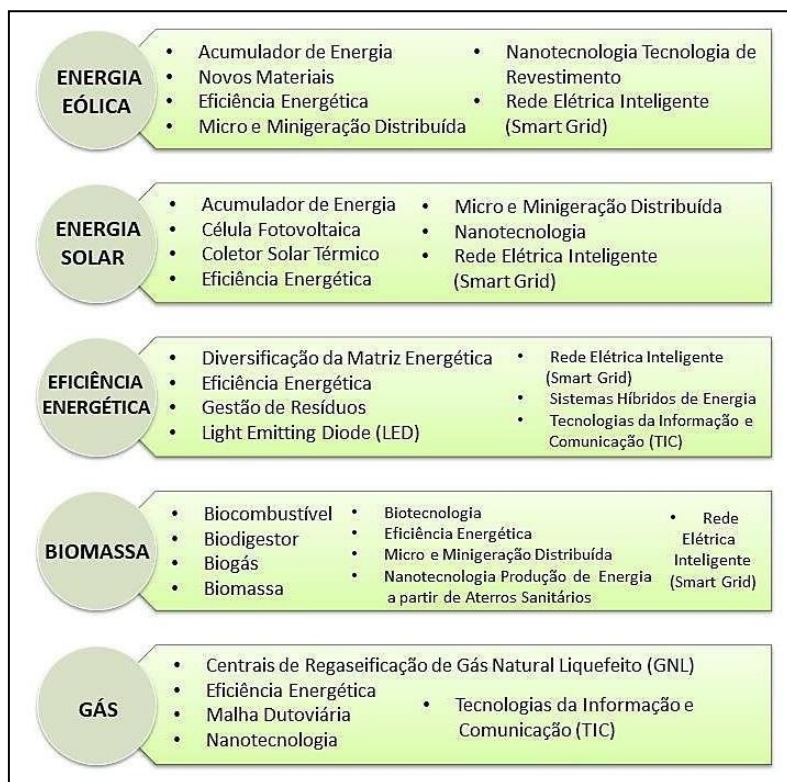
oriundos do Ceará. 21 destes projetos foram aceitos, totalizando 543 MW de potência a ser instalada.

Em 2011 acontece a inauguração da primeira Usina Solar de porte comercial da América Latina, em Tauá. O Parque de Energia Solar preenche uma área de 12 mil metros quadrados, com 4.680 painéis fotovoltaicos instalados, que possuirão uma potência instalada inicial de 1 MW. O investimento foi de R\$ 10 milhões pela empresa MPX.

Até o presente momento, o Ceará apresenta um projeto nomeado de Rotas Estratégicas – 2025, uma iniciativa da Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC com objetivos de elaborar Roadmaps, ou seja, mapas de trajetórias a serem percorridas para materializar, em até dez anos, o potencial percebido em cada um dos setores e áreas identificados como promissores para o Estado, entre eles o Setor de Energia.

Na Figura 4 estão colocadas as tecnologias-chave visadas para atingir as metas propostas pelo projeto para o alcance do cenário almejado para o setor de Energia no horizonte de 2025.

Figura 17 – Tecnologias-chave setor de Energia

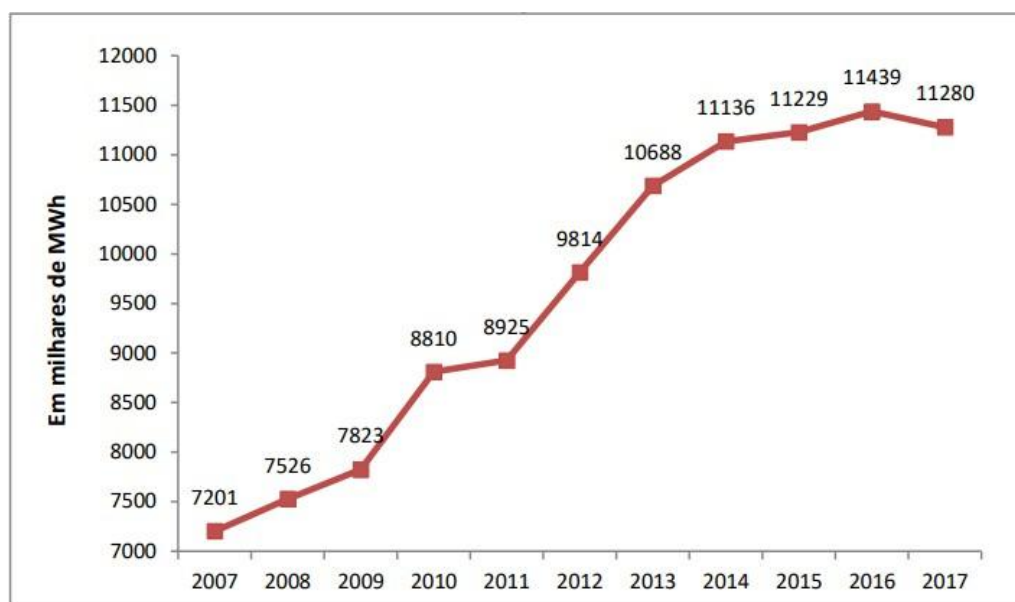


Fonte: FIEC (2015)

### Ações e perspectivas para o futuro energético do Ceará

O estado do Ceará vem apresentando crescimento econômico e expansão de suas áreas urbanas nos últimos anos. Esses fatores contribuíram para o aumento da demanda por energia elétrica, exigindo uma maior produtividade do setor. Pode-se observar que no ano de 2007 o consumo total de energia elétrica no Estado chegou a 7.200.711 MWh, passando para 11.279.744 MWh em 2017, significando um crescimento relativo de 56,64%. A exceção está no ano de 2017, onde houve uma pequena redução do consumo quando comparado ao ano de 2016. O Gráfico 6 exibe a evolução do consumo elétrico no intervalo de 10 anos para o Ceará.

Gráfico 3 – Consumo total de energia elétrica no Ceará (2007 – 2017)



Fonte: ANEEL, 2018

Entre os setores de atividades, o residencial foi o setor que apresentou maior aumento no consumo de energia elétrica, que passou de 2.316.757 MW/h em 2007 para 4.074.964 em 2017, aumento equivalente a 75,89%. Em seguida, tem-se o consumo comercial, indo de 1.330.270 MW/h em 2007 para 2.257.703 MW/h em 2017, com aumento de 69,71%, acompanhado do setor industrial que saiu de 1.943.699 MW/h em 2007 para 2.249.291 MW/h em 2017, representando um aumento de 22,74%. O setor rural também teve crescimento de 87,63%, uma vez que passou de 642.797 MW/h em 2007 para 1.206.079 MW/h em 2017. (IPECE, 2018)

O cenário de produção de energias renováveis no Ceará apresenta-se em estágio satisfatório quando comparado às demais unidades federativas do país, sendo o 3º Estado em produção de energia elétrica por fontes renováveis alternativas, como a eólica e a solar. Entretanto, mesmo apresentando esses valores, ainda é necessário que haja uma grande expansão da utilização de fontes alternativas. Sob essa perspectiva, o Ceará vem incentivando a expansão de empreendimentos energéticos com uso de energias alternativas, com a previsão de uma adição de 882.900 KW na capacidade de geração do Estado, proveniente de 35 empreendimentos previstos para os próximos anos (ANEEL, 2018). A Tabela 5 resume o panorama de expansão do setor no Ceará.

Tabela 5 - Panorama de expansão de energias renováveis no Ceará – 2018

| Empreendimentos em construção               |                   |                 |
|---------------------------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Tipo</b>                                 | <b>Quantidade</b> | <b>Potência</b> |
| Eólica                                      | 5                 | 98.700          |
| Solar Fotovoltaica                          | 5                 | 81.000          |
| Empreendimentos com construção não iniciada |                   |                 |
| Eólica                                      | 13                | 334.200         |
| Pequena Central Hidrelétrica – PCH          | 1                 | 9.000           |
| Solar Fotovoltaica                          | 13                | 360.000         |
| <b>Total</b>                                | <b>35</b>         | <b>882.900</b>  |

Fonte: ANEEL, 2018.

No contexto de incentivo à produção de energias renováveis, a energia solar fotovoltaica possui grandes perspectivas de crescimento para os próximos anos com a construção das quatro usinas Apodi (I, II, III e IV) no município de Quixeré, no Vale do Jaguaribe. Essas usinas, de propriedade da empresa Apodi Energia SPE S/A, quando concluídas somarão 129.000 KW de potência para o Estado.

O Ceará conta ainda com três usinas em construção no município de Aquiraz, na Região Metropolitana de Fortaleza, todas de propriedade da empresa Central Fotovoltaica Sol do Futuro I S.A, que adicionarão mais 84.096 KW de potência à capacidade do Estado.

A perspectiva de crescimento da energia solar no Ceará insere-se num panorama de desenvolvimento sustentável, acompanhando uma tendência global de aproveitamento de energias que utilizam matrizes com o menor impacto possível ao meio ambiente. Partindo deste pressuposto, espera-se que os custos diminuam ao passo em que a tecnologia é disseminada no país.

O Plano de Operação Energética 2017-2021, elaborado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) destaca o significativo incremento da capacidade instalada das usinas eólicas no país, que passará de 6,8% da matriz de energia elétrica (9.611MW em dezembro de 2016) para 9,7%, equivalente a 16.205 MW instalados ao final de 2021, sem considerar os próximos leilões de energia nova que possam ocorrer em 2018.

Sob a perspectiva da –economia de baixo carbono|| a Petrobras conta com projeto de ampliação de geração eólica com a instalação de uma planta eólica em alto-mar, no polo de Guamaré, no Rio Grande do Norte. Segundo a Petrobras, os estados do Ceará e Rio Grande do Norte possuem vantagem para instalação offshore por possuírem em seu litoral vastas áreas com profundidades inferiores a 50 m, facilitando assim a instalação de estruturas, reduzindo os custos de operação e manutenção e tornando a região altamente competitiva.

Essas condições propícias revelam um potencial eólico de aproximadamente 140 GW, o que equivale a 90% da potência instalada atualmente em todo o país. Outro aspecto a ser considerado nessa forma de geração é a maior concentração populacional do país estar localizada no litoral, proporcionando a geração de energia mais próxima às áreas de maior demanda.

Mais uma forma de estímulo à geração de energia de fontes renováveis é a produção de microgeração e minigeração distribuídas que utilizam cogeração qualificada conectadas à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras, estabelecidas por meio das Resoluções Normativas nº 482/2012 e 687/2015 da ENEL. A geração distribuída é uma forma de produção de energia elétrica que se encaixa no contexto de desenvolvimento de matrizes sustentáveis, além de compor redes inteligentes por otimizar custos financeiros e ambientais desde a produção ao consumo final de energia. A microgeração corresponde a centrais geradoras cuja potência instalada seja menor ou igual a 75 kW, já a minigeração é constituída por centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, com exceção da hidráulica, que precisa ser menor ou igual a 3MW (BNB, 2018).

Uma das vantagens dessa categoria consiste no sistema de compensação, no qual permite que o excedente de energia gerada pelas unidades seja injetado na rede de distribuição, gerando créditos na conta de energia do consumidor, estimulando assim a produção por fontes renováveis.

No estado do Ceará, essa modalidade vem crescendo e já conta com 1.308 unidades consumidoras com geração distribuída, totalizando uma potência instalada de 30.893,56 kW. A fonte solar fotovoltaica é a que possui maior representatividade (Tabela 6) nesta categoria possuindo 1.284 unidades consumidoras, com uma potência de 20.829,56 KW, contra apenas 24 unidades provenientes da eólica, que possui 10.065 KW de potência (ANEEL, 2018).

Tabela 6 – Geração Distribuída Ceará (Nov/2018)

| Geração Distribuída Ceará |              |                  |
|---------------------------|--------------|------------------|
| Fonte                     | Unidade      | Potência         |
| Cinética do vento         | 24           | 10.065           |
| Radiação Solar            | 1.284        | 20.829           |
| <b>Total</b>              | <b>1.308</b> | <b>30.893,56</b> |

Fonte: ANEEL, 2018.

Entre as classes de consumo com maior número de usinas com produção solar fotovoltaica estão a residencial (69,90%), comercial (22,55%), rural (2,42%), industrial (2,42%) e poder público (1,79%). Do total da produção deste tipo no Estado, aproximadamente 63% está localizada na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

A geração eólica por meio de unidades consumidoras ainda é relativamente baixa no Estado. Do total das 1308 unidades produtoras, apenas 24 são de geração eólica, contabilizando uma potência de 10.065 KW. Quase todas as unidades produtoras eólicas com geração distribuída no Ceará estão localizadas na RMF, nos municípios de Fortaleza (8), Aquiraz (7), Eusébio (5), Caucaia (2), Maracanaú (1), Trairi (1), e apenas uma unidade está situada no município de Quixeré, no Vale do Jaguaribe.

Como forma de estimular o uso de fontes de energia renováveis, o Banco do Nordeste do Brasil – BNB criou uma linha de crédito chamada FNE Sol, que abrange também a micro e minigeração distribuída. Essa linha de crédito visa conceder financiamentos com juros reduzidos e prazos ampliados a pessoas jurídicas e, recentemente, a pessoas físicas que desejam instalar empreendimentos energéticos que contam com a utilização de fontes renováveis como a fotovoltaica, eólica ou biomassa.

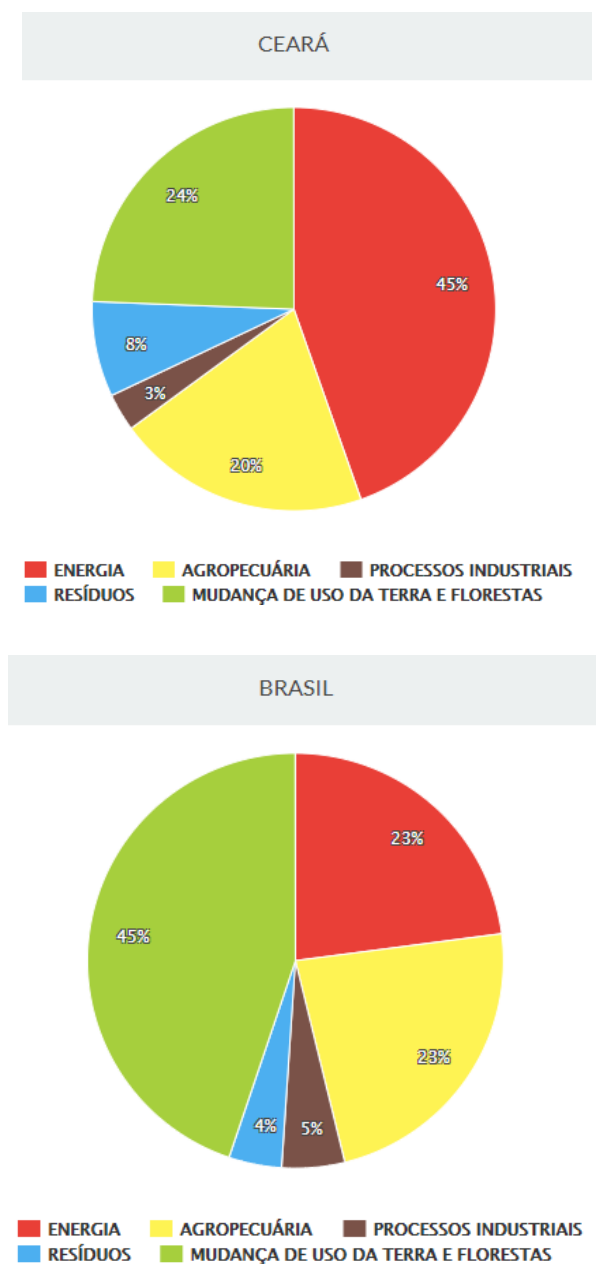
### **Emissão de Gases de Efeito Estufa – GEEs**

O estado do Ceará duplicou a quantidade de emissões de gases de efeito estufa entre 1990 e 2016. De aproximadamente 15 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>equivalente em

1990, o estado passou a emitir por volta de 30 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. As emissões do setor de energia subiram cerca de 3 vezes a partir de 2009, isso porque, como já visto, o consumo de energia elétrica aumentou no Ceará. Energia essa que em sua massiva parte é proveniente de fontes fósseis.

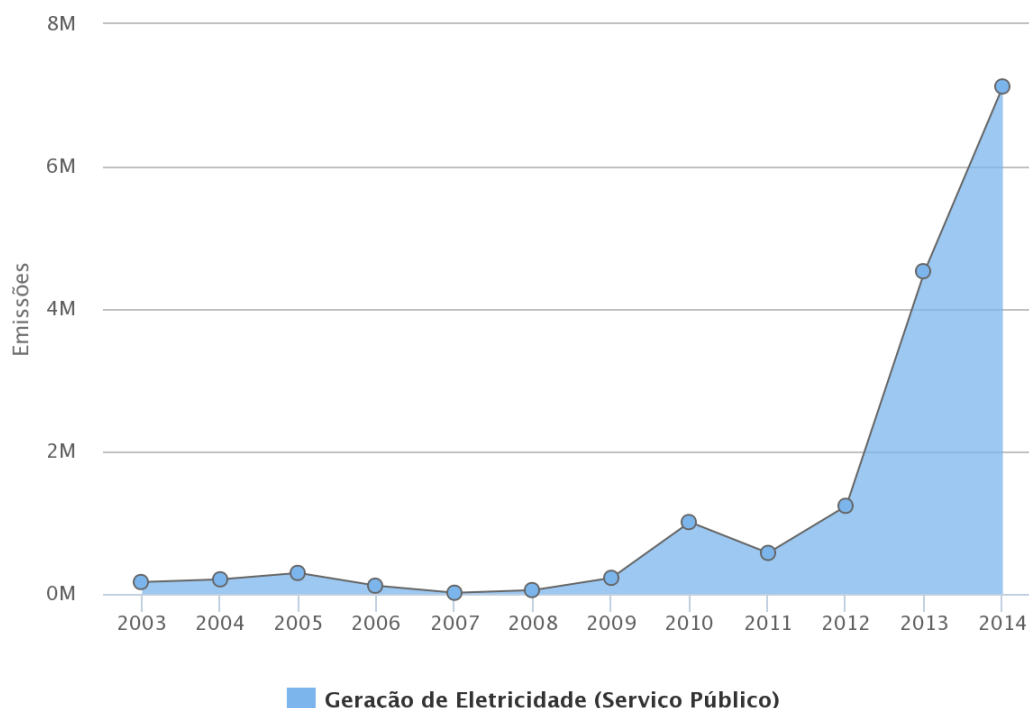
O Ceará está na 19ª posição de Estados que mais geram gases de efeito estufa no Brasil, com 31.7 MtCO<sub>2</sub>eq de emissão líquida. No setor de energia 50,6% das emissões são oriundas da geração de eletricidade, como mostra a Figura 6. (SEEG, 2017)

Figura 18 – Comparação da participação das principais fontes de emissão de GEE do Ceará em relação ao Brasil



Fonte: SEEG, 2017.

Figura 19 – Emissões no Setor de Energia no Ceará (em toneladas de CO<sub>2</sub>) de 2003 a 2014



Fonte: SEEG, 2017.

### **Sistema de Energia de Hidrogênio como perspectiva de redução de emissão de gases poluentes de combustíveis fósseis**

Países em desenvolvimento como o Brasil precisam de crescimento e, ao mesmo tempo, deve enfrentar os crescentes problemas de aquecimento global e redução das reservas de combustíveis fósseis. O hidrogênio derivado de energias renováveis eventualmente pode contribuir para o desenvolvimento sustentável desses países. Ceará, um estado federal do Brasil, tem um enorme potencial de energias renováveis sob as formas de energia solar, eólica e biomassa e certamente ajudará a mitigar a mudança climática.

No BENCE (Balanço Energético do Estado do Ceará) é mostrado que o consumo de energia do Estado do Ceará no ano 2000 foi de 3,57 milhões de tep (toneladas de óleo equivalente), ou 0,17 EJ, o que corresponde a cerca de 2,18% do total de energia consumidos pelo Brasil naquele ano. Estima-se que a capacidade de produzir energia elétrica aproveitando o potencial eólico do Ceará seja de 35 GW, o que corresponde a aproximadamente 40% da capacidade instalada de produção de energia

elétrica no Brasil como um todo. O Ceará foi o pioneiro no Brasil a explorar a energia eólica e atualmente possui 27 MW de parques eólicos em operação. É natural prever que este imenso potencial irá substituir os combustíveis fósseis no futuro próximo, principalmente devido ao seu esgotamento e capacidade de prejudicar o meio ambiente (SACRAMENTO et al, 2008).

Apesar de ainda não ter um custo competitivo, a energia solar que cai em um metro quadrado por dia no território do Ceará é de cerca de 6.7 GJ/m<sup>2</sup>/ano, considerada uma das maiores insolações do Brasil. (SACRAMENTO et al, 2008)

As energias solar e eólica são intermitentes, portanto, podem não estar disponíveis no momento em que a energia é necessária. Uma opção é armazenar esse tipo de energia em períodos de baixa demanda e usá-la quando a demanda é alta. Existem muitas tecnologias de armazenamento disponíveis como, por exemplo, baterias, tecnologias de armazenamento de hidrogênio, armazenamento de energia magnética supercondutora, volantes, capacitores eletroquímicos e armazenamento de energia na forma de água bombeada e ar comprimido.

O hidrogênio como portador de energia pode ser armazenado como gás ou como líquido. Também pode ser armazenado em hidretos metálicos, hidretos químicos, microesferas de vidro ou crio-adsorventes. Para o estado do Ceará, essas tecnologias avançadas serão muito benéficas quando um amplo programa de utilização de energias renováveis estiver operando.

Considerando o hidrogênio como método de armazenamento de energia, Sacramento et al (2008) realizou um estudo em que ele, incluindo a energia eólica, adaptou o modelo conhecido mundialmente do sistema de energia solar de hidrogênio para o estado do Ceará. O modelo "sistema de energia de hidrogênio solar" é um estudo pioneiro desenvolvido pelo Dr. T. Nejat Veziroglu e colaboradores na década de 1970 e aplicado a muitos países ao redor do mundo, incluindo o Brasil.

Nesse estudo, muitos parâmetros como população, demanda de energia, produção de energia, produção de hidrogênio, os preços da energia, o produto bruto, a poluição do ar e a qualidade de vida estão inter-relacionados. O eventual hidrogênio eletrolítico produzido para o Ceará através da assistência de painéis de células fotovoltaicas e turbinas eólicas servirá como um transportador de energia e, em um ritmo acelerado de introdução, substituirá os combustíveis fósseis.

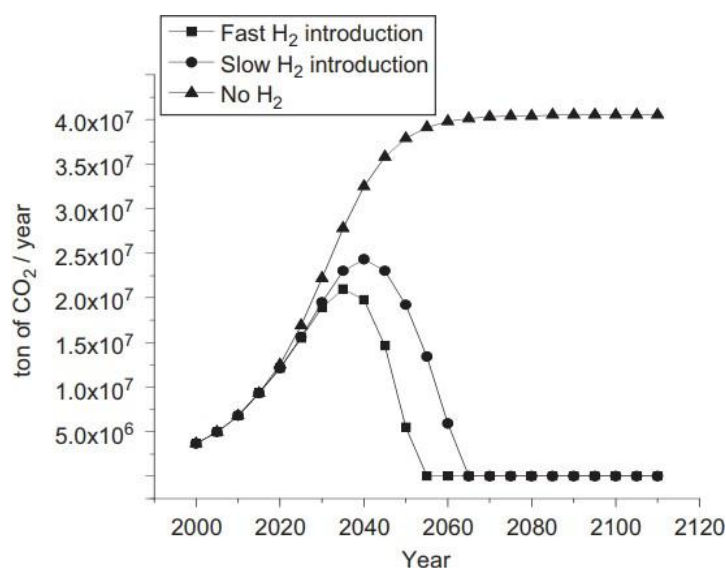
A população do estado do Ceará crescerá para o mesmo número independente do cenário considerado até 2050. Após esse ano, os cenários de introdução rápida e lenta do hidrogênio contribuem para uma maior taxa de crescimento populacional e no ano de 2080 a população atingirá um número estabilizado de 15,2 milhões. O modelo aplicado corresponde perfeitamente à previsão populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) feita até o ano de 2020. O estudo mostra que no cenário de não introdução de hidrogênio a população chegará a um máximo de 13,8 milhões por volta do ano de 2060, indicando que a menor poluição e a maior qualidade de vida proporcionam melhores condições para o incremento populacional.

Com relação à demanda futura de energia do estado do Ceará, na situação em que o hidrogênio não é introduzido, a demanda de energia atingirá um valor de saturação de 1,88 EJ até 2060 e nas outras duas situações o pico de 2,33 EJ será atingido ano de 2075. Isso reflete substancialmente o fato de que a introdução de hidrogênio no balanço energético do estado do Ceará pode contribuir para o estabelecimento de um padrão de vida mais alto para sua população. O produto interno bruto per capita do estado do Ceará, em um cenário não-hidrogênio, aumentará para cerca de R\$15.000 (US \$2000) no ano de 2060. Em ambos os cenários de introdução de hidrogênio, o pico de R\$ 18.500 serão atingidos por volta de 2080. A razão para essa diferença deve-se principalmente à maior eficiência de utilização e aos danos ambientais muito menores do sistema de energia eólica de hidrogênio.

Com relação ao custo para a produção de hidrogênio até o ano 2000, estima-se que o preço para produzir 1 GJ de energia de hidrogênio eólico solar no estado do Ceará seja em torno de US \$22, cerca de três vezes maior que o custo de combustível fóssil de 1 GJ de energia. No entanto, até 2015, o custo de ambos os combustíveis será o mesmo e as projeções mostram que o custo da energia do hidrogênio chegará a US \$9 a GJ até 2025, enquanto o custo da energia fóssil será de US \$13 por GJ e até o ano de 2080 chegará a cerca de US \$18 por GJ.

A Figura 20 apresenta a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> no Estado do Ceará até o ano de 2110 para os três cenários considerados. Até o ano de 2070, o estado do Ceará emitirá 40 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano se o cenário for de não introdução de hidrogênio. Com o hidrogênio introduzido o pico das emissões atingirá 20 milhões no ano de 2035 e 25 milhões no ano de 2040 para o caso de introdução rápida e lenta, respectivamente. A emissão zero de CO<sub>2</sub> seria alcançada após o ano de 2055.

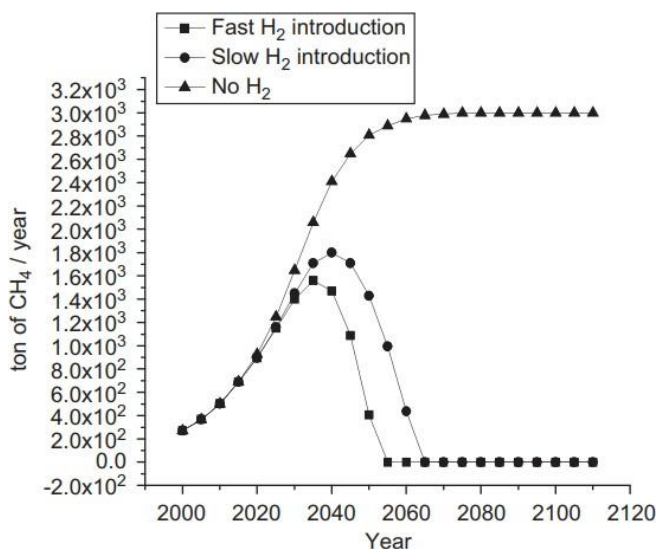
Figura 20 - Emissões de dióxido de carbono no Estado do Ceará



Fonte: Sacramento et al. (2008)

As emissões anuais de metano no Estado do Ceará são mostradas na Figura 21. Até o ano de 2025 todos os cenários apresentam o mesmo aspecto. Na situação em que o hidrogênio não é introduzido no balanço energético do Ceará, as emissões de CH<sub>4</sub> atingirão o pico de 30.000 ton/ano em 2060. Para a rápida introdução do hidrogênio, o volume liberado seria de 16.000 ton/ano em 2035 e 18.000 ton/ano em 2040, diminuindo para emissão zero após o ano de 2055.

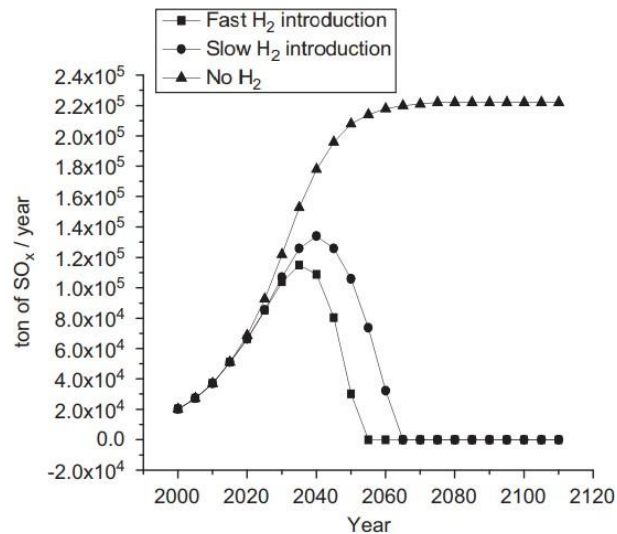
Figura 21 – Emissões de metano no Estado do Ceará



Fonte: Sacramento et al. (2008)

Como pode ser visto na Figura 22, até o ano de 2060 o estado do Ceará será responsável pelas emissões de cerca de 220.000 toneladas de SO<sub>2</sub> como consequência da utilização de combustíveis fósseis. Na situação de introdução rápida e lenta de hidrogênio como portador de energia, as emissões de óxidos de enxofre serão de 120.000 e 140.000, respectivamente, após o ano de 2035, diminuindo para emissão zero após o ano 2055.

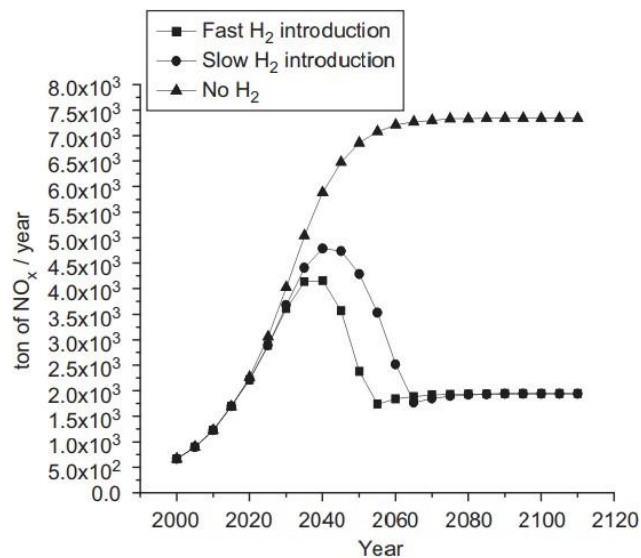
Figura 22 – Emissões de óxido de enxofre no Estado do Ceará



Fonte: Sacramento et al. (2008)

A Figura 23 apresenta as emissões anuais de NO<sub>x</sub> no estado do Ceará. No caso da não introdução de hidrogênio, as emissões desses gases de chuva ácida atingirão a quantidade de 75.000 toneladas até 2070. Com a introdução de hidrogênio, esses números serão de 45.000 ou 50.000 toneladas até 2040, independentemente de serem rápidas ou lentas a introdução de hidrogênio. Após esse ano, as emissões diminuirão, atingindo o valor de 20.000 toneladas após o ano 2060. A emissão zero seria atingida se a energia em hidrogênio pudesse ser usada sem combustão para a conversão como, por exemplo, em células de combustível.

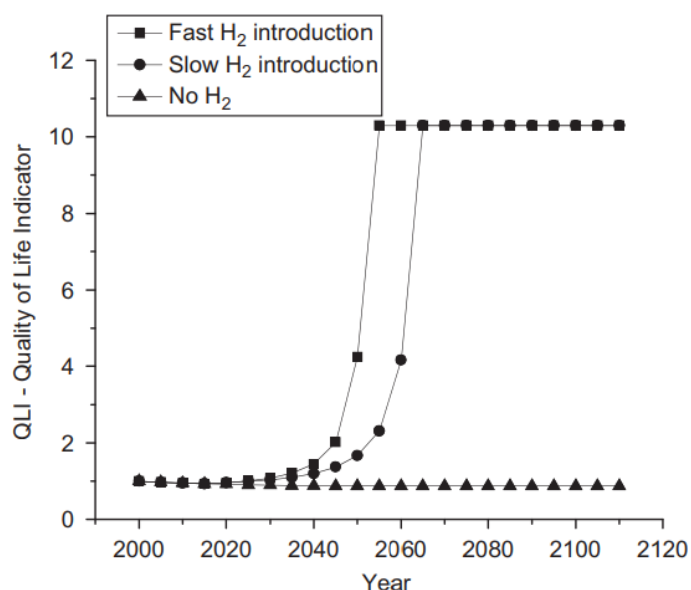
Figura 23 – Emissões de óxido de nitrogênio



Fonte: Sacramento et al. (2008)

A Figura 24 mostra o indicador de qualidade de vida do estado do Ceará até o ano de 2110. Observa-se que, se os combustíveis fósseis forem utilizados continuamente, a qualidade de vida não melhorará e estará em patamar um pouco inferior ao do ano 2000. A utilização de energia renovável do hidrogênio terá impacto no nível de qualidade de vida do estado do Ceará, em seguida, após o ano de 2040, como consequência da redução da poluição e aumento da renda per capita, o indicador de qualidade de vida subirá 10 vezes o nível do ano 2000. Esta condição será atingida no ano de 2050 para o cenário de rápida introdução de hidrogênio e no ano de 2060 para o cenário de o lenta introdução.

Figura 24 – Indicador de qualidade de vida



Fonte: Sacramento et al. (2008)

## 6. CONCLUSÃO

A realização da pesquisa permitiu concluir que:

O Estado do Ceará possui alta dependência dos combustíveis fósseis com predomínio da fonte térmica (52,32%) mas relativa participação de fontes renováveis em sua capacidade instalada com grande produtividade eólica (47,53%), e ainda com grandes perspectivas de aumento desta capacidade, dadas as infraestruturas em processo de construção.

O potencial energético proveniente de biomassa no Estado é residual, não contando com nenhuma usina de produção térmica, sendo um dos principais fatores a baixa disponibilidade de insumos desta matriz e a ausência de tecnologias adequadas, contribuindo para que essa produção não se desenvolva no Estado.

O Ceará passa por uma crise climática, uma vez que metade da sua energia é oriunda de combustíveis fósseis que liberam gases poluentes e a sua população cada vez mais aumenta e consome energia. Neste sentido, é importante destacar a necessidade de políticas públicas de estímulo ao uso de energias proveniente de fontes renováveis, como benefícios fiscais, além da disponibilização de insumos para a implantação de parques eólicos e fotovoltaicos. Alguns fatores ainda

persistem na produção e precisam ser analisados e superados, a exemplo da deficiência de mão-de-obra especializada no Estado. A maior parte dos serviços e estudos realizados no setor eólico, assim como no solar, é proveniente de mão-de-obra externa, sobretudo estrangeira.

O fato do Ceará estar situado na ponta do sistema interligado dificulta alguns aspectos, sobretudo os relacionados à transmissão. A distância da área geradora para a área receptora contribui para o aumento dos custos, além de aumentar também as perdas na transmissão. A distância, ou mesmo a falta de linhas de transmissão são responsáveis por grandes prejuízos no setor, já que alguns parques eólicos produzem, mas não conseguem distribuir a energia produzida.

Entretanto, mesmo com os problemas estruturais e operacionais existentes, observa-se grande capacidade de expansão da produção do Estado, sobretudo no que se refere à produção de energia solar e eólica, haja vista as condições naturais favoráveis para expansão dos referidos setores. Por fim, menciona-se que frente ao cenário de mudanças nos padrões produtivos globais que caminham em direção à produção elétrica limpa e moderna, torna-se emergente assegurar o acesso a fontes de energias renováveis, e com o mínimo de impacto socioambiental no processo de produção.

Como estudos futuros, recomenda-se que sejam avaliadas novas tecnologias já utilizadas em outros países, como o reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos para conversão de energia. Além de métodos que reduzam os custos da utilização do Sistema de Energia de Hidrogênio, que foi proposto nesta pesquisa.

Como possível solução foram colocados cenários com e sem a utilização da tecnologia do Sistema de Energia de hidrogênio com base nos estudos de Sacramento et al. (2008), destacando a necessidade de reduzir as taxas de emissões de gases de efeito estufa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALAD, R. **Perspectivas da geração termelétrica no Brasil e emissões de CO<sub>2</sub>**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Atlas Solarimétrico do Ceará**. 2011. Disponível em: <[http://www.adece.ce.gov.br/phocadownload/Energia/atlas\\_solarimetrico%20ceara\\_2011.pdf](http://www.adece.ce.gov.br/phocadownload/Energia/atlas_solarimetrico%20ceara_2011.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2018.

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Portal Energia**. 2013. Disponível em: <<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/energia>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Banco de Informação de Geração. BIG.** / Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm>>. Acesso em: 01 novembro 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica**. 3ª ed. 236p. Brasília, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. – Brasília. ANEEL, 2005. 243 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de informação de geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

ARAÚJO, S. M. S. Região semiárida do Nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica**. Campina Grande, v.5, n. 5, p. 90-98, dez. 2011. Disponível em: <[http://www.fasete.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/a\\_regiao\\_semiarida\\_do\\_nordeste\\_do\\_brasil.pdf](http://www.fasete.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf)>. Acesso em: 08 jun, 2018.

ARIVUMANI, A. R. & VIJAYALAXMI, I. "**Sustainable development**." Advances in Natural and Applied Sciences, vol. 11, no. 7, 2017, p. 296+. Academic OneFile,

<<http://link.galegroup.com/apps/doc/A498996726/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=c64c78c>>. Accessed 27 Mar. 2018.

ARRUDA JÚNIOR, Antônio Morelli. **Fluxos de energia aplicada à produção de biomassa**. 2013. 132 fls. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de concentração: máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 2013.

AZEREDO, V. B. S. **Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas: Estimativa preliminar de custos e perspectivas para o Brasil**. Dissertação (Mestrado), UFRJ/Coppe/Programa de Planejamento Energético, p. 187-15-16-27–98-157, 2012. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/vinicius\\_barbosa.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/vinicius_barbosa.pdf). Acesso em 6 nov. 2013.

BALESTIERI, José Antônio Perrella. **Geração de energia sustentável**. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

BERMANN, C. Crise Ambiental e as Energias Renováveis. São Paulo: 2008. Disponível em: < [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252008000300010&script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252008000300010&script=sci_arttext) > Acesso em: 12 Abr. 2012

BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. **Sustentabilidade da Matriz Energética**. 2016. 124 fls. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2016.

Brannstrom, C., Gorayeb, A., de Sousa Mendes, J., Loureiro, C., Meireles, A. J. de A., Silva, E. V. da, Oliveira, R. F. de. (2017). **Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 62–71.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Empresa de Pesquisa Energética. Brasília : MME : EPE, 2007. 12 v. : il.

CARVALHO, R. L. **Eficiência de fogões a biomassa e impactos na qualidade do ar interior**. Dissertação (Tese de Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis), Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

Ceará. Secretaria da Infraestrutura. Estado do Ceará: **atlas do potencial eólico**. 2001.

- CENBIO – Centro Nacional de Biomassa. **Atlas de bioenergia do Brasil – Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas.** Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo – IEE/USP. São Paulo, 2009.
- CENERGIA (Centro de Economia Energética e Ambiental). **Estudo de cadeias energéticas para geração de eletricidade: Relatório Final**, PPE/COPPE/UFRJ, outubro de 2006.
- CETESB, **Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos**, 1998.
- COELHO, S. T, PALETTA, C. E. M. e FREITAS, M. A. V. **Medidas Mitigadoras para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Geração Termelétrica.** Brasília: Dupligráfica, 2000.
- COELHO, Suani Teixeira et. al. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil.** Brasília: ANEEL, 2002. 75 p
- DEMIRBAS, A. **Energ. Convers. Manage.**, v. 51, p. 2.738-2.749, 2010. Acesso em 6 jun. 2018.
- DUNLAP, R. A. **Sustainable energy.** Dalhousie University, Halifax, 2015.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional: Ano Base 2007: Resultados preliminares**, Rio de Janeiro: EPE, 2008.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Rio de Janeiro: EPE, 2015b.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016.** Rio de Janeiro: EPE, 2017.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e elétrica**, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste/Banco do Nordeste. Energia Solar no Nordeste. **Caderno Setorial Etene**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p.26-40, nov. 2016. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/publicacoes/CADERNO-SETORIAL>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste/Banco do Nordeste. Nordeste: Futuro promissor para a Energia Solar. **Caderno Setorial Etene**, Fortaleza, v. 3, n. 5, p.1-18, mai. 2018. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/publicacoes/CADERNO-SETORIAL>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

FIEC – Federação das Indústrias do Estado do Ceará. **Rotas estratégicas setoriais 2015-2025: energia** / Camilla Nascimento Santos ... [et al.]. – Fortaleza. 2016. 88 p.

FIEC. **Rotas estratégicas setoriais: estudo socioeconômico – Energia**. Fortaleza: Federação das Indústrias do Estado do Ceará, 2015.

FLORENZANO, T. G. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos: Sindicato dos Servidores Públicos Federais na Área de Ciência e Tecnologia no Vale do Paraíba, 2008. 52 p.

FLORESTAR ESTATÍSTICO, 2004 in **Fatos e Números do Brasil Florestal**, Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo, 2006.

GOLDEMBERG, J., COELHO, S. T. Renewable energy — traditional biomass vs. modern biomass. **Energy Policy**. São Paulo, 2004.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia – perspectivas para países em desenvolvimento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Energia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

HARDER, C. **Serving maps on the internet**. California: Environmental Systems Research Institute, 1998.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividade Econômica 2.0 — 2013**. Disponível em:<[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 12 mar. 2018.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico — 2000**. Disponível em:<[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 12 mar. 2018.

IBGE, **Pesquisa Agropecuária Municipal**, 2005. Disponível em:<[www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11)>. Acesso em: 24 mar. 2018.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Renewable energy sources and climate change mitigation: special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, New York, 2012.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual and Workbook**. Geneva, Switzerland, 1996.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica. **Panorama da produção de energia elétrica no Estado do Ceará: Um enfoque para a matriz eólica**. Fortaleza, Ceará, 2018.

MAGUIRRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longman, 1991.

MARTIN, J. M. **A economia mundial da energia**. São Paulo: UNESP, 1992.

MDIC — MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior — 2014**. Disponível em: . Acesso em: set. 2015.

MENDES, M. R. et al. **Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA**. Resources, Conservation and Recycling, v.41, p.47-63, 2004.

MENDES, P. G. **Desenvolvimento de uma aplicação SIG no apoio à gestão da rega: o caso de estudo do Alentejo (Portugal)**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa. Lisboa, 2013. 147 f.

MICHELINI, A. M. C. **MAET – modelo de avaliação da eco-eficiência termelétrica: um estudo multicaso**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

MIRANDA, L. A. T. **Determinantes econômicas do consumo de energia elétrica no estado do Ceará**. 2004. 113 fls. Dissertação (Curso de Pós-graduação em Economia, Área de concentração em Economia de Empresas) – Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2004.

MME – Ministério de Minas e Energia, **PNEE – Plano Nacional de Eficiência Energética**, 2016.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Portal**. Disponível em <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

OLIVEIRA, J.F.G.; TRINDADE, T.C.G. (2018a) **Sustainability Performance Evaluation of Renewable Energy Technologies**. In: Sustainability Performance

Evaluation of Renewable Energy Sources: The Case of Brazil. Springer, Cham

OLIVEIRA, J.F.G.; TRINDADE, T.C.G. (2018b) **World Energy Matrix**. In: Sustainability Performance Evaluation of Renewable Energy Sources: The Case of Brazil. Springer, Cham.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Geração de energia**. Disponível em: <<http://www.ons.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2018a.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Histórico da geração (banco de dados)**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em 05 jun. 2018.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Operação do SIN – Dados relevantes 2010**. 2011b. Disponível em:

<[http://www.ons.org.br/biblioteca\\_virtual/publicacoes\\_operacao\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/biblioteca_virtual/publicacoes_operacao_sin.aspx)>. Acesso em: 26 mar. 2018.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Portal**. 2014. Disponível em <[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>. Acesso em: 30 abr. 2018.

PERES, Célia Aparecida. **Biomassa: uma alternativa brasileira – contrapontos, desafios e problemas**. 2012. 170 fls. Dissertação (Mestrado em Geografia, Dinâmica, Espaço Ambiental) – Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, 2012.

PIMENTEL, Fernando. **O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial: perspectivas e desafios para a atuação diplomática brasileira**. Brasília : Fundação Alexandre de Gusmão, 2011. 236 p.

Rangel, M. S. Borges, P. B. Santos, I. F. **Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.3, p.267-277, 2016.

REIS, L. B. dos. **Geração de energia elétrica**. 2ª ed. rev. e atual. Barueri: Manole, 2011, p. 5-6.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 214 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.

SACRAMENTO, E.M. do; SALES, A.D., LIMA, L.C.de; VEZIROGLU, T. Nejat. A solar–wind hydrogen energy system for the Ceará state – Brazil. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 33, n. 20, pag. 5304-5311, out. 2008a.

SACRAMENTO, E.M. do; SALES, A.D., LIMA, L.C.de; VEZIROGLU, T. Nejat. A hydrogen energy system and prospects for reducing emissions of fossil fuels pollutants in the Ceara´ state—Brazil. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 33, n. 20, pag. 2132-2137, abr. 2008b.

SEEG. **Emissões por setor**. 2017. Disponível em: < <http://plataforma.seeg.eco.br/>>. Acesso em: 12 abril 2019.

SIMIONI, Carlos Alberto. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis**. 2006. 314 fls. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2006.

SIMON, L. G. et al. **Win-win scenarios at the climate–development interface: Challenges and opportunities for stove replacement programs through carbon finance**, Global Environmental Change, University of Colorado Denver, USA, 2011.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estud. - CEBRAP**, São Paulo , n. 79, p. 47-69, nov. 2007 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-330020070003000003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-330020070003000003&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 26 abr. 2018.

VIANA, Augusto N. C.; BORTONI, Edson da Costa; NOGUEIRA, Fábio J. H.; HADDAD, Jamil. NOGUEIRA, Luiz A. H.; VENTURINI, Osvaldo J.; YAMACHITA, Roberto A. **Eficiência Energética: fundamentos e aplicações**. 1ª ed. Campinas, São Paulo. 2012. 314 fls.

VINE, E. An International Survey of the Energy Service Company (ESCO) Industry. **In Energy Policy**, n. 33, p. 691- 704. 2005.

WALTER, A. C. S.; NOGUEIRA, L. A. H. Produção de eletricidade a partir da biomassa. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. (Coord.). **Tecnologias de conversão energética da biomassa**. Manaus: EDUA, EFEI, 1997. cap. 11.

WITTMANN, Douglas. **A Indústria de energia elétrica no Brasil e o desenvolvimento sustentável: uma proposta para o horizonte 2050 a luz da teoria de sistemas**. 2014. 200 fls. Tese (Doutorado em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2014.

WORLD ENERGY COUNCIL - WEC. **World energy resources**. Londres, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global Health Risks**: Mortality and burden disease attributable to selected major risks, 2004, p. 23-24.