



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**  
**MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS**



**RAFAEL FELIPE RAMOS DE RANGEL MOREIRA CAVALCANTI**

**CONTRIBUIÇÕES DE EMPREENDIMENTOS EÓLICOS PARA A  
SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO NO SETOR  
DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO RIO GRANDE DO NORTE**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2017**

**RAFAEL FELIPE RAMOS DE RANGEL MOREIRA CAVALCANTI**

**CONTRIBUIÇÕES DE EMPREENDIMENTOS EÓLICOS PARA A  
SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO NO SETOR  
DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFCG para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais – Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais – Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Competitividade.

**Orientador:** Prof. Dr. Gesinaldo Ataíde Cândido.

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2017**

## AGRADECIMENTOS

Primeiro gostaria de agradecer a Deus, por toda força que me deu durante esta curta caminhada.

Aos meus pais, Mario e Sueli, por serem meus exemplos na vida e apoiadores das minhas decisões.

Às minhas irmãs, Anna e Duda, por sempre me apoiarem e aconselharem em minhas escolhas.

À minha namorada, Hallyda, que aguentou os momentos que tive de distanciar para estudar, e que me ajudou escrever quando estive impossibilitado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação de Recursos Naturais, por todos os ensinamentos transmitidos, assim como às secretarias sempre dispostas a auxiliar os alunos.

Ao orientador Gesinaldo Ataíde Cândido, por todo compartilhamento da experiência e conhecimento.

Aos colegas de Projeto e GEGIT, por compartilhar os conhecimentos e as angústias durante esse tempo.

Aos professores do IFRN Natal, que sempre estiveram à disposição para auxiliar nas visitas que tive de fazer aos municípios potiguares.

Aos colegas de classe, que, em todas as disciplinas, tornaram os dias de aula de muita alegria e compartilhamento de sabedoria.

## RESUMO

A civilização do combustível fóssil, iniciada no século XIX, teve seu apogeu no final do século XX, no entanto, as pressões devido aos impactos gerados pela geração da energia convencional fizeram com que surgissem novas políticas públicas para setor energético. Atualmente, a principal política pública do setor energético é o desenvolvimento da energia renovável, que tem sido vista como um fator importante para o desenvolvimento da sustentabilidade energética. No Brasil, a fonte eólica tem tido enorme crescimento desde 2009, sendo uma fonte que tem sido utilizada para desenvolvimento e melhoria da sustentabilidade energética. Contudo, há uma necessidade da aplicação de indicadores de sustentabilidade energética, para que se possa avaliar o impacto que as instalações de parques eólicos trazem aos municípios que têm essa fonte de geração de energia instalada. Portanto objetivo da pesquisa é analisar as contribuições dos empreendimentos eólicos instalados em municípios do litoral norte do Rio Grande do Norte na perspectiva da sustentabilidade energética da atividade econômica e da região. Para que tal objetivo fosse atendido foram escolhidos municípios do estado do Rio Grande do Norte, pois este é maior gerador de energia eólica no Brasil, enquanto que para a realização desta pesquisa, foram selecionados os indicadores de sustentabilidade energética mais compatíveis ao contexto da pesquisa e ao tipo de energia renovável pesquisada, respectivamente os cinco municípios potiguares e o processo de instalação e funcionamento de usinas eólicas nestes municípios. Neste sentido, foram utilizados um conjunto de 14 indicadores divididos em cinco dimensões, sendo estas: Social, Econômica, Ambiental, Tecnológica e Territorial. A partir dos resultados, obtidos através dos índices de sustentabilidade energética, foi possível analisar a contribuição das instalações eólicas para a sustentabilidade energética nos municípios pesquisados. Percebemos que a inserção da energia eólica tem realmente modificado esses municípios em relação aos empregos, movimentação do comércio e melhoria no acesso à energia. No entanto, essas melhorias, ficam aquém das expectativas, devido à presença de alguns gargalos que necessitam atenção, como a questão da sazonalidade dos empregos, da possível queda de arrecadação dos impostos no futuro, como também a proteção de zonas costeiras com ecossistemas dunares que são extremamente vulneráveis aos desmatamentos ocorridos na implementação dos parques eólicos. Todavia, de forma geral, a energia eólica tem auxiliado no desenvolvimento das localidades, mesmo que atualmente o índices de sustentabilidade energética ainda estejam em uma situação de alerta, há perspectiva de que, em um futuro próximo, essa situação se torne aceitável quanto à sustentabilidade energética. Para tanto, os gargalos citados anteriormente precisam ter o cuidado dos gestores públicos, objetivando que esses índices realmente mudem para um estado aceitável de sustentabilidade energética.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Indicadores de Sustentabilidade Energética, Desenvolvimento Sustentável

## ABSTRACT

The fossil fuel civilization, begun in the nineteenth century, had its apogee at the end of the twentieth century, but the pressures due to the impacts generated by the generation of conventional energy, led to the emergence of new public policies for the energy sector. Currently the main public policy of the energy sector is the development of renewable energy, which has been an important factor for the development of energy sustainability, in Brazil the wind source has had enormous growth since 2009, being a source that has been used for Development and improvement of energy sustainability. However, there is a need for the application of energy sustainability indicators, to assess the impact that wind farm facilities bring to municipalities that have this energy source installed. Therefore, the objective of the research is to analyze the contributions of wind farms installed in municipalities of the north coast of Rio Grande do Norte in the perspective of the energy sustainability of the economic activity and the region. For the application of sustainability indicators, municipalities in the state of Rio Grande do Norte were chosen because this is the largest wind generator in Brazil. While for the accomplishment of the research, we selected the energy sustainability indicators most compatible with the context of research and type of renewable energy surveyed, respectively, the five municipalities of Potiguar and the process of installation and operation of wind power plants in these municipalities. In this sense, a set of 14 indicators divided into five dimensions were used: Social, Economic, Environmental, Technological and Territorial. From the results obtained through the indices of energy sustainability, it was possible to analyze the contribution of wind power plants to energy sustainability in the cities surveyed, where the introduction of wind energy has modified these municipalities in relation to jobs, And improved access to energy. However, these improvements fall short of expectations. This is due to the presence of bottlenecks that need attention, such as the seasonality of jobs, the possible fall of taxes in the future, as well as the protection of coastal zones with dune ecosystems that Are extremely vulnerable to deforestation occurring in the implementation of wind farms. However, in general, wind energy has helped in the development of localities, even though these indices are still in a state of alert, there is a prospect that soon this situation becomes acceptable about energy sustainability, however the bottlenecks cited Previously need to take care of public managers so that these rates really shift to an acceptable state of energy sustainability.

**Key words:** Wind Energy, Energy Sustainability Indicators, Sustainable Development

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Indicadores de sustentabilidade energética.....	38
<b>Quadro 2</b> - Indicadores de sustentabilidade energética elaborados pela AFGAN ET AL.....	39
<b>Quadro 3</b> – Dimensão ambiental dos indicadores de sustentabilidade energética ISED.....	40
<b>Quadro 4</b> - Indicadores de sustentabilidade energética .....	41
<b>Quadro 5</b> - Sustainable Energy Watch (SEW) .....	42
<b>Quadro 6</b> - Indicadores de sustentabilidade energética .....	43
<b>Quadro 7</b> - Indicadores de sustentabilidade energética.....	43
<b>Quadro 8</b> - Indicadores de sustentabilidade energética .....	44
<b>Quadro 9</b> – Checklist de indicadores para sustentabilidade energética .....	45
<b>Quadro 10</b> – Dimensão social dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica .....	51
<b>Quadro 11</b> – Dimensão econômica dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica.....	53
<b>Quadro 12</b> – Dimensão ambiental dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica.....	55
<b>Quadro 13</b> – Dimensão Tecnológica dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica .....	57
<b>Quadro 14</b> – Dimensão Tecnológica dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica .....	59
<b>Quadro 15</b> - Classificação dos índices em níveis de sustentabilidade energética.....	60
<b>Quadro 16</b> - Instrumento de coleta de dados .....	61
<b>Quadro 17</b> – Geração elétrica da região Nordeste (GWh) .....	63
<b>Quadro 18</b> : Empreendimentos de geração elétrica no Rio Grande do Norte .....	63
<b>Quadro 19</b> – Índices da geração de emprego nos Municípios Pesquisados .....	71
<b>Quadro 20</b> – Índices do Rendimento Médio nos Municípios Pesquisados .....	72
<b>Quadro 21</b> – Índices de Residências com eletricidade nos Municípios Pesquisados.....	73
<b>Quadro 22</b> – Índices do Rendimento Gastos em Energia Elétrica nos Municípios pesquisados .....	74
<b>Quadro 23</b> – Índice da Eficiência Energética nos Municípios Pesquisados .....	75
<b>Quadro 24</b> – Índice de Reserva Energética nos Municípios Pesquisados .....	76
<b>Quadro 25</b> – Índice do Desenvolvimento Comercial nos Municípios Pesquisados .....	77
<b>Quadro 26</b> – Índice do Desmatamento nos Municípios Pesquisados .....	78
<b>Quadro 27</b> – Índice do Ruídos nos Municípios Pesquisados .....	79
<b>Quadro 28</b> – Índice do Desmatamento nos Municípios Pesquisados.....	80
<b>Quadro 29</b> – Índice da Eficiência tecnológica nos Municípios Pesquisados.....	81
<b>Quadro 30</b> – Índice da Curva de Aprendizagem Tecnológica nos Municípios Pesquisados..	82
<b>Quadro 31</b> – Índice da Eficiência Energética nos Municípios Pesquisados .....	83

<b>Quadro 32</b> – Índice da Geração de empregos na zona rural .....	84
<b>Quadro 33</b> – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Social .....	85
<b>Quadro 34</b> – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Econômica .....	86
<b>Quadro 35</b> – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Ambiental .....	87
<b>Quadro 36</b> – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Tecnológico .....	87
<b>Quadro 37</b> – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Territorial .....	88
<b>Quadro 38</b> – Índice de Sustentabilidade Energética .....	89
<b>Quadro 39</b> – Biograma Índice de Sustentabilidade Energética.....	90

## LISTA DE SIGLAS

- ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica
- ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica
- CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
- CERNE - Centro de Estratégias em Recursos Naturais & Energia
- CNUMAD - Comissão das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
- CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
- CONPET - Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural
- COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte
- EIA - Estudos de Impactos ambientais
- EISD – Energy Indicators for Sustainable Development
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- FIERN – Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte
- GEE - Gases do Efeito Estufa
- GWEC – Global Wind Energy Council
- GWEC - Conselho Global de Energia Eólica
- IAEA – International Atomic Energy Agency
- ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
- IDH's - Índices de Desenvolvimento Humano
- ISPER - Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda
- ISSQN – Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza
- IUCN - Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources
- MME - Ministério de Minas e Energia
- OECD - Organização para Cooperação de Desenvolvimento Econômico
- OLADE - Organização Latino-Americana de Energia
- ONU - Organização das Nações Unidas

PCH's - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PDET - Programa de disseminação de estatísticas do trabalho

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

Proálcool - Programa Nacional do Alcool

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RIMA – Relatório de Impacto do Meio Ambiente

RSU's - Resíduos Sólidos Urbanos

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

WEC - World Energy Council

## SUMÁRIO

<b>1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA</b> .....	10
<b>1.2 OBJETIVO DA PESQUISA</b> .....	16
<b>1.4.1 Objetivo Geral</b> .....	16
<b>1.4.2 Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>1.5 JUSTIFICATIVA</b> .....	17
<b>1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	18
<b>1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	19
<b>2. CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	20
<b>2.1 Sustentabilidade e o Desenvolvimento Sustentável</b> .....	20
<b>2.2 Energia</b> .....	23
<b>2.2.1 Energia e Desenvolvimento Sustentável</b> .....	25
<b>2.2.3 Sustentabilidade Energética</b> .....	27
<b>2.2.4 Diversificação da Matriz</b> .....	29
<b>2.2.5 Energia Eólica</b> .....	31
<b>2.3 Indicadores e Índices</b> .....	32
<b>2.3.1 Indicadores de Sustentabilidade</b> .....	35
<b>2.3.2 Indicadores de Sustentabilidade Energética</b> .....	37
<b>3. CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	47
<b>3.1 Qualificação da pesquisa</b> .....	47
<b>3.2 Procedimentos Operacionais</b> .....	47
<b>3.3 Variáveis do Estudo</b> .....	49
<b>3.3.1 Variáveis Sociais</b> .....	49
<b>3.3.2 Variáveis Econômicas</b> .....	52
<b>3.3.3 Variáveis Ambientais</b> .....	54
<b>3.3.4 Variáveis Tecnológicas</b> .....	56
<b>3.3.5 Variáveis Territorial</b> .....	58
<b>3.4 Coleta e Tratamento dos dados</b> .....	61
<b>4. CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	62
<b>4.1 Inserção da Energia Eólica no Rio Grande do Norte</b> .....	62
<b>4.1.1 Rio do Fogo</b> .....	64
<b>4.1.2 Macau</b> .....	65
<b>4.1.3 Areia Branca</b> .....	66
<b>4.1.4 Guimarães</b> .....	67

4.1.5	João Câmara.....	68
4.2	Aplicação dos Índices nos Indicadores da Sustentabilidade Energética.....	70
4.2.1	ISE - Social 1 – Geração de Emprego.....	70
4.2.2	ISE 2 - Social – Rendimento Médio.....	71
4.2.3	ISE – Social 3 – Residências com Eletricidade .....	72
4.2.4	ISE - Social 4 – Rendimento Gasto em Energia Elétrica .....	73
4.2.5	ISE - Econômico 1 – Arrecadação de Imposto .....	75
4.2.6	ISE - Econômico 2 – Reservas energéticas.....	76
4.2.7	ISE - Econômico 3 – Desenvolvimento Comercial dos municípios.....	77
4.2.8	ISE - Ambiental 1 – Desmatamento .....	78
4.2.9	ISE - Ambiental 2 – Emissão de Ruído .....	79
4.2.10	ISE - Ambiental 3 – Área do Empreendimento energético.....	80
4.2.11	ISE - Tecnológico 1 – Evolução tecnológica.....	81
4.2.12	ISE - Tecnológico 2 – Custo Marginal.....	81
4.2.13	ISE - Tecnológico 3 - Eficiência de Geração por Área.....	82
4.2.14	ISE -Territorial 1 – Geração de emprego na zona rural.....	83
4.3	Índice de Sustentabilidade Energética no Rio Grande do Norte.....	84
4.3.1	ISE - Dimensão Social .....	85
4.3.2	ISE - Dimensão Econômica.....	85
4.3.3	ISE - Dimensão Ambiental.....	86
4.3.4	ISE - Dimensão Tecnológico .....	87
4.3.5	ISE - Dimensão Territorial .....	88
4.3.6	Índice de Sustentabilidade Energética .....	89
5.	Conclusões.....	91
	REFERÊNCIAS .....	95

## 1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentadas a definição do problema de pesquisa, a delimitação do tema, a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

### 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

O desenvolvimento sustentável teve suas primeiras discussões diante da criação da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1945, tendo na conferência das Nações Unidas para a conservação e uso dos recursos, realizada em 1949, o marco das discussões sobre as questões atuais do desenvolvimento sustentável como recursos naturais, combustíveis e energia, gestão de recursos hídricos e novas tecnologias. Esta conferência teve foco científico e não político, pois esta não teve o poder de impor compromissos governamentais, no entanto, foi importante como uma primeira tentativa para se discutir o desenvolvimento sob o aspecto da sustentabilidade (SANTOS, 2010).

Outro marco histórico se deu em 1980, quando a *Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) publicou o *World Conservation Strategy*. O seu objetivo a ser alcançado foi o desenvolvimento sustentável, cujo resultado foi originado do relatório elaborado por Meadows, intitulado “Relatório Brundtland”, ou Nosso Futuro Comum. Além disso, a Comissão das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD) expuseram o desenvolvimento sustentável como alternativa ao crescimento das atividades econômicas, a partir do comprometimento com o meio ambiente. A noção de desenvolvimento sustentável utilizada foi a de satisfazer as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de também garantir condições materiais de sobrevivência.

Posteriormente, *Meadows* (1992) reafirmou que o problema principal da humanidade estaria associado à contaminação e à escassez de recursos naturais (não renováveis), já a partir de meados do século XXI, e que por isso se faria necessário buscar alternativas ao atual modelo baseado na produção e no consumo desenfreado.

Em outubro de 1992, a cidade do Rio de Janeiro sediou a segunda Conferência Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio 92. Ribeiro (2010) afirma que, na ocasião, o desenvolvimento sustentável e a segurança ambiental surgiram como a premissa das negociações, associados aos princípios que regem a responsabilidade comum, as quais se diferenciam entre os países ricos e pobres.

Dentre os documentos construídos na Rio 92, há a Agenda 21 Global, a qual aponta para a necessidade de cada país construir a sua Agenda 21. Esse documento está estruturado

em 4 seções. Na seção ‘conservação e gestão dos recursos para o desenvolvimento’, ela indica a importância do manejo dos recursos naturais (incluindo solos, água, mares e energia) e de resíduos e substâncias tóxicas de forma a assegurar o desenvolvimento sustentável.

A agenda 21 conceitua a sustentabilidade como o “desenvolvimento com perspectivas de longo prazo, integrando os efeitos locais e regionais da mudança global no processo e utilizando os melhores conhecimentos científicos e tradicionais disponíveis” (REIS,2005).

Dentre as formas para avaliar a sustentabilidade, Sachs (2004) propõe que ela pode ser analisada a partir da avaliação de cinco dimensões:

- Sustentabilidade Social: construir uma civilização com maior equidade na distribuição de renda, de modo a melhorar os direitos e as condições da população, reduzindo assim a distância dos padrões de vida das classes sociais;
- Sustentabilidade Econômica: locação e gestão mais eficientes dos recursos por um fluxo regular de investimento público. A eficiência econômica deve ser avaliada considerando critérios mais macrossociais do que somente por meio de critérios de lucratividade empresarial.
- Sustentabilidade Ecológica: é obtida com a limitação do uso de combustíveis fósseis e de outros recursos facilmente esgotáveis e ambientalmente prejudiciais;
- Sustentabilidade Espacial: propõe uma configuração rural e urbana mais equilibrada e uma melhor distribuição territorial de assentamentos humanos e das atividades econômicas;
- Sustentabilidade Cultural: trata-se da utilização de sistemas rurais integrados de produção, devendo propor mudanças culturais que introduzam os conceitos de eco desenvolvimento e que respeitem as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada sociedade.

Dentro da avaliação da sustentabilidade, a energia tem apresentado significativa relevância, pois a produção e a disseminação de energia estão no cerne de questões envolvendo o desenvolvimento econômico ao longo da história da humanidade. A produção energética mundial foi iniciada na Inglaterra, primeiro país a gerar energia em larga escala utilizando suas reservas de carvão e, assim, marcando o início da revolução industrial bem como a base para o desenvolvimento de novos processos de produção da energia elétrica.

Com o passar das décadas, os progressos tecnológicos possibilitaram o acesso dos indivíduos a bens de consumo, o que incentivou o aumento de maior produtividade das empresas e, por conseguinte, de mais consumo, o que implica mais consumo de energia, tanto

para a produção como para o consumo. Esse acesso básico à energia durante esses tempos demonstrou-se essencial para satisfação de necessidades básicas do ser humano, mas também implicou a dependência mundial de fontes de combustíveis fósseis para geração de energia e suprimento crescente. Tal aspecto teve como consequência a degradação ambiental, seja através da produção de energia a partir de fontes não renováveis, seja pela criação de resíduos não incorporados pela natureza.

A importância da energia para o desenvolvimento sustentável está relacionada a três elementos. Em primeiro lugar, o fornecimento eficiente de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico como parte da agenda estratégica de qualquer país. Segundo, vários desastres ecológicos e humanos das recentes décadas têm estreita relação com o fornecimento de energia, o que favorece a defesa da sociedade em favor do desenvolvimento sustentável. Por fim, como terceiro aspecto, a necessidade de se obter no processo de produção, distribuição e consumo equidade de energia, objetivando, assim, o acesso universal (REIS et al. 2005).

Com o desenvolvimento da sociedade, a necessidade do aumento da geração de energia passou a ser algo imprescindível, fazendo com que os impactos dos empreendimentos energéticos se tornassem objeto de estudo do desenvolvimento sustentável.

Deste modo, o desenvolvimento sustentável e a questão da sustentabilidade energética começaram a ser temas constantes de discussão após as duas crises do petróleo, em 1973 e 1979, nas quais, de acordo com Macedo (2015), o interesse pelas energias renováveis surgiu no mundo como resultado de uma nova visão de política energética, cujo vetor principal reside tanto na necessidade de diversificar as fontes de geração de energia como na garantia da segurança energética, sobretudo na necessidade de enfrentar as mudanças climáticas.

Para Simas e Pacca (2013), dentre os principais benefícios socioeconômicos trazidos pelas energias renováveis, podem ser citados: a inovação tecnológica e o desenvolvimento industrial; a geração distribuída e a universalização do acesso à energia; o desenvolvimento regional e local, especialmente em zonas rurais; e a criação de empregos fatores essenciais para sustentabilidade energética.

Atualmente, entre as energias renováveis, a eólica tem apresentado grande expansão, na qual, segundo relatório do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), a capacidade instalada de geração de energia eólica mundial passou de 6,1 GW para 282,4 GW nos últimos 16 anos. Apesar dos investimentos tímidos no setor, ocasionados pelas incertezas econômicas, a matriz eólica mundial cresceu 19%, em 2012.

Ademais, energia eólica envolve aspectos da energia cinética contida nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos, como bombeamento d'água.

No Brasil, de acordo com Simas e Pacca (2013), ainda é baixa a contribuição da energia eólica para a capacidade de geração de energia elétrica. Entretanto, nos últimos anos, o setor de energia eólica experimentou um rápido aumento no número de projetos contratados, tendo um aumento na capacidade instalada de energia eólica de 600 MW em 2009 para 10 GW em 2016 (ANEEL,2016).

Destaca-se, nesse processo, a região Nordeste e, particularmente, os estados do Rio Grande do Norte e da Bahia, que agregam, em seus territórios, na atualidade, a maior representação dos parques eólicos no país. O Estado do Rio Grande do Norte possui um potencial eólico importante em áreas que podem ser aproveitadas para a geração de eletricidade a partir de fonte eólica notadamente no litoral potiguar e no semiárido. Essas regiões têm médias anuais entre 6m/s a 9m/s; o que revela uma grande potencialidade para a geração de energia eólica, configurando um cenário propício ao desenvolvimento dessa atividade (COSERN, 2003). Tal grande potencialidade fez com que o Rio Grande do Norte recebesse investimentos importantes do setor eólico, sendo esses consequência da implantação de políticas de atração de investimento, buscando atrelar a potencialidade do vento como forma de gerar benefícios socioeconômicos.

A presença de projetos de energias renováveis em áreas rurais, especialmente em áreas que carecem de desenvolvimento econômico, pode trazer diversos benefícios para a comunidade. Características socioeconômicas de muitas regiões, como alto desemprego, redução da falta de alternativas de desenvolvimento econômico e altas taxas de migração da população economicamente ativa fazem com que seja vantajosa a implementação do investimento envolvendo tais tecnologias (Nguyen, 2007). Além da geração de empregos na construção, a maioria desses de caráter temporário, há oportunidades de empregos na operação e manutenção (O&M) das usinas, em menor número, mas de longa duração. Com isso, a implantação de projetos de energias renováveis, como oportunidade de criação de empregos e alternativa para o setor agrário, pode contribuir para o desenvolvimento rural (RÍO; BURGUILLO, 2008).

Além disso, durante o período de construção dos projetos de energia renováveis, dentre esses o de energia eólica, há um aumento na demanda por bens e serviços direcionados as pessoas envolvidas na obra, como hospedagem e alimentação. Fornecedores de bens e serviços dentro das comunidades podem ser beneficiados com a construção do projeto, ao aumentarem a renda total da comunidade, além de criarem oportunidades de empregos temporários fora da obra. Dependendo do projeto, também pode haver compensações às comunidades, como reforma de escolas e de infraestrutura pública, fornecimento de energia elétrica a custo reduzido, construção de bibliotecas, entre outros (RÍO; BURGUILLO, 2008).

Diante dos benefícios apontados por autores como Frankhauses et al. (2008), Nguyen, (2007), Río e Burguillo (2008 e 2009) e Simas e Pacca (2013), há necessidade de se buscar um sistema de mensuração para a sustentabilidade, pois tais benefícios necessitam ser comprovados. Uma das barreiras para avaliar a sustentabilidade ainda vide na criação instrumentos de mensuração, a exemplo dos indicadores do desenvolvimento, sendo estas ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, se associadas de diversas formas, revelam significados sobre os fenômenos referentes. Tais indicadores são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o monitoramento e a avaliação do progresso alcançado em direção ao desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2010).

Veiga (2010) afirma que a ideia de sustentabilidade exige uma trinca de indicadores, pois ela só poderá ser bem avaliada se houver medidas simultâneas da dimensão ambiental, do desempenho econômico e da qualidade de vida (ou bem-estar). Os indicadores de sustentabilidade para o desenvolvimento sustentável representam uma importante ferramenta de planejamento para se alcançar o desenvolvimento sustentável, nos quais estes indicadores são destinados a fornecer uma ferramenta flexível aos analistas e tomadores de decisão para compreender melhor a sua situação e as tendências, os impactos das políticas recentes e os potenciais impactos das mudanças climáticas. Neste sentido, estes indicadores mostram-se importantes para analisar o impacto das políticas energéticas recentes, assim como a promoção e o incentivo ao uso de energias renováveis, dentre essas, destaca-se a fonte eólica.

De acordo com Abreu e Azevedo (2009), é preciso construir indicadores que expressem sinteticamente o grau de sustentabilidade energética, podendo orientar os governos e a iniciativa privada na tomada de decisão envolvendo investimentos direcionados ao setor elétrico, ao mesmo tempo em que auxilia os agentes públicos na regulação do setor.

Assim, no contexto atual, a implantação de empreendimentos eólicos, além de aumentar as reservas energéticas e contribuir para a diversificação da matriz elétrica nacional,

traz também uma nova atividade econômica para as regiões pouco desenvolvidas, como é o caso do litoral norte do Rio Grande do Norte. Portanto, a atividade energética traz benefícios socioeconômicos, contribuindo para melhoria do desenvolvimento sustentável local.

A partir destas considerações e diante da importância dos investimentos direcionados para a expansão da participação das fontes renováveis na matriz elétrica nacional, a presente dissertação tem como problemas de pesquisa:

**Quais as contribuições da instalação de usinas eólicas nos municípios do litoral norte do Rio Grande do Norte para a sustentabilidade energética da atividade e da região?**

## **1.2 OBJETIVO DA PESQUISA**

**1.4.1 Objetivo Geral:** Analisar as contribuições dos empreendimentos eólicos instalados em municípios do litoral norte do Rio Grande do Norte na perspectiva da sustentabilidade energética da atividade econômica e da região.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

**1.4.2.1** Realizar pesquisas em bases teóricas e conceituais para identificação das dimensões e respectivos indicadores para mensurar a sustentabilidade energética em geral;

**1.4.2.2** Selecionar os indicadores e as dimensões para mensurar a sustentabilidade energética para energia eólica;

**1.4.2.3** Contextualizar a inserção da energia eólica nos municípios de João Câmara, Macau, Rio do Fogo, Areia Branca e Guamaré no Rio Grande do Norte;

**1.4.2.4** Selecionar os indicadores de sustentabilidade energética para o contexto da inserção da energia eólica nos municípios pesquisados;

**1.4.2.5** Aplicar os indicadores selecionados e criar um índice de sustentabilidade energética com os resultados;

**1.4.2.6** Verificar as formas de contribuições do índice de sustentabilidade energética para atividade econômica na região.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas as pressões aos governos relacionados aos impactos da geração convencional de energia têm sido discutidas em convenções internacionais, fazendo com que houvesse uma busca por soluções.

Dentre as soluções, hoje em dia, o incentivo à inserção das fontes de energia renováveis tem sido o mais disseminado, dentre as fontes de energia renováveis, a energia eólica tem se destacado no mundo. Entre 2000 e 2015, sua taxa média de crescimento foi de 23,7% ao ano. Os impactos dos processos de geração, transmissão e consumo de energia no meio ambiente, assim como a inserção das fontes renováveis fizeram com que fossem realizados estudos relacionando a energia com o desenvolvimento sustentável, surgindo então, termos como sustentabilidade energética, que buscam a eficiência máxima na geração, transmissão e consumo de energia, contribuindo para redução dos impactos gerados principalmente na geração de energia.

No Brasil, há uma dependência da água para geração de energia, pois o país tem como sua principal fonte de geração elétrica, as hidroelétricas. No entanto desde o colapso energético, que resultou no racionamento em 2001, o país tem buscado soluções para que haja uma melhora na balança entre oferta e demanda de energia.

As principais ações foram o incentivo a eficiência energética e ao desenvolvimento das fontes alternativas, tendo o PROINFA como principal programa. Dentre as fontes inseridas com o programa a energia eólica tem se destacado onde, entre novembro de 2014 e novembro de 2015, a capacidade instalada do setor cresceu 56,9% em relação aos 12 meses anteriores, de acordo com o Ministério de Minas e Energia. Dentre os estados brasileiros, o Rio Grande do Norte tem a maior capacidade instalada da fonte eólica, contabilizando 3,31 GW (ANEEL,2016).

Assim, podemos afirmar que a energia eólica tem se expandido no Brasil e, respectivamente, no Rio Grande do Norte com o intuito de auxiliar o país no processo de expansão e diversificação da matriz energética, fazendo com que diminua o déficit da balança de oferta e demanda. Tais empreendimentos eólicos tem sido inseridos em municípios pequenos com população entre 10 e 40 mil habitantes, onde há dificuldades socioeconômicas por não haver muitas atividades econômicas, então para que haja uma melhor aceitação da população local com os empreendimentos eólicos, há discurso de que as instalações dos parques eólicos contribuem na geração empregos, movimentação do comércio local, trazem melhorias para as localidades através do aumento da arrecadação, além de ser um

empreendimento com impactos ambientais muito baixos. Sendo então, os empreendimentos eólicos possíveis responsáveis na possibilidade de trazer desenvolvimento sustentável e sustentabilidade energética para as localidades em que estão instalados, já que a energia tem demonstrado ser chave para o alívio da pobreza, melhoria do bem-estar humano e elevação dos padrões de vida.

Por isso, faz-se necessária a mensuração através de indicadores de sustentabilidade energética, para que se saiba se as instalações eólicas realmente estão contribuindo para que haja esse desenvolvimento de forma local e com a sustentabilidade energética, como também os gargalos e erros nessa inserção, para que políticas públicas possam ser criadas com intuito de fazer com que as instalações de parques eólicos realmente colaborem com o desenvolvimento sustentável local e a sustentabilidade energética.

## **1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA**

A delimitação da pesquisa pode ser compreendida através das variáveis que o estudo comporta, as quais são: sustentabilidade energética e indicadores de sustentabilidade energética.

Esses conceitos possuem diversos seguimentos em suas bases conceituais, sendo assim, existem várias definições que procuram abarcar tais variáveis. Portanto, faz-se necessário, para cada uma dessas variáveis, definição do conceito apropriado ao objetivo desta dissertação.

No que se refere ao conceito da sustentabilidade energética, a presente pesquisa adota a abordagem definida pela Organização para Cooperação de Desenvolvimento Econômico - OECD, a qual afirma que a sustentabilidade energética depende do encontro de caminhos para atender às necessidades da demanda, obedecendo a critérios de meio ambiente sustentável, socialmente equitativo e economicamente viável.

Outra abordagem da sustentabilidade energética utilizada na pesquisa é que esta divide-se em dois pilares principais, eficiência energética na geração, transmissão e consumo e a diversificação da matriz, em que aponta que quanto mais diversificada for uma matriz energética de um País, maior será a sustentabilidade energética.

Quanto aos indicadores de sustentabilidade energética, foi adotado o modelo checklist de Cavalcanti (2015), no qual são selecionados indicadores de sustentabilidade energética relacionados a atividades econômicas. Para a realização desta pesquisa, foram selecionados os indicadores de sustentabilidade energética mais compatíveis ao contexto da pesquisa e ato

tipo de energia renovável pesquisada, respectivamente os cinco municípios no Estado do Rio Grande do Norte e o processo de instalação e funcionamento de usinas eólicas nestes municípios. Neste sentido, foi utilizado um conjunto de 14 indicadores divididos em cinco dimensões, sendo estas: social, econômica, ambiental, tecnológica e territorial.

## **1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho de dissertação encontra-se estruturado da seguinte forma: no primeiro capítulo, são expostos a definição do problema de pesquisa, delimitação do tema, a justificativa e os objetivos do estudo.

O Capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos relativos às variáveis da pesquisa: sustentabilidade, energia e indicadores de sustentabilidade. Foram desenvolvidos conceitos sobre desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. Além desses conceitos, foram abordados conceitos de energia, energia eólica, sustentabilidade energética, diversificação de matriz, assim como é abordada a relação entre energia e desenvolvimento sustentável. Por fim, abordam-se conceitos de indicadores e índices e suas relações com a sustentabilidade e energia.

O capítulo 3 expõe a metodologia utilizada na pesquisa, e nele são apresentadas as variáveis dos indicadores utilizados. Além disso, são apresentados como se deu o tratamento dos dados e as técnicas de pesquisa.

O Capítulo 4 expõe análise, interpretação e consolidação dos resultados. Inicialmente, é feita uma contextualização da inserção dos parques eólicos nos municípios pesquisados. Em seguida, foram analisados os resultados dos índices para cada indicador e, posteriormente, os resultados dos índices para as cinco dimensões trabalhadas na pesquisa.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões, limitações do estudo e recomendações.

## **2. CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A partir do estabelecimento dos objetivos mencionados nos itens anteriores, torna-se necessária a estruturação de um arcabouço teórico em torno dos principais componentes desta pesquisa.

### **2.1 Sustentabilidade e o Desenvolvimento Sustentável**

A sustentabilidade pode ser vista como a capacidade de se sustentar, de se manter, sendo então uma atividade sustentável aquela que pode ser mantida. Se relacionarmos a sustentabilidade com a sociedade, uma sociedade sustentável é aquela que não coloca em risco os elementos necessários para sua sobrevivência. Assim sendo, o desenvolvimento sustentável é aquele que melhora a qualidade da vida do homem na Terra ao mesmo tempo em que respeita a capacidade de produção dos ecossistemas nos quais vive.

Nos últimos anos, diversas contribuições teóricas lançaram debates em torno da sustentabilidade. Iniciativas de grupos de direitos humanos e ambientais vêm pressionando governos para que estes assegurem as condições de sobrevivência do planeta para gerações futuras. Apesar de um tema relevante atualmente, a sustentabilidade ainda é um termo constructo, ou seja, em construção, não havendo um conceito único que a explique. Deste modo, para ecologia, segundo Brand (2009), a sustentabilidade se assemelha à resiliência, a qual pode ser entendida como a capacidade do ecossistema enfrentar as perturbações externas sem comprometer suas funções.

Já para economia, a sustentabilidade está relacionada à manutenção dos recursos naturais ou capital natural, que, segundo Constanza (1994), é o estoque de todos os recursos naturais em si mesmo (renováveis e não renováveis), e aos outros elementos do meio ambiente: estrutura do solo e da atmosfera, a biomassa de plantas e animais e todos os recursos aquáticos.

Existe uma parte do capital natural que tem papel importantíssimo e é extremamente necessário para sustentação da vida na Terra. Esse capital não pode ser substituído pelos elementos artificiais, feitos pelo homem, de nenhuma maneira (por exemplo, o clima global, a camada de ozônio, biocenoses intocadas, diversidade biológica). Outros elementos do capital natural distinguem-se entre os elementos renováveis e os exauríveis. O estoque de capital natural usa insumos primários (energia solar) para produzir os serviços ecológicos e os fluxos de recursos naturais. Dentre os exemplos de capital natural, estão: as florestas, as populações de peixes e os depósitos de petróleo.

Diante do capital natural, surgiram duas linhas de pensamentos: a sustentabilidade “fraca”, a partir dos textos de Solow, na qual se acredita que não interessa como será feita a

distribuição entre capital natural exaurível e o reprodutível, o importante é que o capital total permanecesse constante, e a sustentabilidade “forte”, na qual pensadores como Daly acreditam que o capital natural é complementar e não substituível pelo capital reprodutível. O capital natural, para assegurar uma sustentabilidade, deveria ser mantido constante no todo, ou pelo menos uma parte chamada de capital natural crítico.

Para Gadotti (2008) a sustentabilidade pode ser desdobrada em dois eixos, o primeiro é relativo à natureza, no qual são estudadas as sustentabilidades ecológica, ambiental e demográfica (recursos naturais e ecossistemas), que se referem à base física do processo de desenvolvimento e com a capacidade da natureza suportar a ação humana. O segundo é relativo à sociedade, sendo estudadas as sustentabilidades cultural, social e política, que se referem à manutenção da diversidade e das identidades, diretamente relacionadas com a qualidade de vida das pessoas, da justiça distributiva e com o processo de construção da cidadania e da participação das pessoas no processo de desenvolvimento.

A partir das discussões sobre sustentabilidade, surgiu a necessidade do desenvolvimento sustentável. Esse teve suas primeiras discussões diante da criação da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1945, tendo a conferência das Nações Unidas para a conservação e uso dos recursos em 1949, na qual foram discutidas questões atuais do desenvolvimento sustentável como recursos naturais, combustíveis e energia, gestão de recursos hídricos e novas tecnologias. Essa conferência teve foco científico e não político, pois não teve o poder de impor compromissos governamentais, no entanto, foi marco da discussão sobre o desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2010).

Porém, apenas a partir de 1972 que os problemas ambientais deram o primeiro grande passo para notoriedade da discussão. Esse fato ocorreu quando Dennis L. Meadows e um grupo de pesquisadores publicaram o estudo “Limites do Crescimento”. No mesmo ano, aconteceu a conferência de Estocolmo sobre ambiente humano, a primeira grande discussão internacional culminando na Conferência de Estocolmo em 1972. Apesar de criticados por alguns cientistas da época, os estudos publicados em 1972 foram um marco histórico para o desenvolvimento sustentável, pois, pela primeira vez, as preocupações com as questões ambientais passaram do nível nacional para o nível global, sendo então identificados problemas ambientais internacionais relacionados ao desenvolvimento industrial.

Entre as teses e conclusões básicas do grupo de pesquisadores coordenado por Dennis Meadows (1972 apud Cavalcanti, 1995), tem-se:

- As atuais tendências de crescimento da população mundial industrialização, poluição, produção de alimentos e diminuição de recursos naturais continuarem imutáveis, os limites de crescimento neste planeta serão alcançados algum dia dentro dos próximos cem anos. O resultado mais provável será um declínio súbito e incontrolável, tanto da população quanto da capacidade industrial;
- É possível modificar estas tendências de crescimento e formar uma condição de estabilidade ecológica e econômica que se possa manter até um futuro remoto. O estado de equilíbrio global poderá ser planejado de tal modo que as necessidades materiais básicas de cada pessoa na Terra sejam satisfeitas e que cada pessoa tenha igual oportunidade de realizar seu potencial humano individual;
- Se a população do mundo decidir empenhar-se em obter este segundo resultado, em vez de lutar pelo primeiro, quanto mais cedo ela começar a trabalhar para alcançá-lo, maiores serão suas possibilidades de êxito. Para alcançar a estabilidade econômica e ecológica, Meadows et al. propõem o congelamento do crescimento da população global e do capital industrial; mostram a realidade dos recursos limitados e rediscutem a velha tese de Malthus sobre o perigo do crescimento desenfreado da população mundial.

Contudo, foi somente durante a Assembleia Geral da ONU, de 1983, que o termo desenvolvimento sustentável surgiu, através da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida por Gro Harlem Brundtland, cujo relatório intitulado “Nosso Futuro Comum” tinha como objetivos: “propor estratégias ambientais de longo prazo para se obter um desenvolvimento sustentável por volta do ano 2000 e daí em diante e recomendar maneiras para que a preocupação com o meio ambiente se traduza em maior cooperação entre os países em desenvolvimento e entre países em estágios diferentes de desenvolvimento econômico e social e leve à consecução de objetivos comuns e interligados, que considerem as interrelações de pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento”

Nesse relatório, elaborado no final da comissão, foi elaborado o primeiro conceito para desenvolvimento sustentável e que continua sendo mais aceito. Esse conceito diz que “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações”. Além da elaboração de tal definição, o relatório dá uma ênfase especial às

consequências da pobreza sobre o meio ambiente, atestando que “a pobreza é uma das principais causas e um dos principais efeitos dos problemas ambientais no mundo” (CAVALCANTI ET AL, 1995).

Acredita-se, também, que o crescimento econômico pode continuar indefinidamente no mesmo ritmo, desde que ocorram modificações tecnológicas no sentido de tornar, sobretudo, os insumos energéticos mais econômicos e eficientes. No entanto, por mais que as tecnologias modernas se adequem a essa premissa, permanece a dúvida sobre a possibilidade de ocorrer mudanças sociais e culturais para essa transformação, uma vez que uma das características da sociedade industrial de consumo é justamente o desperdício.

Em torno das questões levantadas pelo relatório “Nosso Futuro Comum”, realizado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), em junho de 1992 no Rio de Janeiro, foi a primeira vez que a comunidade política internacional admitiu claramente que era preciso conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a utilização dos recursos da natureza. Nessa reunião, que ficou conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra, os países reconheceram o conceito de desenvolvimento sustentável e começaram a moldar ações com o objetivo de proteger o meio ambiente.

Na Rio-92, também ficou acordado, então, que os países em desenvolvimento deveriam receber apoio financeiro e tecnológico para alcançarem outro modelo de desenvolvimento que seja sustentável, inclusive com a redução dos padrões de consumo — especialmente de combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral). Outro acordo firmado foi a Agenda 21, um documento criado na Rio-92 que propõe práticas e técnicas de desenvolvimento sustentável para nações, estados e cidades (OLIVEIRA,2012).

Nos últimos anos, a temática ambiental tem se juntado à social no centro das discussões relacionadas à sustentabilidade, e a energia tem participação significativa nesse contexto, sendo mencionada em diversas situações da Agenda 21. Diante disso, é importante expor questões sobre energia, assim como sua relação com o desenvolvimento sustentável.

## **2.2 Energia**

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e muitas regiões. Em conjunto com

transporte, as telecomunicações, a água e o saneamento, a eletricidade compõe a infraestrutura necessária ao ser humano no modelo de desenvolvimento atual.

Os avanços tecnológicos na energia elétrica permitem que ela chegue aos mais distantes lugares do planeta, transformando regiões desocupadas ou pouco desenvolvidas em grandes centros urbanos. Apesar dos referidos avanços tecnológicos e benefícios proporcionados, a Organização da Nações Unidas (ONU) estima que cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso a esse recurso, e uma parcela considerável é atendida de forma muito precária.

A geração de energia elétrica compreende todo o processo de transformação de uma fonte primária de energia em eletricidade. Essa transformação se dá através de diversas tecnologias e fontes primárias. No entanto, apesar de existir várias opções para produção de eletricidade, cada uma tem características distintas e específicas em termos de dimensionamento apropriado, custos e tecnologias. Em geral, a transformação de fonte primária em energia representa uma parte bastante significativa dos impactos ambientais, socioeconômicos e culturais dos sistemas de energia elétrica.

Segundo Reis (2015) dentre os processos de transformação que podem conduzir a geração de energia elétrica, tem-se:

- Transformação de trabalho gerado por energia mecânica, por meio do uso de turbinas;
- Transformação direta da energia solar, por meio do uso de células fotovoltaicas, por exemplo;
- Transformação de trabalho resultante de aplicação de calor gerado pelo sol, por combustão, fissão nuclear ou energia geotérmica, através de aplicação de máquinas térmicas;
- Transformação de trabalho resultante de reações químicas, através das células combustíveis.

As fontes primárias utilizadas para produção de energia elétrica podem ser classificadas em renováveis e não renováveis. São consideradas fontes não renováveis aquelas passíveis de se esgotar, por serem utilizadas com velocidade acima a resiliência, ou seja, acima do período de recuperação. Nessa categoria, podem-se encontrar os derivados do petróleo, os combustíveis radioativos, a energia geotérmica e o gás natural. Essas fontes atualmente têm como sua principal forma de transformação o trabalho resultante de aplicação de calor, denominada de geração termelétrica.

Já as fontes renováveis são aquelas em que a reposição realizada pela natureza se dá de forma mais rápida do que o consumo, ou em que a utilização da energia possa ser feita de forma compatível com as necessidades energéticas do ser humano. Tais fontes podem ser utilizadas para produção de eletricidade através de Usinas Hidrelétricas, eólicas, solares, e termelétrica, caso seja utilizada biomassa renovável (CASTRO,2011).

O setor energético, através da sua organização atual em relação à área de suprimentos, cobre desde o processo de transformação primário explicitado acima até a interface do tipo de consumidos, estando então dividido entre geração, transmissão e distribuição.

Durante as últimas décadas, a energia começou a ser relacionada ao desenvolvimento sustentável, diante da importância da energia para o desenvolvimento em questões econômicas, sociais, assim como devido aos impactos causados pela geração, transmissão e distribuição de energia.

### **2.2.1 Energia e Desenvolvimento Sustentável**

O abastecimento de energia adequado e acessível tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico e a transição da subsistência das economias agrícolas para as sociedades industriais e orientado a produção de bens e serviços na sociedade moderna, sendo essencial para a melhoria do bem-estar social e econômico, bem como indispensável para geração de riqueza industrial e comercial. A energia tem comprovado ser chave para o alívio da pobreza, a melhoria do bem-estar humano e a elevação os padrões de vida, no entanto, a energia é apenas um meio para se alcançar um fim (IAEA, 2007).

De acordo com Borges (2012), o processo de expansão econômica de um país vincula-se ao aumento da oferta de eletricidade gerada por investimentos aplicados no setor energético e, por conseguinte, a um aumento do consumo. Na maioria dos países os quais o consumo de energia comercial *per capita* está abaixo de uma tonelada equivalente de petróleo (TEP) por ano as taxas de analfabetismo, mortalidade infantil e fertilidade total são altas, enquanto a expectativa de vida é baixa. Ultrapassar a barreira um TEP/capita parece ser, assim, essencial para o desenvolvimento. Segundo Goldemberg (1998), à medida que o consumo de energia comercial *per capita* aumenta para valores acima de dois TEP (ou mais), como é o caso dos países desenvolvidos, as condições sociais melhoram consideravelmente. Então, para ilustrar, o referido autor destaca que o consumo médio *per capita* nos países industrializados da União Europeia é de 3.22 TEP/ capita, enquanto que a média mundial é de 1.66 TEP/capita.

Embora o consumo de energia cresça cada vez mais e resulte numa série de benefícios, o acesso, a quantidade e a forma da energia consumida variam drasticamente dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento e da parcela mais rica para a pobre da população de um mesmo país ou uma mesma região (UNDP et al., 2000).

Os países com maiores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) caracterizam-se por um maior consumo de energia per capita, da mesma forma as regiões que mais sofrem com a falta de energia elétrica são aquelas com menores IDHs. Por exemplo, no Brasil, as regiões Norte e Nordeste são as mais afetadas (PNUD, 2004).

Em um país com dimensões continentais, como é o Brasil, o setor de distribuição de energia elétrica tem de adaptar-se às extremas diversidades das regiões atendidas. Os distribuidores de energia elétrica são responsáveis pelo abastecimento de mais de 40 milhões de domicílios brasileiros, 4,5 milhões de estabelecimentos comerciais, 500.000 estabelecimentos industriais, quase três milhões de clientes rurais, estando, assim, presentes em cerca de 5.500 municípios (ANEEL, 2013)

Todavia, Reis et al. (2005) afirmam que políticas centralizadoras pautadas exclusivamente na oferta de energia são inadequadas às demandas básicas, pois causam prejuízos ao meio ambiente e proporcionam o crescimento autônomo de alguns setores em detrimento de outros, ocasionando disparidades sociais dentro de uma mesma região.

Assim, De acordo com Souza (2010), a segurança no abastecimento energético é estratégica para o desenvolvimento. Recentes aspectos relacionados à dependência externa no suprimento de energia servem de alerta, tais como aqueles ligados ao petróleo e ao gás natural. Essa é uma preocupação dos países que têm forte dependência de importação de combustíveis, principalmente os fósseis.

A partir deste contexto, a diminuição dos estoques de combustíveis fósseis exigirá que as sociedades alterem sua matriz energética em direção à produção e ao uso de energias renováveis e com baixo impacto ambiental. Para ser sustentável e garantir o alimento necessário à população humana, o desenvolvimento precisa se basear em padrões de consumo alimentar e energético que não esgotem as fontes de sustento humano. Noutras palavras, o desenvolvimento sustentável precisa basear-se numa matriz energética durável, apoiando-se em uma base de recursos renováveis (RIBEIRO,2010). Porém, ao escolher os combustíveis de energia e tecnologias associadas à produção, entrega e utilização de serviços de energia, é essencial ter em conta as consequências econômicas, sociais e ambientais.

Há ainda que se considerar que a importância da energia no desenvolvimento sustentável está relacionada a três elementos: o fornecimento eficiente de energia, considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico; vários desastres, ecológicos e humanos recentes, os quais têm estreita relação com o fornecimento de energia, oferecendo argumentos em favor do desenvolvimento sustentável; necessidade de equidade na energia setor, que pode ser traduzida no acesso universal à energia (REIS, 2005).

Para Udaeta (1997), os seguintes aspectos poderiam ser identificados em uma política energética baseada no desenvolvimento sustentável: garantia de suprimentos, através da diversificação das fontes, novas tecnologias e descentralização da produção de energia; uso, adaptação e desenvolvimento racional; custo mínimo da energia; e valor agregado a partir dos usos, gerados pela otimização dos recursos.

Entretanto, a energia continua a representar um dilema fundamental para alcançar as metas de desenvolvimento sustentável, uma vez que a sua utilização é pré-requisito necessário para o desenvolvimento econômico e social, enquanto que a produção e a utilização de energia estão associadas aos impactos adversos sobre saúde pública e meio ambiente. Nesse sentido, é importante que as decisões políticas compreendam as implicações e os impactos dos diferentes programas de energia, políticas alternativas, estratégias e planos de desenvolvimento na formação dentro de seu país, assim como a viabilidade de tornar o desenvolvimento sustentável ao longo do tempo (IAIE,2005).

Diante da importância da energia para o desenvolvimento sustentável, surge a preocupação com a sustentabilidade energética, a qual busca analisar os impactos das atividades energéticas sobre as questões sociais, econômicas e ambientais. Essa, por sua vez, minimiza os impactos negativos das fontes energéticas por meio da expansão dos benefícios relacionados à atividade energética.

### **2.2.3 Sustentabilidade Energética**

A sustentabilidade energética depende do encontro de caminhos para atender às necessidades da demanda, obedecendo a critérios de meio ambiente sustentável, socialmente equitativo e economicamente viável (OECD, 1997). De Andrade e Mattei (2013) apontam três aspectos básicos para sustentabilidade energética: mudança do paradigma em relação ao padrão de consumo atual; busca por uma maior eficiência energética dos atuais processos produtivos; e desenvolvimento e inserção de tecnologias energéticas limpas.

Para Bermann (2002), a sustentabilidade energética se divide entre três dimensões. A econômica determina diretamente a taxa de lucro da atividade produtiva. Já a dimensão social é verificada pela identificação de níveis básicos de necessidades, caracterizada pela possibilidade de se utilizar o insumo energético em condições sustentáveis. Finalmente, a dimensão ambiental é identificada pelo nível de deterioração que a utilização da energia pode causar ao meio ambiente.

Para Machado et al. (2006), o conceito de sustentabilidade energética incorpora a análise da dimensão ambiental, ou seja, se o processo produtivo e de consumo possui, ao mesmo tempo, na sua entrada, uma fonte de energia cuja aquisição seja ambientalmente cíclica e renovável e se os poluentes relacionados à produção e ao consumo de energia não excedem a capacidade de absorção média do ambiente, e em que medida atua como um meio de ação para reduzir as emissões de gases poluentes na atmosfera, o uso intensivo de recursos hídricos e o extensivo de terra e a produção de resíduos, como determinado pelos padrões científicos. Assim, a dimensão social, ou seja, se o processo produtivo e de consumo, afeta a saúde e o bem-estar das pessoas diretamente relacionadas, e é incluída quantitativa e qualitativamente em termos de geração de empregos e de renda. Por último, é fundamental a análise da dimensão econômica, ou seja, em que ponto o preço real da energia para utilização final influi sobre a demanda energética nacional e internacional e, conseqüentemente, na pressão exercida sobre o meio ambiente pelas atividades de produção e de consumo da energia.

Mas, para a obtenção de maior sustentabilidade energética, é importante enfatizar a eficiência energética e o uso de fontes renováveis, as quais devem ser amparadas por políticas públicas. Diante desse fator, a *World Energy Council (WEC)* (2007) aponta três objetivos que podem levar a criação de políticas públicas que privilegiam a sustentabilidade energética, são elas: acessibilidade, disponibilidade e aceitabilidade. Tais objetivos são imprescindíveis para que as políticas e o planejamento para o setor energético possam partir de compreensões e implicações e impactos dos diferentes programas de energia, políticas alternativas, estratégias e planos de desenvolvimento na formação dentro dos seus países, bem como sob os aspectos da viabilidade de tornar o desenvolvimento sustentável ao longo do tempo.

No Brasil, os programas para promoção da sustentabilidade energética tiveram como foco o consumo de energia e a maior utilização de fontes renováveis na matriz energética. Dentre essas iniciativas governamentais que foram desenvolvidas no Brasil nas últimas décadas (Jannuzzi, 2004), destacam-se:

- a) o Programa Nacional do Álcool – (Proálcool), em 1975,
- b) o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – (PROCEL), em 1985,
- c) o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural – (CONPET), em 1991,
- d) o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – (PROINFA), em 2002.

Tais iniciativas tiveram como objetivo a redução de impactos ambientais causados pelo setor elétrico, redução de conflitos sociais causados por novas plantas geradoras de energia, maior eficiência energética, redução dos gastos de eletricidade dos consumidores, redução da necessidade de expansão de capacidade instalada de tecnologias convencionais, aumento da oferta de energia de maneira descentralizada, maior espaço para fontes renováveis e a preservação ambiental (JANNUZZI, 2004).

Com isso, para que haja um programa de sustentabilidade energética eficiente, um fator se faz essencial: a diversificação da matriz que incentiva a utilização de fontes de energia renováveis, assim como traz uma maior segurança energética.

#### **2.2.4 Diversificação da Matriz**

A diminuição dos estoques de combustíveis fósseis exigiu que as sociedades alterassem sua matriz energética, contemplando o uso das energias renováveis e com baixo impacto ambiental. O conceito de matriz energética é amplo e se refere ao uso da energia para outros fins que não sejam a geração de energia elétrica, como a queima de combustíveis para automóveis ou indústria.

De forma geral, a matriz energética pode ser definida como um conjunto de fontes diversas que ofertam internamente energia, ou mais exatamente ser definida como sendo a oferta interna discriminada quanto às fontes e setores de consumo. Pode ser compreendida como um instrumento técnico que permite a um país acompanhar os resultados das políticas e estratégias setoriais implantadas e revela, de forma constante, as respostas do mercado e da sociedade às opções encontradas.

Reis et al. (2005) enfatiza que a matriz energética do país, Estado, em suas perspectivas de evolução ao longo do tempo, pode ser definida como instrumento de fundamental para execução de um planejamento energético adequado.

Assim, a segurança no abastecimento energético é estratégica para o desenvolvimento dos países, porém, devido às recentes crises e conflitos dos combustíveis fósseis, aspectos

relacionados à dependência externa no suprimento de energia servem de alerta, tais como aqueles ligados ao petróleo e ao gás natural. Essa preocupação dos países que têm forte dependência de importação de combustíveis tem como possível solução, de acordo com Bermann (2002), a diversificação das fontes geradoras, dentre essas as fontes renováveis existentes como a biomassa, a energia solar e a energia eólica.

Para ser sustentável e garantir o alimento necessário à população humana, o desenvolvimento precisa ainda se basear em padrões de consumo alimentar e energético que não esgotem as fontes de sustento humano. Noutras palavras, o desenvolvimento sustentável precisa basear-se numa matriz energética durável, apoiando-se em um alicerce de recursos renováveis (RIBEIRO, 2010). Portanto ao escolher as fontes de energia utilizadas na matriz energética do país, é essencial ter em conta, além das estratégias energéticas, as consequências econômicas, sociais e ambientais que essas fontes ocasionarão.

Para Reis et al. (2005), a estrutura da Matriz energética de longo prazo considera três dimensões básicas de sustentação. Essas dimensões estão relacionadas com o cenário energético atual e com a necessidade de uma visão integrada, consistente e transparente da questão.

A primeira dimensão diz respeito à importância de integração da visão de planejamento com do acompanhamento tecnológico e de fomento. Faz-se necessária a integração para a elaboração de cenários e o planejamento aderente às políticas tecnológicas e de fomento, com vistas a fornecer todas as informações precisas para análise e decisão.

A segunda dimensão refere-se à necessidade do estabelecimento de procedimentos para montagem de um sistema integrado, transparente e consistente de informações, com dados e modelos para simulação e análise. Tal sistema é essencial para a execução das tarefas visualizadas e, no enfoque global do setor energético, também deverá ser consistente com os requisitos de um banco geral de informações, necessários para a elaboração do planejamento integrado, do planejamento de longo prazo e dos planos decenais: eletricidade dos combustíveis, da eficiência energética e das fontes renováveis.

Quanto à terceira dimensão, de suma importância, sobretudo no caso de estudos de longo prazo, há necessidade de o planejamento apresentar características dinâmicas de avaliações periódicas congregadas a uma monitoração continuada do cenário de energia. Esse cenário apresenta forte efervescência não apenas em termos nacionais, mas em âmbito global, notadamente porque a questão ambiental tem sido cada vez mais influente e uma maior ênfase tem sido dada a uma adequada utilização de recursos naturais.

Portanto, para De Barros (2007) diversificação das fontes energéticas é fator primordial para que haja evolução equilibrada da matriz elétrica, sendo que, para que seja sustentável, essa transição deve priorizar a competitividade resultante da utilização de diversas fontes, considerando seu custo de geração (segurança econômica), seu desempenho operacional e sua confiabilidade (segurança energética), bem como os fatores externos gerados (segurança ambiental) em um quadro de atratividade econômica e financeira. Entretanto, o processo deve ser de diversificação, e não de substituição, para que os custos econômicos, sociais e ambientais de cada tipo de fonte sejam dosados.

Dentre as fontes de geração de energia que estão sendo utilizadas para diversificar a matriz energética brasileira, a energia eólica destaca-se com altas porcentagens de crescimento, sendo atualmente responsável por cerca de 7% da geração de energia no país (ANEEL,2016).

### **2.2.5 Energia Eólica**

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Recentemente o desenvolvimento tecnológico de sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. Esses que eram um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, reduzindo significativamente nas últimas duas décadas.

Dentre as energias renováveis, a participação da energia eólica na matriz mundial ainda é pequena, no entanto, sua participação tem crescido rapidamente nos últimos anos. Atualmente, a energia eólica para geração de eletricidade é a fonte que mais acende na União Europeia, com um crescimento médio anual de 25% desde 1990 (GWEC, 2006).

Atualmente, a capacidade instalada no mundo é de 432,88 GW, contendo 26 países com capacidade instalada igual ou acima de 1GW. Estima-se que, em 2020, o mundo terá 12% da energia gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de mais de 1.200 GW (GWEC,2015). No Brasil, a energia eólica para geração elétrica começou a ganhar visibilidade a partir do final da década de 1970 e ao longo da década de 1980, em decorrência da crise do petróleo (NÓBREGA & POMPERMAYER, 2003, p. 54). As atividades para desenvolvimento eólico foram desenvolvidas por universidades e instituições de pesquisa que tinham como objetivo o desenvolvimento de aerogeradores com tecnologia nacional.

Todavia, de acordo com Macedo (2015) a evolução da fonte eólica no país se deu a partir do incremento da produção de energia elétrica. Isso ocorreu devido a benefícios como PROINFA, leilões e políticas tributárias. Tais políticas de incentivo fizeram com que a energia eólica se tornasse uma fonte de geração de eletricidade importante nos dias atuais, cuja participação na capacidade de geração de energia elétrica no Brasil é cerca de 7 % da capacidade instalada de geração eólica no país.

Por conseguinte, a energia eólica aparece como uma das opções para mitigar os problemas supracitados, considerando aspectos como: grande potencial para exploração sem necessidade uso de combustíveis, ou seja, não apresenta riscos geopolíticos, nem variações de preço; fonte endógena de energia e permanentemente disponível; construção de centrais eólicas em curto período de tempo; grande perspectiva de redução dos custos; baixos impactos ambientais e pouca emissão de gases de efeito estufa.

No entanto, o rápido crescimento da energia eólica no Brasil trouxe alguns impactos negativos. Barroso Neto (2010) afirma que alguns empreendimentos eólicos ocasionaram impactos, como terraplanagem das dunas, soterramento de lagoas, destruição de sítios arqueológicos, bloqueio de passagens em caminhos trilhados pela comunidade local, poluição do ar decorrente do trânsito de veículos pesados, especulação imobiliária e desaprovação dos empresários do setor de turismo, sem contar os ruídos e o efeito paisagístico, decorrente do agrupamento das torres e aerogeradores.

Diante da literatura exposta, é possível perceber a importância das energias renováveis. Dentre essas, a eólica se destaca para sustentabilidade energética, assim como contribui dessa para o desenvolvimento de regiões pouco desenvolvidas. Todavia, também gera impactos negativos. Portanto, faz-se necessária a mensuração da sustentabilidade, para que se possa avaliar a real contribuição da implantação dessa atividade econômica nessas regiões. Tal avaliação se dá através dos indicadores de sustentabilidade que auxiliam os gestores a avaliar as políticas públicas ou a falta delas em determinadas questões fundamentais.

Logo, para mensurar e avaliar a sustentabilidade, uma das ferramentas a serem utilizadas são os indicadores. Tratam-se de medidas fundamentais para operacionalizar o conceito de desenvolvimento sustentável.

### **2.3 Indicadores e Índices**

Indicadores de um sistema são variáveis definidas a partir de características desse sistema, os quais permitem a identificação do seu estado, sua comparação com outros

sistemas, o estabelecimento de metas e o acompanhamento e execução de ações corretivas para atingir metas traçadas (Kurka e Blackwood, 2013).

Já para a OECD (1993), um indicador deve ser entendido como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, que apontam e fornecem informações sobre estado de um fenômeno com extensão significativa.

Já para Van Bellen (2005), os indicadores devem ser entendidos como variáveis, ou seja, a representação operacional do atributo do sistema cujo objetivo principal consiste em agregar e quantificar informações, ressaltando sua significância e visando melhorar o processo de comunicação de fenômenos complexos.

Consequentemente, um bom indicador precisa ser confiável, útil, fácil de encontrar, tratar de tema relevante, com base teórica, ter boa cobertura estatística, ser sensível às mudanças do objeto que está sendo mensurado, ser específico para esse objeto, de fácil entendimento para público especializado, assim como para público em geral, ser periodicamente atualizável e desagregável em série histórica.

Todavia, na prática, apenas um indicador pouco pode identificar ou avaliar um estado. Por isso, ao invés de apenas um, utiliza-se um conjunto de indicadores que permitem a melhor identificação do sistema, o qual pode ser dividido em categorias ou dimensões.

De acordo Van Bellen (2005), as principais funções dos indicadores são: a avaliação de condições, comparação entre lugares e situações, avaliação de condições e tendências em relação a metas e objetivos, apresentação de informações de advertência e antecipação de futuras condições.

A necessidade de utilizar indicadores está na possibilidade de consecução de informações a respeito de determinada realidade, e possui como principal característica o potencial de concatenar um conjunto complexo de informações retendo apenas o significado essencial dos aspectos estudados, sendo que esses indicadores de sustentabilidade mostram as variações de valores ou estados de determinada variável, que, se apresentando distintos no tempo, sinalizam aspectos fundamentais ou prioritários no processo de desenvolvimento, particularmente em relação às variáveis que afetam a sustentabilidade (CAMARGO .et al. 2004).

Segundo Rametsteiner et al. (2011), os indicadores vão além da descrição das condições atuais ou tendências. Eles criam compreensão e discernimento sobre como o ser humano e /ou os sistemas ambientais operam, além do mais sugerem a natureza da intensidade de ligações entre os diferentes componentes dos sistemas estudados e oferecem

melhor entendimento de como as ações afetam as diferentes dimensões da sustentabilidade: economia, meio ambiente e questões sociais.

Atualmente, existem diversos tipos de indicadores, que podem ter valores absoluto ou relativo, podem ser uma média de vários indicadores, também pode ser objetivo e quantitativo ou qualitativo e subjetivo, como podem ser insumos, fluxo ou produto, ou ainda retratar eficiência, eficácia ou efetividade. Por último, tem-se os indicadores descritivos e normativos de acordo com Jannuzzi (2006). Conforme aponta esse autor, os indicadores descritivos descrevem características e aspectos da realidade empírica, não tm forte significados valorativos, como, por exemplo, a mortalidade infantil. Já os indicadores normativos incorporam de forma explícita juízos de valor ou critérios normativos, como exemplo se tem taxa de desemprego.

Ao analisar a pirâmides da informação, os índices ficam acima dos indicadores, no entanto, segundo a conjuntura econômica índices e indicadores são sinônimos. Então, os índices são definidos como indicadores compostos, construídos a partir de uma média de indicadores, ou como indicador sintético, ou ainda de alto nível de agregação e complexidade.

Resumidamente, os índices sintetizam ou simplificam realidades complexas envolvendo múltiplas variáveis e dimensões, tornando simples um problema inteligível para população e políticos. Porém, a elaboração desses índices tem prós e contras.

De acordo com Nardo et al. (2005), de forma positiva, esses índices resumem temas complexos, são mais fáceis de interpretar, facilitam a montagem de rankings, permitem acompanhar processo e dão notoriedade a temas relativos ao progresso. Por outro lado, os aspectos negativos são que tais índices podem passar mensagens equivocadas, podem gerar conclusões simplistas ou encobrir sérias falhas em dimensões, como também levar a políticas inapropriadas.

De acordo com Silva e Lima (2010), há obrigação de transformação da qualidade em quantidade, sendo essa fruto da necessidade da sociedade em trabalhar com ferramentas eficientes que orientem para processo decisório de políticas públicas. Diante dessa necessidade de ferramenta para avaliação das políticas públicas e surgimento do tema sustentabilidade, em que era necessário criação de políticas para seu desenvolvimento, surgiram os indicadores de sustentabilidade.

### **2.3.1 Indicadores de Sustentabilidade**

Atualmente, é senso comum que o uso dos recursos naturais necessita de conservação para que não prejudique as futuras gerações. No entanto, de que forma se pode determinar qual seria a utilização dos recursos que seria sustentável?

O processo de criação de instrumentos de mensuração é um dos maiores desafios da construção do desenvolvimento sustentável. Os indicadores, analisados de forma isolada, são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre fenômeno. Já os indicadores de desenvolvimento sustentável são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável.

Dada a complexidade que envolve o desenvolvimento sustentável, é necessário encontrar indicadores que captem todos os aspectos relevantes para o processo de desenvolvimento em bases sustentáveis e descrevam de forma compreensiva uma realidade mutável, dinâmica e diversa, além de evidenciar aspectos que revelem tendências ou perspectivas futuras. Destarte, os aspectos do desenvolvimento sustentável são complexos e requerem diversas formas de análise, a partir do número adequado de indicadores e variantes que sejam as mais consistentes para retratar um dado contexto.

Diante dessa importância dos indicadores para desenvolvimento sustentável, desde publicação do Relatório Brundtland, em 1987, diversas organizações internacionais e nacionais têm desenvolvido um conjunto de indicadores para medir e avaliar um ou mais aspectos do desenvolvimento sustentável. Esses esforços receberam um grande impulso na sequência da adoção da Agenda 21, em 1992, que (no capítulo 40) solicita especificamente aos países e suas organizações governamentais e não governamentais a desenvolver o conceito de indicadores de desenvolvimento sustentável, de modo a harmonizá-las a nível nacional, regional e global (IAEA, 2005).

Reconhece-se que os indicadores de sustentabilidade são de fundamental importância para se efetivar a concretização de um processo de desenvolvimento de forma consolidada e sustentável. Segundo Ribeiro (2000), a concepção de indicadores de sustentabilidade emerge nesse plano como suportes fundamentais para a atividade de mensurar, possibilitando que as escolhas políticas se movam em direção à sustentabilidade, através da criação de conexões entre o atual estágio de desenvolvimento e o estado de sustentável no futuro.

No âmbito do desenvolvimento sustentável, a utilização de indicadores pode ter finalidades distintas, dependendo dos objetivos a que se propõem. De acordo com Campos

(2005), destacam-se as seguintes finalidades: atribuição de recursos; suporte de decisões, ajudando os gestores na atribuição de fundos; alocação de recursos naturais e determinação de prioridades; classificação de locais: comparação de condições em diferentes locais ou áreas geográficas; cumprimento de normas legais: aplicação a áreas específicas para sintetizar a informação sobre o nível de cumprimento das normas ou critérios legais; análise de tendências: aplicação a séries de dados para detectar tendências no tempo e no espaço; informação ao público sobre os processos de desenvolvimento sustentável; investigação científica: aplicações em desenvolvimentos científicos servindo nomeadamente de alerta para a necessidade de investigação científica mais aprofundada.

Para Sachs (2004), o desenvolvimento sustentável alicerça-se em cinco pilares que compelem a humanidade a trabalhar com múltiplas escalas de tempo e espaço em contraponto a economia convencional. Esses pilares condizem, também, com o trabalho por soluções que sejam vitoriosas tanto no aspecto social quanto ambiental, eliminando externalidades negativas das economias. Esses cinco pilares abrangem as dimensões social, econômica, ambiental, espacial e política:

- Sustentabilidade social: a dimensão social é entendida como a consolidação de um processo de desenvolvimento baseado em um tipo de crescimento diferente do atual. Essa dimensão visa à redução da desigualdade e à distribuição de renda;
- Sustentabilidade econômica: a dimensão econômica deve possibilitar alocação e a gestão mais eficientes dos recursos e por fluxos regulares e equilibrados dos investimentos públicos e privados;
- Sustentabilidade ambiental: contempla os sistemas de sustentação da vida como provedores de recursos e como depósito de resíduos. A dimensão ambiental considera que uso de recursos potenciais dos vários ecossistemas seja efetuado com mínimo dano aos sistemas de sustentação da vida, para propósitos socialmente válidos;
- Sustentabilidade espacial: a concentração populacional excessiva nas áreas metropolitanas tem evidenciado a destruição de ecossistemas frágeis, mas vitalmente importantes, por meio de processos de colonização descontrolada. Por conseguinte, a dimensão espacial é voltada para configuração rural-urbana mais equilibrada, e uma melhor distribuição territorial vinculada a recursos, populações e atividades.

- Sustentabilidade política: a dimensão política considera que uma governança democrática serviria como base e instrumento necessários a decisões voltadas às necessidades do planeta e humanidade.

Diante da importância de mensurar a sustentabilidade, surgem, como questão estratégica, os indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável, sendo essas ferramentas importantes de planejamento para alcançar o desenvolvimento sustentável.

### **2.3.2 Indicadores de Sustentabilidade Energética**

Segundo a *International Atomic Energy Agency* (IAEA), o principal critério para a condução do processo de criação dos indicadores de sustentabilidade era sua capacidade de abordar as questões relacionadas com a energia. Além disso, os indicadores ajudam a avaliar a eficácia das políticas de energia para se efetuar ações sobre o prisma do desenvolvimento sustentável, sendo concebidos como uma ajuda para guiar a implementação de várias ações, e, em particular, integrar a energia nos programas socioeconômicos; combinar mais energia renovável, eficiência energética e tecnologias energéticas avançadas para atender à crescente necessidade de serviços energéticos; aumentar a quota de opções de energia renovável; reduzir a queima e da ventilação do gás; estabelecer programas nacionais em matéria de eficiência energética; melhorar o funcionamento e a transparência da informação nos mercados de energia.

De acordo com IAIE (2007), os indicadores, quando devidamente analisados e interpretados, podem ser ferramentas úteis para a comunicação dos dados relativos à energia e questões de desenvolvimento sustentável para os gestores políticos e ao público. Eles fornecem uma maneira de estruturar e clarificar dados estatísticos para dar melhor visão sobre os fatores que afetam energia, meio ambiente, economia e bem-estar social, pois, ao escolher os combustíveis de energia e as tecnologias associadas para a produção, a entrega e a utilização de serviços de energia, é essencial ter em conta consequências econômicas, sociais e ambientais. Os formuladores de políticas precisam de métodos de medição e avaliação dos efeitos atuais e futuros do uso de energia sobre a saúde humana, a sociedade humana, o ar, o solo e a água.

Trazendo para questão da energia, a utilização de indicadores é uma das metodologias aplicadas na análise da sustentabilidade do setor energético. Acredita-se que, por meio desses, é possível melhor compreender as relações, os movimentos e os resultados das ações. Os indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável representam uma importante

ferramenta de planejamento para alcançar o desenvolvimento sustentável e devem ser capazes de demonstrar o grau de dependência de um região, a localidade, ou estrutura energética, assim como a capacidade de alterar um quadro ou melhorar seus índices, em busca da sustentabilidade. Nesse sentido, é importante enfatizar o desenvolvimento de pesquisas sobre a produção e o consumo de energia com base sustentável.

Diversos autores e instituições elaboraram um conjunto de indicadores para mensurar como as políticas energéticas estão contribuindo com a sustentabilidade energética. Alguns dos trabalhos elaborados sobre indicadores de sustentabilidade tiveram como foco a mensuração da sustentabilidade energética focada para atividade econômica, tais como: Aneel(1999), Afgan (1999); Ised (2001); Bermann (2002), Helio international (2005), Oliveira et al. (2006), Souza (2010) e Borges (2012).

## **ANEEL**

O conjunto de indicadores de sustentabilidade criado pela ANEEL, em 1999, destaca que os indicadores energéticos são instrumentos de comunicação entre tomadores de decisão e o grande público; de informações quantitativas sobre a sustentabilidade de sistemas energéticos; de integração do uso e de redução de desperdícios. Os indicadores apresentados pela ANEEL foram desenvolvidos a partir das diretrizes da Organização Latino-Americana de Energia – (OLADE), em 1996, e podem ser visualizados no (Quadro 1).

<i>DIMENSÃO</i>	<i>INDICADORES</i>
<i>Política</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança no abastecimento</li> <li>• Desconcentração do poder publico</li> </ul>
<i>Econômica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equilíbrio Financeiro</li> <li>• Geração de receitas</li> <li>• Apropriação de renda</li> </ul>
<i>Social</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração de empregos</li> <li>• Desigualdade regionais</li> </ul>
<i>Ambiental</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos sobre meios físico e biótico</li> <li>• Incentivo à energia renovável</li> </ul>
<i>Tecnológica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade e confiabilidade da fonte</li> <li>• Acidentes de Trabalho</li> </ul>

**Quadro 1** - Indicadores de sustentabilidade energética  
Fonte: Adaptado de ANEEL (1999)

O conjunto de indicadores divide-se em aspectos *políticos*: segurança no abastecimento e desconcentração de poder público; *econômicos*: equilíbrio no balanço de pagamentos, apropriação de renda e geração de receitas fiscais; *sociais*: geração de empregos e redução de desigualdades regionais; ecológicos: minimização de impactos sobre o meio ambiente físico e

biótico e máxima valorização de recursos energéticos renováveis; e *tecnológicos*: qualidade e confiabilidade adequadas e minimização de riscos de acidentes.

### **AFGAN et al.**

Os autores selecionam, definem e aplicam um conjunto de indicadores de sustentabilidade para a avaliação do sistema de energia. Iniciando a partir do conceito geral de sustentabilidade, um conjunto de indicadores é definido, e tais autores refletem sobre critérios específicos para a avaliação do sistema de energia. Uma atenção especial é dedicada ao recurso, ao meio ambiente, ao fator social e aos critérios econômicos. Pode-se observar os indicadores do trabalho na (Quadro 2):

<i>DIMENSÃO</i>	<i>INDICADORES</i>
<i>Econômica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência econômica</li> <li>• Capital investido</li> <li>• Contribuição para comunidade</li> </ul>
<i>Social</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração de empregos</li> <li>• Geração de renda</li> <li>• Números de empreendimentos / Potencial instalado</li> </ul>
<i>Ambiental</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de combustíveis na geração de energia</li> <li>• Emissão de dióxido de carbono</li> <li>• Geração de resíduos de cobre</li> <li>• Geração de resíduos alumínio</li> <li>• Consumo de água</li> <li>• Emissão dos GEE</li> </ul>

**Quadro 2** - Indicadores de sustentabilidade energética elaborados pela AFGAN ET AL (1999)  
 Fonte: Adaptado de AFGAN ET AL (1999)

O conjunto de indicadores é definido e determinado com o objetivo de demonstrar o método do procedimento de tomada de decisão. Demonstrou-se, assim, que há a possibilidade de definir um conjunto coerente de indicadores de sustentabilidade para ser utilizado na avaliação do sistema de energia. Sobre tal aspecto, quatro grupos de indicadores foram apresentados, os quais refletem os critérios relacionados aos recursos, ao meio ambiente, e a fatores sociais e econômicos.

### **ISED**

Em 2001, os indicadores de sustentabilidade energética foram elaborados pela Agência Internacional de Energia Atômica, que adotou a abordagem do tipo pressão, estado e resposta desenvolvida pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico

(OCDE), em 1993. Tal abordagem favorece sua utilização, uma vez que possui visão de causalidade das pressões que as atividades humanas exercem sobre o ambiente, modificando a qualidade e a quantidade dos recursos naturais. De acordo com IAEA (2005), é possível destacar uma descrição completa de cada um dos indicadores no conjunto de núcleo EISD, sendo essa concebida para fornecer ao usuário todas as informações necessárias para desenvolvê-los. Com isso, o sistema de indicadores de sustentabilidade energética está dividido em três dimensões: Social, Econômica e Ambiental.

<i>ISED 2001</i>	
<i>DIMENSÃO</i>	<b>INDICADORES</b>
<i>SOCIAL</i>	Acesso à energia
	Percentual da renda gasto com energia
	Consumo de energia
	Acidentes de Trabalho
<i>ECONÔMICA</i>	Consumo de energia per capita
	Intensidade energética
	Eficiência energética
	Total de reserva sobre total produzido
	Total de recursos sobre total produzido
	Intensidade energética <b>industrial</b>
	Intensidade energética na agricultura
	Intensidade energética familiar
	Intensidade energética nos transportes
	Participação de combustíveis na energia
	Geração energia por fontes emissoras de carbono
	Geração de energia por fontes renováveis
	Preço energético
	Dependência energética
	Estoque total de energia
<i>AMBIENTAL</i>	Emissões de gases do efeito estufa (GEE)
	Concentração de poluentes em áreas urbanas
	Descarte de contaminantes em afluentes
	Acidificação do solo
	Taxa de desflorestamento
	Taxa de geração de resíduos por unidade de energia

	Total de resíduos sólidos armazenados adequadamente
	Total de resíduos radioativos por unidade energética
	Total de resíduos radioativos descartados adequadamente

**Quadro 3** –Indicadores de sustentabilidade energética ISED (2001)

Fonte: Adaptado de IAIE (2005)

A dimensão social foi subdividida em dois temas: saúde e equidade, que se divide em acessibilidade e disparidade. Já a dimensão econômica foca na questão dos padrões de produção e consumo, sendo subdividida em: uso geral, produtividade, fontes eficientes, produção, segurança energética e preço, enquanto que a dimensão ambiental se divide entre os temas ar, água e terra, que são divididos em subtemas como mudanças climáticas, qualidade do ar, qualidade da água, qualidade do solo, florestas, geração de resíduos sólidos e seu gerenciamento.

### **BERMANN (2002)**

Bermann (2002), em seu projeto *Proyecto Cono Sur Sustentable: Propuestas De Politicas Energeticas Sustentables Para El Cono Sur*, considera os indicadores como ferramentas necessárias à operacionalização dos propósitos na perspectiva do desenvolvimento sustentável, sendo fundamentais referências no processo decisório. A partir disso, os indicadores propostos por Bermann estão expostos abaixo no quadro.

<b>DIMENSÃO</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>ECONOMICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Independência energética</li> <li>• Relação oferta e demanda energética</li> </ul>
<b>SOCIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices de eletrificação</li> <li>• Carência energética</li> <li>• Renda gasta com energia</li> <li>• Equidade regional</li> <li>• Capacitação recursos humanos</li> </ul>
<b>MEIO AMBIENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissão de GEE</li> <li>• Substituição de energias não renováveis</li> <li>• Impactos locais / regionais</li> </ul>
<b>POLITICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoção da educação ambiental</li> <li>• Participação de órgãos de regulação</li> <li>• Participação da sociedade na tomada de decisão</li> </ul>
<b>TECNOLOGICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de perdas</li> <li>• Eficiência energética</li> <li>• Desenvolvimento de novas tecnologias energética</li> </ul>

- Capacitação tecnológica das indústrias

**Quadro 4** - Indicadores de sustentabilidade energética  
 Fonte: Adaptado de Bermann (2002)

Assim, o autor elabora indicadores que tratam as dimensões: dependência e vulnerabilidade, segurança e qualidade energética, energia e equidade, energia e meio ambiente, energia e democracia e, por fim, energia e potencial de sustentabilidade.

## HELIO INTERNATIONAL

A Helio International, uma rede não-governamental, criada em 1997, em sua análise sobre a sustentabilidade, utiliza um conjunto de oito indicadores divididos em quatro dimensões: ambiental, que apresenta como indicadores os impactos globais (emissões *per capita* de carbono no setor energético) e locais (nível de poluentes locais mais significantes relacionados à energia); social, que aponta como indicadores os domicílios com acesso à eletricidade (percentual de domicílios com acesso à eletricidade), e os investimentos em energia limpa, como incentivo à criação de empregos (investimentos em energia renovável e eficiência energética em usos finais, como um percentual do total de investimentos no setor energético).

### INDICADORES

DIMENSÃO	
<b>ECONOMICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento em energia fóssil</li> <li>• Resiliência energética</li> </ul>
<b>SOCIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acesso à eletricidade</li> <li>• Investimento em energia renovável</li> </ul>
<b>MEIO AMBIENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissão de CO2 per capita</li> <li>• Impactos locais</li> </ul>
<b>TECNOLOGICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidade energética</li> <li>• Desenvolvimento de energias renováveis</li> </ul>
<b>POLITICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participação do Estado</li> <li>• Qualidade de informações sobre energia</li> </ul>

**Quadro 5** - Sustainable Energy Watch (SEW)  
 Fonte: Adaptado de Helio International (2005)

Os pesquisadores dessa rede destacam ainda a necessidade de comparação entre situações anteriores e situações futuras no esforço de avaliar o grau do processo de desenvolvimento socioeconômico, de forma a possibilitar orientações quanto ao processo de tomada de decisão no setor elétrico.

### OLIVEIRA et al. (2006)

Os autores elaboram um conjunto de indicadores na pesquisa intitulada “A Expansão Sustentável do Setor Elétrico Brasileiro a partir do Uso de Indicadores de Sustentabilidade como Instrumento de Apoio à Tomada de Decisão” O conjunto de indicadores apresenta-se no quadro 6:

DIMENSÃO	INDICADORES
ECONOMICA	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investimento específico</li><li>• Índice custo-benefício</li><li>• Percentual de insumos importados</li></ul>
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emprego e renda</li><li>• Nível médio de remuneração</li><li>• Sazonalidade dos empregos</li></ul>
MEIO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emissão de GEE</li><li>• Consumo de água</li><li>• Área ocupada pelo empreendimento</li><li>• Acidificação do solo</li><li>• Percentual de utilização do solo</li></ul>
TECNOLOGICA	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eficiência líquida de geração</li><li>• Disponibilidade média anual</li><li>• Tempo de construção</li><li>• Disponibilização de insumos</li></ul>

**Quadro 6** - Indicadores de sustentabilidade energética  
Fonte: Adaptado Oliveira et al (2006)

Os autores buscaram apresentar uma proposta de metodologia de avaliação integrada de expansão de oferta de energia elétrica, considerando, além de aspectos tecnológicos e econômicos, também aspectos ambientais e sociais. Assim, proposta baseia-se no estabelecimento de um conjunto de indicadores para geração de eletricidade a partir de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), bagaço de cana-de-açúcar, biodiesel, energia eólica, resíduos sólidos urbanos (RSUs) e gás natural.

### SOUZA (2010)

Souza (2010) elaborou um conjunto de indicadores da sustentabilidade energética explicitada na Quadro 7, que foi dividido em cinco dimensões: social, econômica, ambiental, territorial e cultural, conforme observamos abaixo:

DIMENSÃO	INDICADORES
ECONOMICA	<ul style="list-style-type: none"><li>• Relação oferta e demanda energética</li><li>• Aumento de reservas energéticas</li><li>• Independência energética</li><li>• Capacitação Tecnológica da indústria</li><li>• Modicidade tarifaria</li></ul>
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"><li>• Geração emprego e renda</li><li>• Índices de eletrificação</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participação da sociedade na tomada de decisão</li> <li>• Capacitação recursos humanos</li> </ul>
<b>MEIO AMBIENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissão de GEE</li> <li>• Contaminação do solo</li> <li>• Poluição do solo</li> <li>• Perda de biodiversidade</li> <li>• Incentivo a energias renováveis</li> <li>• Promoção educação ambiental</li> </ul>
<b>TERRITORIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equidade regional</li> <li>• Desenvolvimento local</li> <li>• Redução do êxodo rural</li> </ul>
<b>CULTURAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de fontes endógenas</li> <li>• Equilíbrio entre inovação e tradição</li> <li>• Difusão tecnológica</li> </ul>

**Quadro 7** - Indicadores de sustentabilidade energética  
Fonte: Adaptado de Souza (2010)

Tal pesquisa se realizou através da análise de documentos oficiais, da realização de visitas técnicas, das entrevistas com especialistas e das consultas a relatórios de impactos ambientais. A tecnologia eólica foi avaliada sob o prisma de cinco dimensões da sustentabilidade como alternativa para geração de eletricidade, considerando as perspectivas de mudanças climáticas no Nordeste do Brasil.

### **BORGES (2012)**

Por último, foi selecionado, para elaboração do checklist, o trabalho de Borges (2012) o qual elaborou um conjunto de indicadores para sustentabilidade energética, considerando as dimensões econômica, social, ambiental e política. Desta forma, foram analisados nove indicadores, conforme descritos no quadro.

<b>DIMENSÃO</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>ECONOMICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIB/ Consumo energética</li> <li>• Consumo energético / Valor investido</li> <li>• Variação na tarifa elétrica / Valor investido</li> </ul>
<b>SOCIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregos formais / valor investido</li> <li>• Renda média / consumo energético</li> </ul>
<b>MEIO AMBIENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissão de GEE na geração de energia</li> <li>• Rendimento energético / consumo energético</li> </ul>
<b>POLITICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frequência de interrupções / variação da tarifa</li> <li>• Duração de interrupções / variação da tarifa</li> </ul>

**Quadro 8** - Indicadores de sustentabilidade energética  
Fonte: Adaptado de Borges (2012)

A partir dos indicadores de sustentabilidade energética, Cândido e Cavalcanti (2017) propuseram um conjunto de indicadores para mensurar a sustentabilidade energética em geral. Tais indicadores estão listados por dimensão no quadro 9.

**CONJUNTO DE INDICADORES PARA SUSTENTABILIDADE ENERGETICA**

<b>DIMENSÃO</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>SOCIAL</b>	Geração emprego e renda; Sazonalidade dos empregos; Renda média / consumo energético; Acidentes de trabalho; Índices de eletrificação; Carência energética; Capacitação recursos humanos, Renda gasta com energia; Nível médio de remuneração.
<b>ECONÔMICO</b>	PIB/ Consumo energética; Independência energética; Investimento em energia fóssil; Consumo energético / Valor investido; Modicidade tarifaria; Resiliência energética; Variação na tarifa elétrica / Valor investido; Investimento específico; Independência energética; Relação oferta e demanda energética; Índice custo-benefício; Eficiência econômica; Aumento de reservas energéticas; Percentual de insumos importados; Desenvolvimento local ; Equilíbrio Financeiro; Geração de receitas; Apropriação de renda Investimento em energia renovável; Números de empreendimentos / Potencial instalado.
<b>AMBIENTAL</b>	Emissão de GEE na geração de energia; Consumo de água; Taxa de desflorestamento; Rendimento energético / consumo energético; Área ocupada pelo empreendimento; Concentração de poluentes em áreas urbanas; Contaminação do solo; Acidificação do solo; Taxa de geração de resíduos por unidade de energia; Perda de biodiversidade; Percentual de utilização do solo; Descarte adequado de resíduos sólidos; Promoção educação ambiental; Impactos locais; Impactos sobre meio físico e biótico
<b>TECNOLÓGICA</b>	Eficiência líquida de geração; Tempo de construção, Capacitação tecnológica das indústrias; Disponibilidade média anual; Disponibilização de insumos; Redução de perdas; Desenvolvimento de energias renováveis; Qualidade e confiabilidade da fonte.
<b>POLITICA</b>	Frequência de interrupções; Qualidade de informações sobre energia; Segurança no abastecimento; Duração de interrupções, Desconcentração do poder público; Participação de órgãos de regulação; Participação da sociedade na tomada de decisão.
<b>CULTURAL</b>	Equilíbrio entre tradição e inovação; Aumento da confiança da população em energias alternativas
<b>TERRITORIAL</b>	Equidade entre regiões; Diminuição do êxodo rural; Promoção do desenvolvimento local

**Quadro 9** – Checklist de indicadores para sustentabilidade energética.  
Fonte: Cândido e Cavalcanti (2017)

Conforme Cândido e Cavalcanti (2017), destacamos que, após a verificação dos indicadores existentes nos oito trabalhos elencados, foram contabilizados 122 indicadores. Contudo, após realizar a filtragem daqueles que continham a mesma definição, consideramos 62 indicadores de sustentabilidade energética. Tais indicadores foram divididos em sete dimensões social 9 indicadores: ambientais 15 indicadores, econômicos 20 indicadores, tecnológicos 6 indicadores, políticos 7 indicadores, territoriais 3 indicadores e culturais 2 indicadores.

Na análise dos indicadores de sustentabilidade energética, percebemos que, nas dimensões social e ambiental, existe maior simetria, tendo um maior número de indicadores que se repete entre os trabalhos avaliados. Isso demonstra que, para essas dimensões, há uma maior concordância quanto à visão da sustentabilidade energética, enquanto que nas demais dimensões há maior diferenciação em relação aos indicadores propostos para mensurá-las. Logo, isso se deve ao fato de alguns estudos terem escopo territorial ou temporal localizados, no entanto esse fato pode ser positivo de tal modo que se ampliem as dimensões e visões quanto à sustentabilidade energética.

Diante dos principais temas abordados, a energia tem-se mostrado essencial para o desenvolvimento sustentável, pois auxilia o desenvolvimento social e econômico. Todavia, a preferência por fontes convencionais poluidoras de geração de energia tem feito com que essas tragam grandes impactos sobre o meio ambiente nas últimas décadas. Devido a isso, várias pesquisas foram realizadas relacionando energia, desenvolvimento sustentável e indicadores no intuito que houvesse uma avaliação da situação da sustentabilidade energética no mundo e que fosse possível elaborar políticas públicas em busca dessa sustentabilidade na geração de energia.

No Brasil, assim como em outros países, nos últimos anos, há um forte investimento para o crescimento das fontes de geração renováveis. Dentre essas, a energia eólica, por isso é necessário avaliar como essa inserção tem auxiliado para sustentabilidade energética das localidades, através da aplicação de indicadores.

### **3. CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este capítulo apresenta os principais elementos metodológicos relacionados à qualificação e aos procedimentos operacionais da pesquisa.

#### **3.1 Qualificação da pesquisa**

A presente pesquisa tem diversos critérios de qualificação divididos quanto à natureza da pesquisa, os fins e os meios. Vergara (2000) adota critérios de qualificar pesquisa de acordo com seus fins e meios. Diante desse fato, a presente pesquisa se classifica como de caráter **descritiva e exploratória**, sendo que a primeira expõe características de determinada população ou de determinado fenômeno. Pode também estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza. Não possui compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação. A pesquisa de opinião insere-se nessa classificação. Já a segunda, de acordo com Gil (1999), tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, podendo envolver levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado.

Os instrumentos de trabalho dados secundários foram aplicados nos municípios de Rio do Fogo, Macau, Guimarães, João Câmara e Areia Branca, onde houve a implantação de parques eólicos no Rio Grande do Norte. Essa região foi escolhida devido à grande expansão dos parques eólicos nos últimos quatro anos, já que região obteve um maior número de empreendimentos eólicos, portanto, sendo propícia para a investigação dos efeitos da inserção dos parques eólicos no desenvolvimento local e na sustentabilidade energética. Os municípios escolhidos para compor a amostra intencional dessa pesquisa foram definidos por acessibilidade de dados.

#### **3.2 Procedimentos Operacionais**

A primeira etapa para estruturação da pesquisa é a revisão da base teórica relacionada ao tema principal do estudo e aos temas relacionados. Segundo Marconi e Lakatos (1992), a pesquisa bibliográfica é o levantamento de toda a bibliografia já publicada, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. A sua finalidade é fazer com que o pesquisador entre em contato direto com todo o material escrito sobre um determinado assunto, auxiliando na análise de suas pesquisas ou na manipulação de suas informações. Ela pode ser considerada como o primeiro passo de toda a pesquisa científica.

Diante desse fato, foram realizadas buscas nas principais bases de dados nacionais e internacionais, procurando trabalhos relacionados aos temas indicadores de sustentabilidade energética e energia eólica.

Foram encontrados oito trabalhos sobre indicadores de sustentabilidade energética com o propósito voltado para mensuração da atividade energética, a saber: ANEEL (1999), AFGAN (1999); ISED (2001); BERMANN (2002), HELIO INTERNATIONAL (2005), OLIVEIRA et al. (2006), SOUZA (2010) e BORGES (2012). Tais autores estão expostos na fundamentação teórica. A partir dessas pesquisas, foram identificados 134 indicadores, estando estes divididos em sete dimensões. Esses indicadores encontrados passaram por análise, sendo verificados quais os indicadores se repetiam durante os trabalhos, assim como também em qual dimensão eles se encaixavam. Outra questão verificada está relacionada aos indicadores que não se repetiam conforme a nomenclatura, porém, apresentavam seus objetivos ou descrições semelhantes, sendo criado um conjunto de indicadores para sustentabilidade energética em geral.

Na definição de indicadores para sistemas energéticos, é importante levar em consideração as ações da sociedade relacionadas ao uso racional da energia, as fontes de energia disponíveis localmente e que tenham um potencial de uso interessante tecnicamente, avaliando seu rendimento e a alteração ambiental que suas utilizações geram, além de avaliar se economicamente tal exploração é viável. Os indicadores avaliam a situação atual no intuito que uma situação futura mais sustentável seja alcançada, ações de melhoria foram determinadas para a busca da sustentabilidade.

Para a realização da pesquisa, foram selecionados os indicadores de sustentabilidade energética mais compatíveis ao contexto da pesquisa e ao tipo de energia renovável pesquisada, respectivamente os cinco municípios potiguares e o processo de instalação e funcionamento de usinas eólicas nestes municípios. Nesse sentido, foi utilizado um conjunto de 14 indicadores divididos em cinco dimensões, sendo estas: social, econômica, ambiental, tecnológica e territorial.

As dimensões cultural e política foram excluídas da pesquisa, pois necessitavam de coleta de dados primários em cada cidade, com aplicação de entrevistas e questionários, sendo então inviáveis para esta pesquisa devido ao pouco tempo para realização dessas tarefas, o que se tornou, então, a limitação do estudo.

Diante da escolha dos indicadores de sustentabilidade energética para fonte eólica, esses foram justificados e em seguida descritos. As descrições dos indicadores energéticos foram

elaboradas diante de três componentes. O primeiro é composto pela descrição de cada indicador. Em seguida, foi feita uma análise da relação de positividade ou negatividade entre o índice e sustentabilidade e, por último, foi demonstrado quais foram os dados utilizados como critério de avaliação adequado para sustentabilidade energética no âmbito municipal.

Após esta fase de seleção dos indicadores, estes foram aplicados nos cinco municípios que são destaque no Rio Grande do Norte na geração de energia eólica: Areia Branca, Guamaré, João Câmara, Macau e Rio do Fogo, que, juntos, somam um total de 1,16858 GW de energia em operação, de um total de 2,28101 GW em todo o estado (Aneel, 2015). Eles representam, assim, 51,23% do total da capacidade energética de matriz eólica instalada e em operação. Tais indicadores foram transformados em índice e analisados, permitindo então a percepção da real da contribuição da sustentabilidade energética sustentável para os municípios citados.

### **3.3 Variáveis do Estudo**

A seguir, serão apresentadas as variáveis que nortearam a coleta dos dados necessários ao alcance dos objetivos específicos propostos nesta pesquisa. Esses indicadores foram escolhidos considerando os critérios mundiais utilizados para escolha dos indicadores de sustentabilidade, tais como: a) ser significativo para realidade investigada e para enfoque do estudo; b) ser relevante para decisões que orientam políticas públicas; c) refletir as mudanças temporais; d) utilizar variáveis mensuráveis; e) ser de fácil interpretação e comunicação. Além desses critérios, destacamos que o motivo principal para escolha dos indicadores será a disponibilidade de todos os dados para referidos municípios.

#### **3.3.1 Variáveis Sociais**

Os indicadores da dimensão social têm como objetivo avaliar a quantidade dos empreendimentos da cadeia produtiva eólica, que tem contribuído para o desenvolvimento local, o que implica na necessidade de considerar que a expansão da oferta de energia elétrica deve privilegiar aspectos socioambientais.

##### **3.3.1.1 Geração de emprego**

A geração de energia elétrica é uma atividade de capital intensivo e não tem como característica intrínseca a geração de empregos. No entanto, com vistas ao desenvolvimento

sustentável, todas as oportunidades de geração de empregos e distribuição de renda devem ser potencializadas.

Os empregos gerados pela energia eólica e outras energias renováveis são classificados em três categorias, de acordo com características de volume de empregos gerados: localização, natureza temporal e nível de especialização. A primeira categoria se refere aos empregos gerados no processo de desenvolvimento tecnológico, e incluem P&D e fabricação de equipamentos. A segunda categoria se refere aos empregos gerados na instalação e descomissionamento de usinas e inclui planejamento, gestão de projetos, transporte e construção de usinas. A terceira categoria refere-se às atividades de operação e manutenção (O&M) e compreende, além dos próprios serviços de O&M da usina, a geração e distribuição de energia (SIMAS;PACCA,2013).

Além do número de empregos gerados, é importante destacar a avaliação de que, para a energia eólica, cerca de 60% dos empregos gerados estão relacionados à fabricação de aerogeradores, logo, a localização das indústrias é de grande importância. Isso significa que, para uma maior efetividade na geração de empregos, deve-se incentivar a implantação das fábricas de aerogeradores no local. Consequentemente, faz-se necessária a avaliação da contribuição do setor eólico na geração de emprego e renda.

### **3.3.1.2 Rendimento Médio**

A geração de empregos no setor da energia eólica segue duas abordagens. A primeira diz respeito à busca por inovação que, ao trazer o desenvolvimento tecnológico para o nível regional, cria empregos estáveis e de alta qualificação. A segunda abordagem apontada é o investimento em capacitação para aumentar o número de trabalhadores locais em instalação e descomissionamento, com o fim de diminuir a quantidade de trabalhadores trazidos de outros estados, regiões e países.

Ao mesmo tempo, em razão de grande parte dos empregos gerados pela energia eólica ser de caráter temporário, ou seja, no momento inicial do projeto, deve-se implementar políticas para aumentar ou pelo menos manter o volume de projetos instalados a cada ano. Então, é necessário avaliar a qualidade dos empregos que estão sendo levados a esses municípios. Para isso, foi avaliado como tem se comportado o rendimento médio dos habitantes desses municípios que tiveram empregos do setor eólico, para que se possa perceber qual a real contribuição desse setor na renda.

### 3.3.1.3 Residências com eletricidade

Os serviços energéticos comerciais são cruciais ao fornecimento de alimentação, adequada, abrigo, água, saneamento, assistência médica, educação e acesso à comunicação. Falta de acesso a serviços modernos de energia contribui para pobreza e privação, e limita o desenvolvimento econômico. Além disso, adequado, serviços de energia a preços acessíveis e confiáveis são necessárias para garantir o desenvolvimento econômico e humano (IAIE,2005). Portanto, se faz necessário a mensuração do acesso à energia e de que forma a fonte eólica tem contribuído para tal acesso.

### 3.3.1.4 Percentual de renda gasto com energia

Este indicador é importante para que se possa examinar rendimento, patrimônio e, em especial, acessibilidade de serviços energéticos. Um país pode ter produto interno bruto (PIB) *per capita* elevado, mas a sua distribuição de renda pode ser tão enviesada que uma grande percentagem da população não tem possibilidade de satisfazer as suas necessidades domésticas de energia comercial aos preços atuais praticados e níveis de renda privadas.

Portanto, há uma necessidade de diminuir a carga de despesas de eletricidade nos orçamentos das famílias para os grupos de renda mais baixa da população nos países em desenvolvimento, de modo a promover o desenvolvimento social e econômico (IAIE,2005). A energia eólica deve ser utilizada como principal fonte complementar, ao invés das termelétricas, que têm alto valor econômico e ambiental. Logo, a fonte eólica surge como possibilidade de expansão da energia a preços relativamente baixos, principalmente se for considerada em longo prazo.

## CONJUNTO DE INDICADORES DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA PARA ENERGIA EÓLICA: DIMENSÃO SOCIAL

Indicador	Descrição	Relação com a sustentabilidade energética	Coleta de dados	Critério de Avaliação
<b>Geração de emprego nos municípios</b>	Este indicador avalia quanto o setor energético está colaborando com geração de emprego da população.	Positivo (à medida que o índice cresce colabora positivamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Saldo de empregos gerados / população economicamente ativa durante o período de 2007 a 2015
<b>Rendimento Médio</b>	Este indicador tem o objetivo de monitorar o	Positivo (à medida que o índice cresce	Dados secundários	Razão entre variação percentual

	progresso da renda média após instalação dos parques eólicos	colabora positivamente para sustentabilidade energética).		de admissões e demissões de 2007 ate 2015
<b>Residências com eletricidade</b>	Este indicador tem o objetivo de monitorar o progresso na acessibilidade e a disponibilidade do serviço de energia elétrica	Positivo (à medida que o índice cresce colabora positivamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Porcentagem de residências com eletricidade
<b>Rendimento familiar gasto em eletricidade</b>	Este indicador fornece uma medida da acessibilidade da energia para o agregado familiar médio e para o segmento mais pobre das famílias.	Negativo (quanto menor a porcentagem maior será nível de sustentabilidade energética).	Dados secundários	Este indicador corresponde aos gastos domésticos totais em energia elétrica divididos pelo rendimento médio disponível.

**Quadro 10** – Dimensão social dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica

Fonte: Elaboração própria

Tais variáveis tiveram a utilização de dados secundários do Programa de Disseminação de Estatísticas do Trabalho – (PDET) e Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda – (ISPER), como também há utilização de dados da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

### 3.3.2 Variáveis Econômicas

A economia em países desenvolvidos precisa ter um abastecimento energético viável e adequado. Então, para se desenvolver, os países precisam garantir isso como um pré-requisito para a industrialização. Todos os setores da economia - residencial, comercial, transporte, serviços e agricultura – demandam serviços modernos de energia. Diante desses fatos, apresentamos os indicadores selecionados para mensurar a sustentabilidade energética na dimensão econômica.

#### 3.3.2.1 Arrecadação de Imposto

O potencial eólico é passível de aproveitamento em diferentes áreas do País, especialmente ao longo do litoral, com destaque para a região Nordeste. Trata-se de uma fonte de energia estratégica para esta região, que tem grande intensidade de ventos cujo potencial hidroelétrico já é significativamente utilizado. As áreas onde os parques eólicos são implementados são usualmente regiões pouco desenvolvidas, sendo a atividade importante para desenvolver a localidade, pois, a partir de uma maior arrecadação municipal, é possível o investimento do setor público em áreas essenciais e carentes em municípios do interior

nordestino, tais como saúde e educação. A partir dessas questões, é fundamental a mensuração dessa variável para efetuar análise da sustentabilidade energética da fonte eólica.

### 3.3.2.2 Reservas energéticas

A fonte eólica apresenta-se como alternativa para o aumento da oferta de energia elétrica em função da demanda e para o incremento das reservas energéticas em relação à produção total de energia, uma vez que há significativo potencial a ser explorado, podendo haver rápido crescimento, pois a fonte eólica possui rápida implantação, possibilita a ampliação em módulos de acordo com a necessidade, como também não são identificados significativos entraves ambientais.

Porém, a impossibilidade de armazenamento do vento limita o potencial a ser explorado para geração de energia elétrica. Diante dessas afirmações, a mensuração da contribuição da fonte eólica no aumento das reservas energéticas é importante.

### 3.3.2.3 Desenvolvimento Comercial dos Municípios

A presença de projetos de energias renováveis em áreas rurais, especialmente em áreas que carecem de desenvolvimento econômico e comercial, pode trazer diversos benefícios para a comunidade. Características socioeconômicas de muitas regiões, como alto desemprego, falta de alternativas de desenvolvimento econômico e altas taxas de migração da população economicamente ativa, fazem que seja vantajoso o investimento nessas tecnologias. Com isso, a partir da importância da variável para avaliação dos impactos que os empreendimentos eólicos no desenvolvimento de forma local, notamos a necessidade da mensuração deste indicador.

## CONJUNTO DE INDICADORES DA SUSTENTABILIDADE ENERGETICA PARA ENERGIA EOLICA: DIMENSÃO ECONOMICA

Indicador	Descrição	Relação com a sustentabilidade energética	Coleta de dados	Critério de Avaliação
<b>Arrecadação de Imposto</b>	Este indicador avalia como as instalações eólicas auxiliam no desenvolvimento dos municípios em forma de arrecadação de impostos.	Positivo (à medida que o índice cresce colabora positivamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Evolução dos impostos sobre arrecadação do PIB em municípios com empreendimentos eólicos.

<b>Reservas energéticas</b>	Este indicador avalia a contribuição da energia eólica para as reservas energéticas.	Positivo (à medida que aumenta o índice influencia de maneira positiva a sustentabilidade energética)	Dados secundários	Percentual da energia eólica na matriz energética.
<b>Desenvolvimento Comercial dos municípios</b>	Este indicador avalia a contribuição do empreendimento eólico no desenvolvimento do comércio municipal.	Positivo (à medida que aumenta o índice influencia de maneira positiva a sustentabilidade energética)	Dados secundários	Número de empreendimentos comerciais antes e após instalação do empreendimento eólico.

**Quadro 11** – Dimensão econômica dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica

**Fonte:** Elaboração própria

Para realizar a coleta de dados, foram utilizados dados secundários, a partir da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), do Ministério de Minas e Energia (MME), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica).

### 3.3.3 Variáveis Ambientais

A dimensão ambiental está relacionada a possíveis impactos que venham a existir com a implantação de empreendimento energético, em especial da fonte eólica. Apesar de a energia eólica ser considerada uma energia limpa, fez-se necessário mensurar os impactos ambientais que são decorrentes da instalação da cadeia produtiva eólica, já que, para que haja a sustentabilidade energética, é preciso obedecer aos critérios de um ambiente sustentável.

#### 3.3.3.1 Taxa de Desmatamento

Na fase de implantação do empreendimento eólico, há interferências na vegetação e na flora. As atividades de mobilização do canteiro de obras, limpeza do terreno e movimentação de terra resultam em remoção da vegetação. O aumento do tráfego de veículos forma poeira, que pode causar danos à vegetação próxima, pois tende a adquirir uma camada de poeira nas folhas, comprometendo a fotossíntese. Diante desses fatos, tornou-se importante a mensuração dos impactos a flora, por meio desse indicador.

### 3.3.3.2 Impacto com Ruídos

Na operação dos parques, há emissão de ruído (de baixa frequência). Os ruídos ocorrem devido ao funcionamento mecânico e ao efeito aerodinâmico. A percepção do ruído depende de características locais, como topografia, nível de urbanização e tipo de comunidade afetada (residencial, comercial, industrial). O desenvolvimento de tecnologias, ao longo dos últimos anos, na aerodinâmica das pás e nas partes mecânicas críticas, principalmente na caixa de engrenagem (parte responsável pela alta rotação do gerador na turbina), tornou possível o surgimento de turbinas eólicas com reduzidos níveis de ruído. A tecnologia atual mostra que é possível a construção de turbinas eólicas com níveis de ruído aceitáveis (MME & EPE, 2007). No entanto, como a implantação da energia eólica é recente, há necessidade de mensurar esse impacto auditivo, para que, no futuro, seja possível mensurar os reais impactos dos ruídos na audição dos moradores de localidades próximas aos parques eólicos.

### 3.3.3.3 Área ocupada pelo empreendimento

Ocupação de área para implementação do projeto eólico é possível que haja desmatamento, perda de biodiversidade, assim como também perturbação da fauna, resultando em possível perda de habitat. Diante disso é importante analisar a relação à área ocupada pelo empreendimento e os impactos, onde quanto maior a área do empreendimento, maiores poderão ser os impactos ambientais gerados pelo empreendimento sendo necessário a mensuração da área do empreendimento eólico para analisar a em decorrência dos impactos ambientais em decorrência do empreendimento.

#### CONJUNTO DE INDICADORES DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA PARA ENERGIA EÓLICA: DIMENSÃO AMBIENTAL

Indicador	Descrição	Relação com a sustentabilidade energética	Coleta de dados	Critério de Avaliação
<b>Desmatamento</b>	Este indicador avalia o nível de supressão vegetal que os empreendimentos eólicos trouxeram para região.	Negativo (o crescimento da supressão vegetal colabora negativamente com a sustentabilidade energética)	Dados secundários e Documentos (estudos de impactos ambientais)	Área km <sup>2</sup> de supressão vegetal após instalação empreendimentos energéticos.

<b>Emissão de ruído</b>	Este indicador mede os níveis de ruído, que diminuem à medida que aumenta a distância entre turbinas eólicas e são mais comumente expressos em dB (A).	Negativo (à medida que o ruído aumenta, aumenta o impacto socioambiental, colaborando negativamente com a sustentabilidade energética).	Dados secundários	Decibéis medidos na escala A de compensação do aparelho medidor (decibelímetro).
<b>Área Ocupada pelo empreendimento</b>	Este indicador avalia como a área ocupada pelo empreendimento afeta a flora, fauna e dinâmica social da comunidade.	Negativo (a maior área ocupada pelo empreendimento colabora negativamente com a sustentabilidade energética)	Dados secundários e documentos	Área km <sup>2</sup> ocupada após instalação empreendimentos energéticos.

**Quadro 12** – Dimensão ambiental dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica

**Fonte:** Elaboração própria

Tais variáveis serão extraídas de dados secundários do Estudos de Impactos Ambientais (EIA/RIMA), também haverá utilização de dados primários para os indicadores (impactos visuais, emissão de ruídos). O primeiro foi através de observação do pesquisador e entrevista, já emissão de ruído foi mensurada através de entrevistas.

### 3.3.4. Variáveis Tecnológicas

Para possibilitar uma expansão sustentada das eólicas como fonte complementar no parque gerador nacional, é necessário o estabelecimento de ações para internalização da tecnologia. Essa pode ser uma forma de potencializar ainda mais os seus benefícios, reduzindo custos com transporte dos equipamentos. Essa dimensão também exprime uma relação de proporcionalidade direta com eficiência e disponibilidade (ou seja, maximiza a geração e o aproveitamento de recursos), sendo indiretamente proporcional ao tempo de construção.

#### 3.3.4.1 Evolução Tecnológica

O comércio das turbinas eólicas no mundo se desenvolveu rapidamente em tecnologia e tamanho durante os últimos 15 anos. Os aerogeradores tiveram um impressionante desenvolvimento do tamanho e da potência de turbinas eólicas desde 1985. Atualmente, há uma grande variedade de tipos e modelos disponíveis no mercado. De acordo com a potência

dos aerogeradores, haverá a possibilidade de um parque eólico gerar mais energia em menor área, fazendo com que haja menores impactos ambientais.

### 3.3.4.2 Custo Marginal

O custo de uma tecnologia ao longo do tempo é a mais importante medida de desempenho e, desta forma, ações diretamente focadas na otimização dos processos industriais e na criação e manutenção de um nicho de mercado temporário e gradativamente reduzido, possibilitam que, através do primeiro passo, a tecnologia possa superar a barreira dos altos custos iniciais e assim, ao longo do tempo, adquirir o desenvolvimento tecnológico necessário para uma redução real e sustentável dos custos. Por tanto se faz necessário a mensuração dos custos para instalação do parques eólicos.

### 3.3.4.3 Eficiência de Geração por Área

A tecnologia da energia eólica é hoje madura e amplamente disseminada. Conseqüentemente, o aproveitamento dessa energia apresenta uma escala significativa em termos de geração, eficiência e competitividade sustentável ao nível do setor elétrico e da indústria. É de realçar que, no final da década de 1980, a capacidade dos aerogeradores era da ordem dos 300 kW e atualmente já existem modelos de 7,5 kW. Portanto, faz-se necessário avaliar a eficiência dos parques eólicos implantados no Rio Grande do Norte. Para isso, foi preciso mensurar a relação entre capacidade instalada e área dos empreendimentos eólicos, pois uma geração, para ser sustentável, deve gerar o máximo de energia possível em menor área, assim minimizando os impactos ambientais.

## CONJUNTO DE INDICADORES DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA PARA ENERGIA EÓLICA: DIMENSÃO TECNOLÓGICA

Indicador	Descrição	Relação com a sustentabilidade energética	Coleta de dados	Critério de Avaliação
<b>Evolução tecnológica</b>	Este indicador avalia desenvolvimento da eficiência das turbinas eólicas.	Positivo (à medida que o índice cresce colabora positivamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Potência dos aerogeradores instalados .

<b>Custo Marginal</b>	Um mercado competitivo tem a possibilidade de reduzir seus preços/custos.	Negativo (à medida que o índice cresce, colabora negativamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Comparação dos custos com passar dos anos
<b>Eficiência de Geração por Área</b>	Este indicador avalia a relação entre a capacidade de geração e a área ocupada pelo empreendimento.	Positivo (à medida que o índice cresce colabora positivamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Capacidade instalada / área do empreendimento

**Quadro 13** – Dimensão Tecnológica dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica

**Fonte:** Elaboração própria

Essas variáveis foram coletadas dos dados secundários da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), do Centro de Estratégias em Recursos Naturais & Energia (CERNE) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), como também da obtenção de informações através de dados primários coletados das entrevistas que foram realizadas.

### 3.3.5 Variáveis Territorial

A dimensão territorial busca analisar questões que envolvam o homem, a localidade e o desenvolvimento. Nessa última dimensão, se destacam as variáveis do desenvolvimento equitativo das regiões, assim como a diminuição do êxodo rural. Dentre algumas questões estratégicas para o desenvolvimento do país, duas são de fundamental importância: o desenvolvimento igualitário das regiões para que não haja excesso demográfico em certas regiões e o processo de urbanização, que vem afastando o homem do campo. Com isso, faz-se necessário implementar políticas que venham incentivar a fixação do homem no campo.

#### 3.3.5.1 Êxodo Rural

Maior efetividade na geração de empregos e promoção do desenvolvimento local na região rural faz com que haja fixação do homem no campo e diminuição do êxodo rural. Por conseguinte, os incentivos à geração de energia eólica, aliados à influência das políticas locais e exploração do potencial para desenvolvimento local, apresentam-se como alternativa de fixação do homem distante dos grandes complexos urbanos. Diante desse evento, é

importante analisar se de fato a implantação dos parques eólicos tem sido importante para diminuição do êxodo rural.

#### CONJUNTO DE INDICADORES DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA PARA ENERGIA EÓLICA: DIMENSÃO TERRITORIAL

Indicador	Descrição	Relação com a sustentabilidade energética	Coleta de dados	Critério de Avaliação
<b>Êxodo Rural</b>	Este indicador avalia como a energia eólica auxilia para a diminuição do êxodo rural	Positivo (à medida que o índice cresce colabora negativamente para sustentabilidade energética).	Dados secundários	Números de trabalhadores em área rural antes e após instalação do parque eólico.

**Quadro 14** – Dimensão Tecnológica dos indicadores da sustentabilidade energética para energia eólica

**Fonte:** Elaboração própria

Tais variáveis utilizaram dados secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda – ISPER.

Como os indicadores apresentam diversas unidades de medida, estas serão transformadas em índices, possibilitando assim a agregação nas respectivas dimensões dos indicadores energéticos, para estimação do Índice de sustentabilidade energética (ISE). Para tanto, foi utilizado o biograma, o qual normaliza um conjunto de variáveis que possuam critérios e parâmetros de avaliação diversos em um único padrão, neste caso, transforma indicadores em índices. Para análise das variáveis, conforme o contexto de suas relações com a sustentabilidade, o procedimento ajusta os valores das variáveis numa escala com variações cujo valor mínimo é 0 (zero) e o máximo é 1. Assim, os índices apresentarão valores com variações entre 0 – 1. Tal ajuste ocorre através da análise do comportamento do indicador quanto às implicações positivas ou negativas do seu crescimento para a sustentabilidade energética (MARTINS E CANDIDO, 2008).

Neste sentido, a variável apresentou **Relação positiva** quando a medida que o valor do indicador crescer, que influencia positivamente a sustentabilidade energética, enquanto a **Relação negativa** se deu à medida que o indicador crescia e contribuía de forma negativa para a sustentabilidade energética.

Após identificar as relações positivas e negativas das variáveis com a sustentabilidade energética, a operacionalização para o cálculo do índice é feita a partir das fórmulas a seguir:

Relação Positiva:  $I = (x-m) / (M-m)$  ;

Relação Negativa:  $I = (M-x) / (M-m)$

Onde:

I = índice calculado para cada município

x = valor de cada variável em cada município

m = valor mínimo identificado nessas localidades

M = valor máximo identificado nessas localidades

Após a transformação das variáveis em índices, foi realizada a agregação desses índices por dimensões, através da média aritmética, chegando ao ISE social, ISE econômico, ISE ambiental, ISE tecnológico, ISE político e ISE territorial dos municípios escolhidos no Rio Grande do Norte. O ISE final foi calculado através de média aritmética dos ISE das dimensões.

Para representação desses índices referentes a cada variável, ao ISE das dimensões e ISE final, foi utilizado um conjunto de cores correspondente aos níveis de sustentabilidade energética explicitados para cada localidade. O quadro 16 abaixo mostra a classificação e a representação dos índices (variação 0 a 1), conforme escala definida:

ÍNDICE (0 – 1)	COLORAÇÃO	NÍVEL DE CONTRIBUIÇÃO
0,0000 – 0,2500		CRÍTICA
0,2501- 0,5000		BAIXA
0,5001- 0,7500		MÉDIA
0,7501- 1,0000		ALTA

**Quadro 15:** Classificação dos índices em níveis de sustentabilidade energética

**Fonte:** Martins e Candido (2008)

Diante dessa classificação, os índices de sustentabilidade energética com valores entre 0,0000 – 0,2500 revelam um nível crítico de sustentabilidade energética; os índices com valores entre 0,2501- 0,5000 revelam um nível de sustentabilidade energética em alerta; os índices com valores entre 0,5001- 0,7500 indicam uma situação aceitável; e, por último, os índices com valores entre 0,7501- 1,0000 revelam um nível ideal de sustentabilidade energética.

### 3.4 Coleta e Tratamento dos dados

Como forma de coleta e tratamento de dados relacionados ao conjunto de variáveis anteriormente indicados, foram elaborados e ajustados instrumentos de coleta de dados primários junto aos atores sociais da atividade eólica da região do litoral do Rio Grande do Norte, bem como foram utilizadas técnicas qualitativa e quantitativa para análise dos dados coletados. Também utilizamos dados secundários de: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Programa de disseminação de estatísticas do trabalho – (PDET), Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda – (ISPER), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e Eletrobras, Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica) e Centro de Estratégias em Recursos Naturais & Energia (CERNE). Os instrumentos de coleta de dados adotados neste trabalho são descritos no quadro a seguir:

<i><b>INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS</b></i>	<i><b>UNIVERSO PESQUISADO</b></i>
<b>Dados Secundários</b>	Informações quantitativas dos indicadores obtidas em órgãos públicos e não públicos
<b>Documentos</b>	Documentos referentes à legislação ambiental, artigos e estudos de cunho científico, econômico e socioambiental.

**Quadro 16** - Instrumento de coleta de dados

**Fonte:** Elaboração própria

Seguindo uma linha de análise do tipo estrutura-conduta-resultado, foi utilizada a técnica de triangulação de dados, notadamente entre os dados primários, os dados secundários e a observação não-participante, para buscar balizar a análise empírica da relação entre a sustentabilidade energética e a sustentabilidade local.

#### **4. CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A partir dos objetivos propostos serão apresentados os resultados, assim como serão discutidos alguns fatores que podem ter contribuído para tais resultados. Com isto, nesse tópico será apresentada como se deu a inserção da energia eólica no Rio Grande do Norte e os municípios do estado que foram estudados. Após essa contextualização, serão apresentados os resultados dos Índices de energética para cada indicador e para cada dimensão.

##### **4.1 Inserção da Energia Eólica no Rio Grande do Norte**

O Estado do Rio Grande do Norte destaca-se no setor eólico porque possui um potencial eólico importante em áreas que podem ser aproveitadas para a geração de eletricidade, a partir de fonte eólica, no litoral potiguar e no semiárido. Esse potencial foi constatado a partir da iniciativa da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN) em parceria com a Iberdrola Empreendimentos do Brasil S.A (IBENBRASIL), a quais, a partir da instalação de 8 torres de 48 metros de altura, obtiveram informações sobre as possíveis velocidades médias e máximas dos ventos. A partir dessa prospecção, constatamos que o clima do estado é propício para a geração de eletricidade por fonte eólica, destacando-se por apresentar uma zona de predomínio de ventos alísios, atuantes na escala planetária, o que resulta em ventos com significativa constância (COSERN, 2003), principalmente nos meses entre agosto e novembro – final de inverno e primavera, quando a velocidade média, considerando torres a 50 metros de altura, se situa entre 7,5 m/s e 9,5 m/s na faixa litorânea.

A potencialidade de vento, para efeito de geração de eletricidade, é um aspecto relevante capaz de atrair investidores para a região. Esse aspecto foi comprovado a partir inicialmente do PROINFA e, posteriormente, com as contratações dos leilões, nas quais o Rio Grande do Norte se destacou entre os Estados com maiores números de projetos vencidos, de acordo com Macedo (2015). Segundo esse autor, o Rio Grande do Norte obteve uma contratação de 3.402 MW, o que equivale a 32,4% de participação do RN no total de projetos contratados no Nordeste, ou 27,7% no total de projetos contratados no Brasil, o primeiro no ranking dos estados beneficiados com a contratação de energia eólica, estando à frente de estados como a Bahia, com 3.245 MW, Ceará, com 1.839 MW, e Pernambuco, com 811,7 MW.

No período de 2009 a junho de 2014, o Rio Grande do Norte obteve 126 projetos contratados, ou 31% do número total de projetos contemplados no Nordeste. Tal fato fez com

que o Rio Grande do Norte seja um dos estados entre os que mais cresceram em relação à geração de eletricidade.

	2011	2012	2013	2014	2015	$\Delta\%$ (2015/2014)	Part. % (2011)	Part. % (2015)
<b>Nordeste</b>	<b>66.971</b>	<b>76.412</b>	<b>79.856</b>	<b>96.449</b>	<b>94.253</b>	<b>-2,3</b>		
Maranhão	1.943	3.621	11.181	15.972	13.781	-13,7	2,90%	14,62%
Piauí	742	723	731	990	1.444	45,8	1,11%	1,53%
Ceará	2.578	4.425	10.396	15.957	16.519	3,5	3,85%	17,53%
Rio Grande do Norte	1.587	2.920	3.756	7.011	10.546	50,4	2,37%	11,19%
Paraíba	389	1.010	1.854	3.434	3.356	-2,3	0,58%	3,56%
Pernambuco	7.707	8.395	9.733	12.712	11.032	-13,2	11,51%	11,71%
Alagoas	18.747	19.325	13.029	11.374	10.052	-11,6	27,99%	10,66%
Sergipe	9.670	10.177	6.760	5.896	5.233	-11,2	14,44%	5,55%
Bahia	23.608	25.816	22.416	23.103	22.289	-3,5	35,25%	23,65%

**Quadro 17** – Geração elétrica da região Nordeste (GWh)

**Fonte:** Adaptado da EPE – empresa de pesquisa energética (2016)

Como demonstrado no quadro acima, o estado do Rio Grande do Norte obteve um crescimento significativo entre os anos de 2011 e 2015, nos quais a geração passou de 1587 GWh para 10546 GWh. Atualmente, essa geração equivale a 11,19% da geração na região Nordeste, que era de 2,37 % em 2011. Esse crescimento da geração se deve em grande parte aos projetos da energia eólica (ver quadro 19).

<b>Empreendimentos em Operação</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>%</b>
Central Geradora Eólica	119	3.206.556	85,99
Central Geradora Solar Fotovoltaica	2	1.105	0,03
Usina Termelétrica	32	521.539	13,99
<b>Total</b>	<b>153</b>	<b>3.729.200</b>	<b>100</b>
<b>Empreendimentos em Construção</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>%</b>
Central Geradora Eólica	19	501.000	100
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>501.000</b>	<b>100</b>
<b>Empreendimentos com Construção não iniciada</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>%</b>
Central Geradora Eólica	38	918.400	81,68
Central Geradora Solar Fotovoltaica	7	206.000	18,32
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>1.124.400</b>	<b>100</b>

**Quadro 18** : Empreendimentos de geração elétrica no Rio Grande do Norte

**Fonte:** BIG- Banco de informações de Geração (2016)

Ao analisar o quadro 19 acima, notamos que, dos 153 empreendimentos energéticos em operação no estado do Rio Grande do Norte, 119 são empreendimentos eólicos que participam de 85,99% da geração elétrica do estado potiguar atualmente. Já entre os empreendimentos em construção ou outorgados, mas com construção ainda não iniciada, 89,06 % são de empreendimentos eólicos.

Dentro desse cenário da inserção da energia eólica no Rio Grande do Norte, alguns municípios se destacaram por serem os pioneiros ou por terem melhor estrutura para instalação dos empreendimentos eólicos. Dentre esses municípios, esta pesquisa trabalhará com Rio do Fogo, Macau, Areia Branca, Guamaré e João Câmara, que tiveram implantação de parques eólicos desde 2008, sendo que em alguns municípios, como Rio do Fogo e João Câmara, ainda serão instalados outros empreendimentos eólicos nos próximos anos.



**Imagem 1** – Mapa com Localização dos municípios pesquisados

Fonte: Elaboração própria

#### 4.1.1 Rio do Fogo

O município de Rio do Fogo, é um dos mais jovens dentre os 167 que integram o território do Estado do Rio Grande do Norte. Emancipado em 1995 do município de Barra de Maxaranguape, através de um plebiscito realizado em 17 de setembro, data histórica para os moradores, foi criado através da lei estadual nº 6842, de 21 de dezembro de 1995 e instalado em 1º de janeiro de 1997. Faz divisa ao norte com Touros, ao sul com Barra de Maxaranguape, a oeste com o Oceano Atlântico e a leste com o município de Pureza. O território é dividido em seis distritos, sendo três litorâneos: Praias de Pititinga, Zumbi e Rio do Fogo (sede); e os interioranos: Punaú, Catolé e Canto Grande. O município possui uma população de 10830 pessoas, distribuídas em uma área total de 150.262 km<sup>2</sup>. 45% dessa

população vivem na zona urbana, enquanto que 65% vivem na zona rural. As principais atividades econômicas são advindas da agropecuária, da pesca e do turismo.

A inserção da energia eólica no município de Rio do Fogo iniciou-se através do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com a implantação do parque eólico Rio do Fogo, no ano de 2006, com 62 aerogeradores com capacidade 800 Quilo Watts (KW), gerando ao todo 49,3 Mega Watts (MW). O parque está dividido em um área de 860 hectares sobre área de dunas e vizinha ao assentamento do Inca /RN, em Zumbi.

Os aerogeradores são interligados por um circuito de média tensão, que remete a energia a uma subestação elevadora. Em seguida, a energia segue através de linhas de conexão para subestação de Extremoz a 55 Km de distância. O parque eólico teve um investimento na ordem de 209 milhões de reais, sendo parte desse dinheiro financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e outra por recursos próprios da Enerbrasil (Energias Renováveis Brasil LTDA), controlada pelo Grupo Iberdrola (TRIBUNA DO NORTE, 2006).

O segundo parque eólico instalado no município de Rio do Fogo foi a Central Geradora Eólica Arizona 1, em 2013. Esta possui uma capacidade instalada de 28 MW, divididos em 14 aerogeradores com capacidade de 2 MW cada. A proprietária do parque é a Arizonal Energia Renovável S.A., uma Sociedade de Propósitos Específicos (SPE), constituída especificamente para construir e operar a central geradora eólica proposta. Os principais acionistas da SPE são a Neoenergia (50%) e a Iberdrola Renovables S.A. (48%).

Atualmente, existem mais três parques eólicos que serão construídos no município de Rio do Fogo: as centrais eólicas que serão a Valencia 1, Valencia 2 e Valencia 3 têm como proprietária RVER Empreendimentos LTDA, sendo esta vencedora de leilões junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

#### **4.1.2 Macau**

O município de Macau está localizado Subzona Salineira do Rio Grande do Norte, situado na várzea terminal do Rio Piranhas Açu. Esse município faz divisa: ao norte com o Oceano Atlântico; Ao sul com o município de Macau e limita-se com os municípios de Pendências, Afonso Bezerra e Alto do Rodrigues; ao leste com Guamaré e Pedro Avelino; e ao oeste com Carnaubais e Porto do Mangue. No dia 2 de outubro de 1847, de acordo com a Lei nº 158, desmembrando-se de Angicos, tornou-se município do Rio Grande do Norte.

Emancipou-se em 09/09/1875, Lei nº 761. O município possui uma população de 31.594 pessoas residindo em uma área 788.036 km<sup>2</sup>. Destas, 70% residem em área urbana, enquanto que 30% residem na zona rural. Macau é o centro das maiores salinas do país, o que constitui um espetáculo indescritível à visão, localizadas às margens dos rios Açú e Conceição, assemelham-se a dunas de sal. Além das atividades econômicas advindas das salinas, Macau possui também atividades turísticas.

Macau foi considerado o terceiro município na instalação centrais eólicas no Rio Grande do Norte. O seu parque eólico foi fundado em 2004, com a primeira usina eólica implantada pela Petrobras no Rio Grande do Norte. O campo de produção possui três aerogeradores com potência de 600 kilowatts cada. A energia total gerada neste empreendimento é de 1.8 megawatts de potência. A energia produzida é utilizada pela Petrobras, a qual, através de um cabo elétrico submarino, é transferida para duas plataformas.

O segundo parque eólico do município entrou em operação no ano de 2014. Empreendimento da Brasventos Miassaba III Geradora de Energia, esse parque eólico possui 41 aerogeradores com potência de 1,65 MW cada, gerando no total 68 MW de potência instalada, divididos em uma área de 100 hectares.

### **4.1.3 Areia Branca**

A exuberante cidade de Areia Branca está localizada na região da Costa Branca, no Estado do Rio Grande do Norte, a 327 km da capital Natal, com uma população de 27.176 habitantes. O principal meio de acesso é rodoviário, através da BR 110, distante apenas 47 km de Mossoró-RN e 287 km de Fortaleza-CE. Chega-se a essa cidade também por via fluvial, através do Rio Apodi-Mossoró, por meio de lanchas e balsas que transportam veículos e passageiros. Areia Branca faz parte do Pólo Turístico Costa Branca, que é composto por 17 municípios que buscam o desenvolvimento do turismo sustentável e viável, valorizando suas paradisíacas praias e a beleza ímpar nas cidades do interior do Rio Grande do Norte.

A base de sustentação econômica do município está na extração de sal marinho, na prospecção petrolífera e na pesca. Produto ligado às origens do município, o sal é sumariamente importante para a sua economia, possui o Porto Ilha (ilha artificial), construído em alto mar, com o seu projeto de engenharia reconhecido internacionalmente e considerado um dos melhores projetos em todos os ramos de engenharia naval do mundo, já que escoar a produção de sal da região para o Brasil e muitos países. Além do sal e do turismo, a pesca da lagosta também se destaca, assim como a do camarão e do peixe.

Em relação à atividade de geração de energia eólica, o município teve sua primeira instalação no ano de 2013. O Parque Eólico Mel 2 possui 10 aerogeradores com potência de 2MW cada, totalizando uma capacidade instalada de 20 MW. A proprietária da planta é a Mel 2 Energia Renovável S.A., uma Sociedade de Propósitos Específicos (SPE) constituída especificamente para construir e operar a central geradora elétrica proposta. Os principais acionistas da SPE são a Neoenergia (50%) e a Iberdrola Renovables S.A. (48%).

Em 2014, houve a instalação de mais três parques eólicos no município de Areia Branca, sendo desses dois da MS PARTICIPAÇÕES SOCIETÁRIAS S.A. Dentre essas, a Central Eólica Bela Vista Geração, com 13 aerogeradores, totalizando 27.300 kW de capacidade instalada, e a Central Eólica Mar e Terra Geração, com 11 Aerogeradores totalizando 23.100 KW, Enquanto que a empresa Voltalia Energia Brasil inaugurou o primeiro dos três parques do seu complexo em Areia Branca em 2014, o parque Carcará II é composto por 10 turbinas eólicas de 3 MW cada, totalizando 30 MW. Já os outros dois parques eólicos do complexo de Areia Branca (Carcará I e Terral) entraram em operação em 2015. Estes eram semelhantes ao parque inaugurado no ano anterior, com 10 turbinas eólicas de 3 MW cada, totalizando 30 MW, totalizando 90 MW.

#### **4.1.4 Guamaré**

O município de Guamaré fica a 176 quilômetros da capital do Rio Grande do Norte, Natal. Teve sua emancipação em 7 de maio de 1962, deixando assim de ser distrito de Macau. O município possui 14.975 habitantes, e a maior parte destes reside na zona rural. A economia do município tem grande participação do petróleo, sendo a produção feita no Polo Industrial de Guamaré, através da Refinaria Potiguar Clara Camarão, que refina o óleo e o gás produzido pela Plataforma Continental do RN, com capacidade para processar 30 mil barris de petróleo por dia. Outra atividade é o turismo, sendo esse um futuro promissor devido às praias paradisíacas. Além do turismo, a tradicional pesca ainda se faz presente na cidade, com uma produção ativa de peixes das mais variadas espécies, além de camarões, mariscos, siris e caranguejos (PREFEITURA GUAMARÉ, 2016).

O município de Guamaré teve, inicialmente, as construções dos Parques Eólicos Alegria I e II, com capacidade instalada total de 151.650 kW, o terceiro maior parque eólico em operação no país em termos de MW, ocupando uma área total de 2.243 hectares. O empreendimento é de propriedade da Multiner S/A. O Parque Alegria I, que entrou em operação em 2010, é composto por 31 aerogeradores com potencial de 51,15 MW, ao passo

que o Parque Alegria II, que entrou em operação em 2011, possui 61 aerogeradores, com potência de 100,65 MW, fornecidos pela empresa dinamarquesa Vestas. A energia gerada é escoada pela linha de transmissão em 230 kV, com extensão de 89 km entre a Subestação Alegria e a Subestação Açú II, sendo entregue por esse meio ao SIN (MACEDO, 2015).

Quase que simultaneamente, houve a construção do segundo Complexo Eólico que foi de Mangue Seco, sendo este de propriedade da Petrobras, em parceria com a Eletrobras, no caso da Usina Eólica Mangue Seco 2, e Alubar Energia, no caso da Mangue Seco 1. A Wobben WindPower é proprietária, em parceria com a Petrobras, dos parques eólicos Mangue Seco 3 e Mangue Seco 5. Estando localizado às margens da Rodovia RN 221, em Guamaré, tal complexo eólico possui 52 aerogeradores de 2 MW cada um, enquanto que o sistema de transmissão é constituído de uma rede de distribuição interna de 34,5 quilovolts (kV), uma subestação elevadora de 34,5/138 kV e uma linha de transmissão de 138 kV.

Ainda no ano de 2011, dois parques eólicos de propriedade da empresa Bioenergy começaram a ser construídos, localizados em Guamaré, no Rio Grande do Norte, ocupando uma área de 184 hectares, e receberam investimentos da ordem de R\$ 120 milhões. Implantados num tempo recorde de apenas nove meses, contam com 18 aerogeradores GE 1.6 XLE que, somados, resultam em uma capacidade instalada de 28,8MW. Cada parque eólico possui nove aerogeradores com potência de 1,6 MW, totalizando 14,4 MW de capacidade instalada de cada parque. O parque Miassaba II entrou em operação em 2011, e a energia gerada é vendida para a CEMIG no mercado livre, enquanto que o parque Aratuá I entrou em operação em 2012, estando esse contratado no ambiente regulado através de leilão de energia de reserva.

#### **4.1.5 João Câmara**

O município de João Câmara, antes denominado Baixa Verde, foi elevado à categoria de município, pela lei estadual nº 697, de 29-10-1928, desmembrado dos municípios de Taipú, Touros e Lages. Em 19 de novembro de 1953, o município de Baixa Verde passou a ser denominado João Câmara. Sua base econômica é constituída pelo setor de serviços, inclusivo públicos, agronegócio e turismo.

Em relação à geração da energia eólica, atualmente, João Câmara, em conjunto com Parazinho, são os municípios que mais concentram atividade eólica. O Rio Grande do Norte ultrapassou a barreira de 1500 turbinas eólicas em funcionamento no último dia 26 de julho.

Desse total de turbinas, 645 estão instaladas nos municípios de Parazinho e João Câmara, que respondem sozinhos por 1,25 GW da geração eólica (CERNE, 2016).

As primeiras instalações eólicas foram do Complexo Eólico Morro dos Ventos, de propriedade da Desa Eólicas S/A, e foram incorporadas ao portfólio da CPFL renováveis no início de 2014, via aquisição dos ativos da Dobrevê. Tal complexo tem investimento de R\$ 600 milhões em 91 torres, totalizando uma capacidade instalada total de 146,4 MW. Os parques eólicos que tinham previsão para entrar em operação em 2012 tiveram o início de sua operação comercial adiada até março de 2014, em virtude dos atrasos nas obras de linhas de transmissão, de responsabilidade da CHESF, necessárias para fazer a interligação dos parques eólicos montados no Rio Grande do Norte. Então, o primeiro parque eólico a entrar em operação no município de João Câmara, no ano de 2012, foram as Usinas Parque Eólico Cabeço Preto e Cabeço Preto IV, da proprietária Gestamp Eólica Baixa Verde S.A, esses parques possuem 11 aerogeradores em cada parque, sendo capazes de gerar juntos 39,6 MW.

Em 2014, houve também a construção do complexo Eurus, que atualmente é propriedade de duas empresas: a CPFL Renováveis, que controla os parques Eurus I e III em operação desde 2014 com capacidade instalada de 60MW, e a Atlantic Energias Renováveis, que controla o Parque Eólico Eurus II, o qual possui 15 aerogeradores instalados em uma área de 128 hectares e uma capacidade instalada total de 30 MW em operação desde 2015.

Em 2014, entrou em operação também o Parque Eólico Campo dos Ventos II, com 30MW de capacidade instalada, contratado no Leilão de Energia de Reserva (LER) 2010 de propriedade da CPFL Energias Renováveis S.A. Além desse parque citado acima, mais sete centrais eólicas entraram em operação em 2014. O parque eólico Asa Branca VI de propriedade de Asa Branca VI Energias Renováveis Ltda possui 20 aerogeradores com potência de 1,6 MW, totalizando então 32 MW em capacidade instalada. O complexo do macaco I com as unidades de Juremas, Macacos, Costa Branca e Pedra Preta de propriedade da CPFL Energias Renováveis S.A. somadas todas unidades do complexo totalizam 78,2 MW de capacidade instalada. Por fim, há o Complexo Modelo de propriedade da Enel Green Power, com 52,8 MW de capacidade instalada.

Em 2015, além da central eólica citada, outras entraram em operação no ano de 2015, dentre essas unidades, tem-se o Morro dos Ventos II, de propriedade da CPFL Energias Renováveis S.A., com capacidade instalada de 29,2 MW. Duas unidades de propriedade da Santa Helena Energias Renováveis S.A, as Centrais eólicas SM e Santa Helena têm capacidade instalada de 59,4 MW. Por último, há o parque eólico Ventos de Santo Uriel, de

propriedade Ventos de Santo Uriel S.A., constituída de seis Unidades Geradoras de 2,7 MW, totalizando 16,2 MW de capacidade instalada. O Sistema de Transmissão de interesse restrito da EOL Ventos de Santo Uriel foi constituído de uma Subestação Elevadora, junto à Usina, e uma Linha de Transmissão em 34,5/138 kV, com cerca de doze quilômetros de extensão, em circuito simples, interligando a Subestação Elevadora ao Barramento de 138 kV da Subestação Coletora João Câmara III, as quais serão compartilhadas com Santa Maria Energias Renováveis e Santa Helena Energias Renováveis.

Atualmente, a capacidade instalada de empreendimentos eólicos nesses municípios citados acima é de 1.204.280 KW, que equivale a 37,56% do total da capacidade instalada em parques eólicos no Rio Grande do Norte, a qual é de 3.206.556 KW. Portanto, através dos indicadores de sustentabilidade e dos índices de sustentabilidade energética propostos, esta pesquisa avaliará como a inserção da energia eólica atuou para a sustentabilidade energética dos municípios estudados entre os anos de 2008 e 2015.

## **4.2 Aplicação dos Índices nos Indicadores da Sustentabilidade Energética**

Os 14 indicadores propostos para mensurar a sustentabilidade energética nessa pesquisa foram divididos em cinco dimensões: social, econômica, ambiental, tecnológica e territorial. Esses indicadores foram avaliados nos cinco municípios do Rio Grande do Norte citados acima, que tiveram instalações de centrais geradoras de energia eólica. A seguir, serão expostos os índices obtidos através da proposta metodológica biograma, possibilitando, assim, a agregação nas respectivas dimensões dos indicadores energéticos, para estimação do Índice de Sustentabilidade Energética (ISE).

### **4.2.1 ISE - Social 1 – Geração de Emprego**

A energia eólica gera em torno de 15 postos de trabalho para cada 1 MW gerado em centrais eólicas, podendo ser gerados, segundo o departamento de pesquisas do Centro em Recursos Naturais e Energia (CERNE), cerca de 35 mil novos empregos nos próximos 3 anos. Por isso, buscamos mensurar o impacto na geração de emprego nos municípios Areia Branca, Guamaré, Rio do Fogo, Macau e João Câmara.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICIPIO	INDICES						
ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MACAU	0,7965	0,7183	1,0000	1,0000	0,4272	1,0000	0,5582
GUAMARE	0,0000	0,0000	0,8114	0,2617	0,4569	0,5001	0,0000
JOAO CAMARA	0,1271	0,2406	0,0000	0,5448	0,0000	0,7864	0,9987
AREIA BRANCA	0,3031	0,2449	0,6762	0,6781	0,5696	0,5747	1,0000
RIO DO FOGO	1,0000	1,0000	0,3886	0,0000	1,0000	0,0000	0,3149
<b>ISE SOCIAL 1</b>	<b>0,4453</b>	<b>0,4408</b>	<b>0,5752</b>	<b>0,4969</b>	<b>0,4907</b>	<b>0,5722</b>	<b>0,5744</b>

**Quadro 19** – Índices<sup>1</sup> da geração de emprego<sup>2</sup> nos municípios pesquisados

Fonte: Elaboração própria

Ao analisar os índices, percebemos que houve uma melhora em relação à geração de empregos nesses municípios em épocas que antecederam os anos em que foram instaladas as centrais eólicas. Assim, os maiores crescimentos desse indicador foram nos anos que mais parques eólicos entraram em operação, 2011, 2013 e 2014, com 6, 19 e 7 centrais eólicas entrando em operação. Isso ocorre, pois a maior parte dos empregos gerados no estado potiguar é na fase de implantação das centrais eólica. Segundo Macedo (2015), os estados do Nordeste que estão se destacando no processo de encadeamento produtivo do setor eólico são aqueles que estão construindo capacidade competitiva, fato esse já é demonstrado nos resultados dos últimos leilões realizados, quando Maranhão, Bahia, Piauí e Pernambuco obtiveram as maiores participações na contratação da energia eólica em termos de MW médios, deslocando o Rio Grande do Norte. Portanto, esses três estados apresentam uma geração de emprego mais ampliada, pois, além de haver os empregos na construção dos parques eólicos, haverá também empregos nas fábricas do encadeamento produtivo eólico.

#### 4.2.2 ISE 2 - Social – Rendimento Médio

A oportunidade de empregos na energia eólica tem uma grande vantagem, que é o largo espectro de áreas de atuação disponíveis para os profissionais. Há chances para trabalhadores de nível técnico, principalmente nas áreas de elétrica, mecânica e eletrônica. Entre os profissionais graduados, há engenheiros civis e eletricitas, eletrotécnicos, advogados, gestores de logística, arqueólogos, ambientalistas, fator que melhorou as

<sup>1</sup> Índice de geração de emprego de Macau 2008 - % de empregos gerados em Macau 2008 – Menor % de geração de emprego entre as 5 cidades) / Maior % de geração entre os 5 municípios - Menor % de geração de emprego entre as 5 cidades)

<sup>2</sup> Geração de emprego = Admissões anual / Pessoas Ocupadas remuneradas

remunerações dos trabalhadores dos municípios, deste modo, mensurou o impacto que essa inserção de empreendimentos eólicos teve em relação ao rendimento médio nos municípios.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICIPIO	INDICES							
	ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MACAU		0,1667	0,0714	0,0625	0,0303	0,0385	0,0313	0,0000
GUAMARE		1,0556	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
JOAO CAMARA		0,0556	0,0000	0,0313	0,0303	0,0000	0,0000	0,0606
AREIA BRANCA		0,1667	0,1429	0,1875	0,1515	0,1538	0,0937	0,1515
RIO DO FOGO		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1212
ISE SOCIAL 2		0,2889	0,2429	0,2563	0,2424	0,2385	0,2250	0,2667

**Quadro 20** – Índices<sup>3</sup> do Rendimento Médio nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

Conforme demonstrado acima, os rendimentos nesses municípios são precários, com uma pequena melhora nos anos de 2008, 2010 e 2014. Essa melhora se deve, assim como no indicador anterior, a construções de parques eólicos, havendo então um pequeno enriquecimento em relação ao rendimento médio nos municípios pesquisados com instalações eólicas no Rio Grande do Norte, porém, longe de tornar os rendimentos sustentáveis.

Tal fato se justifica porque a maior parte dos empregos gerados é na construção civil de parques eólicos, os quais, em sua maioria, são de baixa instrução e remuneração, fazendo com que o nível de rendimento médio permanecesse o mesmo, pois os salários não são muito melhores do que os empregos já existentes no município. Os empregos com melhores rendimentos e que necessitam de maior instrução estão espalhados pelo encadeamento produtivo, principalmente na construção dos aerogeradores, que necessitam de um nível tecnológico maior. Diante desse aspecto, percebe-se a necessidade de o estado do Rio Grande do Norte atrair para seu território empresas do processo produtivo da energia eólica, trazendo, com essas empresas, empregos fixos e com melhores remunerações.

#### 4.2.3 ISE – Social 3 – Residências com Eletricidade

O principal fator da sustentabilidade energética é o acesso universal à energia elétrica, para isso é preciso que a energia chegue a locais distantes das metrópoles. Portanto, a energia eólica é considerada uma das mais promissoras fontes naturais de energia, pois as turbinas

<sup>3</sup> Índice de rendimento médio de Macau 2008 – (Rendimento médio em Macau 2008- Menor rendimento médio entre as 5 cidades) / (Maior rendimento médio entre as 5 cidades - Menor rendimento médio entre as 5 cidades)

eólicas podem ser utilizadas tanto em conexão com redes elétricas como em lugares isolados, podendo, então, ser utilizadas para o fornecimento de energia nos lugares remotos, como algumas aéreas rurais, e também em assentamentos, já que várias centrais eólicas do Rio Grande do Norte estão em áreas rurais ou em assentamentos. Diante desses fatores, foi mensurado o impacto que a inserção da energia eólica trouxe ao fornecimento de energia elétrica para aqueles que não tinham acesso. Essa mensuração se deu através da relação entre clientes da Companhia de Energia do Rio Grande do Norte (COSERN).

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICÍPIO	INDICES						
ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MACAU	0,9971	0,9596	0,9188	0,8833	0,8886	0,8865	0,8608
GUAMARE	0,0756	0,0497	0,0660	0,0763	0,1033	0,1115	0,1221
JOAO CAMARA	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
AREIA BRANCA	0,8498	0,8114	0,8189	0,8156	0,8258	0,8193	0,7854
RIO DO FOGO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ISE SOCIAL 3	0,5845	0,5641	0,5607	0,5550	0,5635	0,5635	0,5537

Quadro 21 – Índices<sup>4</sup> de Residências com eletricidade<sup>5</sup> nos Municípios Pesquisados

Fonte: Elaboração própria

O índice ISE social 4 tem permanecido durante esses últimos oito anos em situação de média de contribuição a sustentabilidade, contendo então um crescimento de residências com eletricidade relativamente constante. Dentre os municípios pesquisados, podemos destacar o de Joao Câmara, que obteve os maiores crescimentos para este indicador. Isso pode ser relacionado ao fato de que o município entre os cinco pesquisados tem o maior número de parques eólicos construídos, sendo que em alguns desses tais parques levam energia para assentamentos distantes que antes não possuíam energia elétrica. No entanto, esse crescimento constante também indica que a energia que está sendo gerada nesses municípios do Rio Grande do Norte está, provavelmente, sendo consumida em outras regiões.

#### 4.2.4 ISE - Social 4 – Rendimento Gasto em Energia Elétrica

O conceito da sustentabilidade energética também traz a necessidade de que a energia elétrica seja acessível em relação ao preço. Os custos com transmissão de energia elétrica são

<sup>4</sup> Índice Residências com eletricidade Macau 2008 – (Quantidade de Consumidores Macau 2008 – Menor Quantidade de Consumidores entre as 5 cidades ) / Maior Quantidade de Consumidores entre as 5 cidades - Menor Quantidade de Consumidores entre as 5 cidades)

<sup>5</sup> Quantidade de consumidores da COSERN

aqueles relacionados ao transporte da energia desde as unidades geradoras até os sistemas de distribuição, sendo então a distância entre a geração e a distribuição fundamental para o cálculo dos custos. Com isso, a energia eólica se destaca nesse quesito, pois os parques eólicos têm a possibilidade de serem instalados próximos às unidades de distribuição, fazendo com que as tarifas da energia elétrica nessas regiões sejam mais baratas que as demais. Assim sendo, a mensuração dos rendimentos gastos nesses municípios com energia elétrica determina o impacto dos valores pagos pela energia no orçamento dos habitantes.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICIPIO	INDICES							
	ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MACAU		0,0153	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
GUAMARE		0,0321	0,3107	0,2987	0,3130	0,3982	0,4032	0,6026
JOAO CAMARA		0,1971	0,3227	0,3860	0,4247	0,3595	0,3199	0,5001
AREIA BRANCA		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
RIO DO FOGO		0,0000	0,1491	0,3327	0,2757	0,2446	0,1972	0,3633
ISE SOCIAL 4		<b>0,2489</b>	<b>0,3565</b>	<b>0,4035</b>	<b>0,4027</b>	<b>0,4005</b>	<b>0,3841</b>	<b>0,4932</b>

**Quadro 22** – Índices<sup>6</sup> do Rendimento Gastos<sup>7</sup> em Energia Elétrica nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

O quadro demonstra que o impacto da energia no orçamento aumentou entre os anos de 2009 a 2013, nos quais os índices de sustentabilidade energética foram os menores. Esse índice subiu em 2014, todavia, é esperado que ele passasse por novas quedas, devido a novos reajustes das tarifas em 2015 e 2016 realizados pela COSERN. Tal fato se explica devido à baixa nos reservatórios de usinas hidrelétricas, que foram ficando cada vez maiores e a geração de energia eólica não era tão expressiva. Houve, a partir disso, a necessidade de utilização de mais energia térmica a cada ano, fonte de energia que tem custos mais elevados e, por isso, também foi preciso aumentar o valor da tarifa repassada ao consumidor, apesar algumas de ações do Governo que tiveram o objetivo de amenizar o impacto no bolso dos cidadãos.

Segundo o Diretor da Coteminas e da FIERN e Presidente do Conselho dos Consumidores de Energia Elétrica do RN, João Lima, um dos principais fatores para explicar o reajuste é a entrada de usinas eólicas mais caras no “mix” de energia comprada pelas

<sup>6</sup> Índice Rendimento Gastos em Energia Elétrica Macau 2008 – (Maior rendimento gasto em Energia entre as 5 cidades – Rendimento gasto em energia Macau 2008) / ( Maior rendimento gasto em Energia entre as 5 cidades – Menor Rendimento gasto em energia entre as 5 cidades)

<sup>7</sup> Índice Rendimento Gastos em Energia Elétrica = Rendimento médio / (Tarifa mensal x Consumo médio mensal)

distribuidoras. “Isso sem falar no acionamento das térmicas a diesel e a óleo combustível, cujo custo, no ano passado, foi bancado pelo Tesouro Nacional e será repassado às contas de luz até 2018”.

#### 4.2.5 ISE - Econômico 1 – Arrecadação de Imposto

Os pequenos municípios nordestinos geralmente sofrem para realizar investimento, pois a arrecadação de impostos costuma ser baixa. No Rio Grande do Norte, as áreas onde os parques eólicos estão sendo implantados são usualmente regiões pouco desenvolvidas, sendo a atividade importante para desenvolver a localidade, já que, a partir de uma maior arrecadação municipal, é possível o investimento do setor público em áreas essenciais e carentes como educação e saúde. Apesar de alguns casos o maior arrecadamento não serem utilizados da melhor maneira, tal atividade dá a oportunidade de desenvolvimento aos municípios.



MUNICIPIO	INDICES						
ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MACAU	0,4141	0,3381	0,3390	0,3625	0,2341	0,3050	0,3015
GUAMARE	0,1095	0,0947	0,1434	0,1244	0,1825	0,0513	0,2171
JOAO CAMARA	0,0840	0,1220	0,1144	0,1429	0,2784	0,5136	0,6926
AREIA BRANCA	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
RIO DO FOGO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>ISE ECONOMICO 1</b>	<b>0,3215</b>	<b>0,3109</b>	<b>0,3194</b>	<b>0,3260</b>	<b>0,3390</b>	<b>0,3740</b>	<b>0,4422</b>

**Quadro 23** – Índice arrecadação de imposto <sup>8</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

Como podemos perceber através do quadro acima, a arrecadação de impostos em relação ao PIB cresceu consideravelmente nos últimos anos nos municípios que tiveram instalação de parques eólicos. Os municípios do Rio Grande do Norte que abriram as portas para a instalação de parques eólicos viram sua realidade se transformar drasticamente e passaram a ocupar posições mais altas do ranking estadual de arrecadação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). A nova realidade impulsionou a economia e o comércio do local e ampliou, na mesma proporção, os lucros dos proprietários rurais.

Contudo, é preciso destacar que os municípios não arrecadam diretamente da atividade de instalação das centrais eólicas, mas das atividades inerentes à instalação do parque, como a

<sup>8</sup> Índice Arrecadação de Imposto Macau 2008 – (Arrecadação de Imposto ISSQ Macau 2008 – Menor Arrecadação de Imposto ISSQ entre as 5 cidades) / (Maior Arrecadação de Imposto ISSQ entre as 5 cidades - Menor Arrecadação de Imposto ISSQ entre as 5 cidades)

comercialização dos equipamentos e a prestação de serviços. Os municípios produtores arrecadam o ISSQN, pago pelas empresas de construção civil. Logo após a conclusão da obra, a arrecadação municipal cai consideravelmente, uma vez que apenas as empresas que prestam serviço de manutenção continuam pagando o referido imposto. Por conseguinte, esse índice, apesar de estar em crescimento, se aproximando de uma contribuição média, tende a começar a decrescer a partir do momento em que as construções começarem a diminuir.

#### 4.2.6 ISE - Econômico 2 – Reservas energéticas

Para a sustentabilidade energética de um país, é necessário que ele tenha a maior diversidade possível de fontes energéticas, assim como também haja uma reserva energética que auxilie em momentos de extremidades, como consumo acima do limite ou baixa nos reservatórios de usinas hidrelétricas, já que grande parte da geração elétrica do Brasil e do Nordeste tem por base essa fonte. Sendo assim, é importante que todas as regiões do país contribuam na geração de energia, utilizando a fonte mais viável à sua realidade. A partir disso, foram mensurados os índices para avaliar como os municípios estudados contribuíram na geração de energia.

Alta	Média	Baixa	Crítica
------	-------	-------	---------

MUNICIPIO	INDICES							
ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MACAU	0,0365	0,0365	0,0353	0,0067	0,0063	0,0000	0,0000	0,0000
GUAMARE	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5771	0,4234
JOAO CAMARA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1392	0,1337	1,0000	1,0000
AREIA BRANCA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0644	0,0812	0,1782
RIO DO FOGO	1,0000	1,0000	0,9667	0,1826	0,1733	0,2671	0,0189	0,0139
ISE ECONOMICO 2	0,2073	0,2073	0,4004	0,2378	0,2638	0,2930	0,3354	0,3231

**Quadro 24** – Índice <sup>9</sup>de Reserva Energética <sup>10</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

O quadro 25 nos mostra que, até o ano de 2009, a participação dos municípios potiguares pesquisados na geração de energia era baixa, estando em estado crítico, visto que era necessário importar energia de outros estados. No entanto, a partir de 2010 esses municípios apresentaram crescimento anormal devido ao complexo eólico em Guimarães. Assim, a participação desses trouxe um crescimento significativo, e nesse mesmo ano o estado

<sup>9</sup> Índice de Reserva Energética Macau 2008 – (Reserva Energética Macau 2008 – Menor Reserva Energética entre as 5 cidades) / (Maior Reserva Energética entre as 5 cidades - Menor Reserva Energética entre as 5 cidades)

<sup>10</sup> Reserva Energética = Capacidade Instalada no Município / Capacidade Instalada no Estado

do Rio Grande do Norte se tornou autossuficiente em relação ao setor industrial. No ano seguinte, houve uma queda nas reservas energéticas, mesmo sendo um ano em que seis parques entraram em operação. Isso se deve a uma grande adição de capacidade instalada em outros municípios, ocasionando essa queda brusca. Porém, a partir de 2012, os municípios pesquisados retomaram a contribuição para a sustentabilidade em relação à reserva energética, ao adicionar mais energia a cada ano. O fato de gráfico 6 demonstrar que situação da reserva energética está baixa se deve a esta pesquisa analisar cinco municípios que equivalem a 37% da energia gerada, sendo que atualmente o estado é autossuficiente, além de exportar energia para outros estados da região.

#### 4.2.7 ISE - Econômico 3 – Desenvolvimento Comercial dos municípios

Durante o período de construção, há um aumento na demanda por bens e serviços para o volume de pessoas envolvidas na obra, como hospedagem e alimentação. Fornecedores de bens e serviços dentro das comunidades podem ser beneficiados com a construção do projeto e aumentar a renda total da comunidade, além de criar oportunidades de empregos temporários fora da obra. Também é criada uma cadeia produtiva do setor por perto das construções dos parques eólicos. Então, o índice buscou mensurar, a partir da evolução na quantidade de estabelecimentos comerciais, o impacto que a atividade eólica trouxe para esses municípios.

Alta	Média	Baixa	Crítica
------	-------	-------	---------

MUNICIPIO	INDICES							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MACAU	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
GUAMARE	0,2556	0,2533	0,3471	0,3090	0,3466	0,3526	0,3484	0,3228
JOAO CAMARA	0,5440	0,6352	0,6304	0,7110	0,6083	0,7825	0,7073	0,7010
AREIA BRANCA	0,7035	0,5198	0,7129	0,5133	0,4454	0,5140	0,4878	0,6653
RIO DO FOGO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ISE ECONOMICO 3	0,5006	0,48,17	0,5381	0,5066	0,4801	0,5298	0,5087	0,5378

**Quadro 25** – Índice do Desenvolvimento Comercial <sup>11</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

Ao observar o quadro acima, observamos que o índice permanece entre o limite do sustentável médio e baixo, havendo os maiores aumentos na atividade comercial nos anos de 2009, 2012 e 2014. Destarte, podemos afirmar que as atividades comerciais e econômicas

<sup>11</sup> Índice do Desenvolvimento Comercial Guimarães 2008 – N<sup>o</sup> de Estabelecimentos Comerciais Guimarães 2008 – Menor N<sup>o</sup> de Estabelecimentos Comerciais entre as 5 cidades) / (Maior N<sup>o</sup> de Estabelecimentos Comerciais entre as 5 cidades - Menor N<sup>o</sup> de Estabelecimentos Comerciais entre as 5 cidades)

nesses municípios têm se desenvolvido com sucesso nos últimos quatro anos, os quais, apesar da crise econômica que Brasil vive, têm demonstrado crescimento comercial, comprovando que os empreendimentos eólicos têm movimentado a economia municipal. Contudo, devemos ressaltar que em alguns municípios pesquisados, como Guimarães, Areia Branca e Macau, há presença da cadeia produtiva do sal e do petróleo, que também impulsionam o comércio e a economia desses municípios.

#### 4.2.8 ISE - Ambiental 1 – Desmatamento

As atividades de mobilização do canteiro de obras, limpeza do terreno e movimentação de terra resultam em remoção da vegetação e aumento do tráfego de veículos que formam intensa poeira, que pode causar danos à vegetação. Portanto, apesar de ser considerada uma atividade sustentável, foi necessário mensurarmos o impacto que esse desmatamento tem trazido aos municípios pesquisados com centrais eólicas instaladas.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
MUNICIPIO		INDICES					
ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
MACAU	0,9836	0,9836	0,9836	1,0000	1,0000	1,0000	
GUAMARE	0,8947	0,1480	0,1480	0,5787	0,6995	0,7280	
JOAO CAMARA	1,0000	0,8947	0,6547	0,8342	0,0000	0,0000	
AREIA BRANCA	1,0000	1,0000	1,0000	0,8852	0,5911	0,4373	
RIO DO FOGO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1906	0,2675	
<b>ISE AMBIENTAL 1</b>	<b>0,7757</b>	<b>0,6053</b>	<b>0,5573</b>	<b>0,6596</b>	<b>0,4962</b>	<b>0,4866</b>	

**Quadro 26** – Índice do Desmatamento <sup>12</sup> nos Municípios Pesquisados

Fonte: Elaboração própria

Podemos perceber, através do quadro 27, a expansão da energia eólica ao longo dos anos nos municípios pesquisados, nos quais há o aumento do desmatamento entre 2010 e 2012, fazendo com que o índice de sustentabilidade energética ambiental saísse de uma condição alta para média. Essa queda teve um intervalo entre 2012 e 2013, pois nessa época houve menos parques eólicos em construção, porém, a partir ano de 2013 houve diversas construções de parques eólicos nesses municípios, especialmente na região de João Câmara. Tal fato fez com que o índice entrasse na condição baixa sustentabilidade quanto aos desmatamentos. No entanto, é importante ressaltar uma questão que pode influenciar esse

<sup>12</sup> Índice do Desmatamento Guimarães 2008 (Maior Área desmatada em km<sup>2</sup> de parques eólicos entre as 5 cidades - Área desmatada em km<sup>2</sup> de parques eólicos Guimarães 2008) / ( Maior Área desmatada em km<sup>2</sup> de parques eólicos entre as 5 cidades - Menor Área desmatada em km<sup>2</sup> de parques eólicos entre as 5 cidades)

índice para possível melhora: à medida que as licenças ambientais são liberadas, em sua grande maioria, dos empreendimentos realizam uma recuperação da área degradada, não havendo como mensurar essa recuperação. Todavia, também é preciso ressaltar que, em alguns casos, as centrais eólicas são construídas em áreas de dunas que são ecossistemas extremamente frágeis e difíceis de restaurar.

#### 4.2.9 ISE - Ambiental 2 – Emissão de Ruído

Na operação dos parques, há emissão de ruído (de baixa frequência). O ruído dos aerogeradores pode ocasionar outro desconforto às comunidades. Basicamente, há dois tipos de ruídos provenientes das torres eólicas: o ruído mecânico da caixa de velocidades e do gerador e o ruído aerodinâmico, produzido pelo fluir do ar no entorno das lâminas. O último tende a ser a principal causa dos problemas nas comunidades rurais que se encontram próximas aos aerogeradores. No Rio Grande do Norte, grande parte os parques eólicos estão sendo construídos na zona rural, muitas vezes próximos a assentamentos, caso dos parques de Rio do Fogo e João Câmara. Por conseguinte, o índice buscou mensurar o impacto através das informações de emissões de ruído dos parques eólicos instalados nos municípios pesquisados.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
MUNICIPIO		INDICES					
ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
MACAU	0,0066	0,0066	0,1081	0,0000	0,4000	0,3067	
GUAMARE	0,0282	0,0432	1,0000	1,0000	0,3200	0,2454	
JOAO CAMARA	1,0000	1,0000	0,8568	0,8394	1,0000	1,0000	
AREIA BRANCA	1,0000	1,0000	0,8378	0,8182	0,3600	0,5828	
RIO DO FOGO	0,0000	0,0000	0,0000	0,7576	0,0000	0,0000	
<b>ISE AMBIENTAL 2</b>	<b>0,5087</b>	<b>0,5125</b>	<b>0,7007</b>	<b>0,6644</b>	<b>0,5200</b>	<b>0,5337</b>	

**Quadro 27** – Índice emissão de Ruídos <sup>13</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

O quadro acima demonstra que os índices de ruídos nos municípios pesquisados tiveram uma melhora ao passar dos anos. Esse fato se deve ao desenvolvimento tecnológico dos aerogeradores, assim como a uma maior distância entre os parques eólicos e as áreas habitadas, que foram ficando maiores com o tempo. Outro fator que pode ter ocorrido foi uma possível adaptação da população do entorno dos parques eólicos a esses ruídos. No entanto, é

<sup>13</sup> Índice emissão de Ruídos Areia Branca 2013 – (Maior emissão de Ruído em 2013 entre as 5 cidades – Emissão de ruído de Areia Branca 2013) / ( Maior emissão de Ruído em 2013 entre as 5 cidades - Menor emissão de Ruído em 2013 entre as 5 cidades)

importante que haja estudos que possam avaliar se essa adaptação não se trata de uma possível perda de audição das pessoas expostas aos ruídos.

#### 4.2.10 ISE - Ambiental 3 – Área do Empreendimento energético

Na ocupação de área de implementação do parque eólico é possível que haja desmatamento, perda de biodiversidade, assim como perturbação da fauna, resultando em possível perda de habitat. Diante o índice de área do empreendimento, analisaremos a relação entre a área ocupada pelo empreendimento e os impactos ambientais na área dos parques eólicos, uma vez que quanto maior a área do empreendimento, maiores poderão ser os impactos ambientais.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICIPIO	INDICES					
ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MACAU	0,9810	0,9810	0,9810	1,0000	1,0000	1,0000
GUAMARE	0,9081	0,3395	0,3395	0,3461	0,6995	0,7601
JOAO CAMARA	1,0000	0,9081	0,6988	0,7124	0,0000	0,0000
AREIA BRANCA	1,0000	1,0000	1,0000	0,8025	0,5911	0,5037
RIO DO FOGO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5053	0,6051
<b>ISE AMBIENTAL 3</b>	<b>0,7778</b>	<b>0,6457</b>	<b>0,6039</b>	<b>0,5722</b>	<b>0,5592</b>	<b>0,5738</b>

**Quadro 28** – Índice do Área do Empreendimento Energético <sup>14</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

Através do quadro exposto acima, percebemos que as áreas dos parques eólicos nos municípios potiguares pesquisados mantêm certa constância em relação às áreas das centrais eólicas, nas quais, apenas entre os anos de 2010 a 2012, houve uma queda, fazendo com que o índice fosse da condição alta para média. Tal fato é relativamente normal, pois esta foi a época inicial da inserção dos parques eólicos, quando os aerogeradores utilizados eram de baixa potência, portanto, ocupando uma área maior. Após o ano de 2012, os aerogeradores que foram instalados nas centrais eólicas desses municípios continham uma potência superior, conseguindo atingir as capacidades instaladas ao utilizar uma área menor, fazendo com que esse índice permaneça praticamente estável, com pequenas variações ao longo dos anos.

<sup>14</sup> Índice do Área do Empreendimento Energético João Câmara 2012 - (Área em km<sup>2</sup> de parques eólicos João Câmara 2012 – Menor Área em km<sup>2</sup> de parques eólicos entre as 5 cidades) / ( Maior Área em km<sup>2</sup> de parques eólicos entre as 5 cidades - Menor Área em km<sup>2</sup> de parques eólicos entre as 5 cidades)

#### 4.2.11 ISE - Tecnológico 1 – Evolução tecnológica

Atualmente, há uma grande variedade de tipos e modelos disponíveis no mercado. De acordo com a potência dos aerogeradores, haverá a possibilidade de um parque eólico gerar mais energia em menor área, fazendo com que haja menores impactos ambientais. Diante disso, o índice irá mensurar a eficiência tecnológica instalada nas centrais eólicas implementadas nos municípios pesquisados.

MUNICIPIO	INDICES					
ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MACAU	0,9568	0,9899	0,9568	1,0000	0,8832	0,7110
GUAMARE	0,0088	0,0000	0,7646	0,6819	1,0000	1,0000
JOAO CAMARA	1,0000	1,0000	0,3527	0,0000	0,0000	0,0000
AREIA BRANCA	1,0000	1,0000	1,0000	0,6761	0,8516	0,6434
RIO DO FOGO	0,0000	0,7651	0,0000	0,5179	0,9728	0,9328
<b>ISE TECNOLÓGICO 1</b>	<b>0,5931</b>	<b>0,7510</b>	<b>0,6148</b>	<b>0,5752</b>	<b>0,7415</b>	<b>0,6574</b>

**Quadro 29** – Índice da Evolução tecnológica <sup>15</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

O quadro 30 demonstra que, entre os anos iniciais da inserção da energia eólica nesses municípios do Rio Grande do Norte, os aerogeradores instalados inicialmente não tinham uma potência alta, chegando ao máximo de 1MW, exceto as instalações de Guararé, que possuíam aerogeradores de 1,6 MW. Isso se deve à incerteza que existia quanto ao futuro da energia eólica no Brasil. No entanto, a partir de 2012, com a certeza do desenvolvimento do setor eólico, aerogeradores de melhores desempenho, com potência entre 2 e 2,3 MW, foram trazidos ao país, assim como ao Rio Grande do Norte. Nos anos seguintes, apesar dos municípios de João Câmara continuarem com a evolução, chegando a instalar aerogeradores de 3 MW, os outros municípios não seguiram esse padrão, fazendo com que o índice de eficiência tecnológica para esses municípios diminuíssem.

#### 4.2.12 ISE - Tecnológico 2 – Custo Marginal

Para que a tecnologia possa superar a barreira dos altos custos iniciais, ao longo do tempo, é preciso adquirir o desenvolvimento tecnológico, para que só assim haja uma redução

<sup>15</sup> Índice da Evolução tecnológica Macau 2010 – (Média da Potência dos Aerogeradores em Parques eólicos de Macau 2010 – Menor média da Potência dos Aerogeradores em Parques eólicos entre as 5 cidades) / ( Maior média da Potência dos Aerogeradores em Parques eólicos entre as 5 cidades – Menor Média da Potência dos Aerogeradores em Parques eólicos entre as 5 cidades)

real e sustentável dos custos. Para tanto, o índice avaliará a evolução dos custos das implantações dos parques eólicos nos municípios entre 2008 e 2015.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICÍPIO	INDICES					
ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MACAU	0,3636	0,3333	0,3333	0,0000	0,0000	0,0000
GUAMARE	1,0000	1,0000	0,8889	0,7143	0,0000	0,0000
JOAO CAMARA	0,0000	0,0000	1,0000	0,8571	0,8000	0,7857
AREIA BRANCA	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000
RIO DO FOGO	0,4848	0,4444	0,4444	1,0000	0,8000	0,2857
ISE TECNOLÓGICO 2	<b>0,3697</b>	<b>0,3556</b>	<b>0,5333</b>	<b>0,7143</b>	<b>0,5200</b>	<b>0,4143</b>

**Quadro 30** – Índice da Custo Marginal <sup>16</sup> nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

Os custos da fonte energética, assim como de outras fontes, são reduzidos à medida que a cadeia produtiva se estabelece, como também através dos subsídios oferecidos para sua redução. No caso da fonte eólica, a solidificação da cadeia produtiva, ~~eome~~ incentivos iniciais para implantação fizeram com que esses custos tivessem uma redução, fazendo com que houvesse um crescimento do índice da curva de aprendizagem, mantendo-se entre a condição aceitável e ideal até ano 2014. Contudo, sempre com variação, que ocorreu principalmente devido às políticas de nacionalização do BNDES, as quais tornaram inicialmente os custos maiores, porém, com a evolução da indústria nacional, esses custos tendem a voltar cair. É importante ressaltar que, apesar de melhores índices serem em 2011 e 2014, equivalem aos leilões de 2009 e 2012, que tiveram preços competitivos, pois, apesar de os parques terem entrado em operação em 2011 e 2014, foram contratados com os preços da época dos leilões.

#### 4.2.13 ISE - Tecnológico 3 - Eficiência de Geração por Área

A eficiência da capacidade instalada dos parques eólicos implantados no Rio Grande do Norte está relacionada com a eficiência tecnológica e com o tamanho do parque eólico, sendo então preciso mensurar a relação entre capacidade instalada e a área dos empreendimentos eólicos, pois uma geração, para ser sustentável, deve gerar máximo de energia possível em menor área possível.

<sup>16</sup> Índice da Custo Marginal João Câmara 2013 – ( Preço do Mw dos Parques eólicos de João Câmara em 2013 – Menor Preço do Mw dos Parques eólicos entre as 5 cidades) / ( Maior Preço do Mw dos Parques eólicos entre as 5 cidades – Menor Preço do Mw dos Parques eólicos entre as 5 cidades)

Alta		Média		Baixa		Crítica	
MUNICIPIO	INDICES						
ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
MACAU	0,1703	0,1703	0,3144	0,0773	1,0000	1,0000	
GUAMARE	1,0000	0,5974	0,9059	0,8733	0,4400	0,4400	
JOAO CAMARA	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,3065	0,3458	
AREIA BRANCA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0772	0,0389	0,0846	
RIO DO FOGO	0,0888	0,0888	0,1639	0,0000	0,0000	0,0000	
<b>ISE TECNOLÓGICO 3</b>	<b>0,2518</b>	<b>0,3713</b>	<b>0,4768</b>	<b>0,4055</b>	<b>0,3571</b>	<b>0,3741</b>	

**Quadro 31** – Índice <sup>17</sup>da Eficiência de Geração por área <sup>18</sup>nos Municípios Pesquisados

**Fonte:** Elaboração própria

Ao analisar o quadro acima, podemos observar que a eficiência energética era muito baixa no ano de 2010, perto da condição crítica. Isso se deve ao fato que nos primeiros parques eólicos os aerogeradores instalados eram de baixa eficiência, chegando ao máximo de 1 MW por unidade, sendo então necessários mais aerogeradores para atingir a capacidade instalada. No entanto, a partir dos anos posteriores, os parques eólicos começaram a instalar aerogeradores com potências de 1,4MW, 1,6MW e até 2MW. Tal fato fez com que a eficiência chegasse próximo do ideal em 2012, contudo, entre 2012 e 2014 foram construídos complexos com no mínimo três parques eólicos, chegando a seis parques eólicos em conjunto, o que fez com que, nos municípios pesquisados, houvesse uma queda na eficiência energética. Já nos anos seguintes (2014 e 2015), houve uma pequena recuperação na eficiência energética, devido à inserção de aerogeradores com potência entre 2,5 e 3 MW.

#### 4.2.14 ISE -Territorial 1 – Geração de emprego na zona rural

Maior efetividade na geração de empregos e promoção do desenvolvimento local na região rural fizeram com que houvesse fixação do homem no campo e diminuição do êxodo rural, assim como os arrendamentos realizados pelas empresas geradoras de energia eólica incentivam as atividades agropecuárias. Diante desses fatos, o índice mensura o impacto que as instalações das centrais eólicas tiveram para a geração do emprego na zona rural desses municípios.

<sup>17</sup> Índice da Eficiência de Geração por área Macau 2010 - (Eficiência de Geração por área de Guimarães 2013 – Menor Eficiência de Geração por área entre as 5 cidades) / (Maior Eficiência de Geração por área entre as 5 cidades - Menor Eficiência de Geração por área entre as 5 cidades)

<sup>18</sup> Eficiência de Geração por Área = Capacidade instalada do empreendimento MW/ Área do empreendimento km<sup>2</sup>

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

MUNICÍPIO	ÍNDICES							
ANO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MACAU	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
GUAMARE	0,2746	0,2682	0,0545	0,0833	0,1938	0,1711	0,1013	0,0948
JOAO CAMARA	0,0000	0,0000	0,0036	0,0114	0,0310	0,0044	0,0044	0,0000
AREIA BRANCA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0047
RIO DO FOGO	0,4301	0,0636	0,3382	0,2955	0,9070	0,6579	0,8282	0,5118
ISE TERRITORIAL 2	0,3409	0,2664	0,2793	0,2780	0,4264	0,3667	0,3868	0,3223

**Quadro 32** – Índice <sup>19</sup> da Geração de empregos na zona rural

**Fonte:** Elaboração própria

O índice de geração de emprego na zona rural teve impacto positivo nos municípios pesquisados do Rio Grande do Norte entre 2011 e 2012 principalmente. Após esse crescimento, o índice variou entre quedas e crescimento nos anos seguintes, o que se deve possivelmente a alguns fatores que dificultaram a sustentabilidade desse índice, como a seca, que atinge Nordeste há cinco anos. Os parques eólicos, muitas vezes, são instalados próximos a assentamentos rurais ou nas vias de acessos entre as comunidades, como também as várias linhas de transmissão de energia e subestações que escoam a produção de energia dos parques, cortando propriedades rurais, reservas legais, assentamentos e rodovias estaduais e municipais.

Outro fator que possivelmente influenciou esse índice foi a falta de produtividade das terras próximas aos parques eólicos. Segundo Milton de Araújo, proprietário de terras arrendadas, as terras que sediam parques eólicos no Rio Grande do Norte normalmente não são propícias para agricultura. Ele explicou que, em 300 hectares de terra, nem 10% é cultivado.

#### 4.3 Índice de Sustentabilidade Energética no Rio Grande do Norte

A partir da agregação dos indicadores em dimensões, foram calculados os índices de cada uma das cinco dimensões da sustentabilidade energética dos municípios pesquisados entre os anos 2008 a 2015.

<sup>19</sup> Índice da Geração de empregos na zona rural Rio do Fogo 2008 – (Empregos gerados no campo Rio do Fogo 2008 – Menor Geração de empregos na zona rural entre as 5 cidades) / ( Maior Geração de empregos na zona rural entre as 5 cidades - Menor Geração de empregos na zona rural entre as 5 cidades)

### 4.3.1 ISE - Dimensão Social

Após a análise individual de cada indicador, foi feita a média dos quatro indicadores da dimensão social, para que se pudesse chegar aos valores da dimensão social dos índices de sustentabilidade energética para os municípios estudados entre 2008 e 2014.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
ANO	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: DIMENSÃO SOCIAL						
2008	0,4277						
2009	0,3857						
2010	0,4312						
2011	0,3992						
2012	0,3935						
2013	0,4055						
2014	0,4383						

**Quadro 33** – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Social

**Fonte:** Elaboração própria

Como se pode notar ao analisar o quadro acima, a dimensão social da contribuição dos empreendimentos eólicos em torno da perspectiva da sustentabilidade energética para os municípios pesquisados do Rio Grande do Norte obteve uma evolução pouco significativa com a inserção da atividade eólica. No entanto, alguns fatores necessitam atenção especial, tais como a sazonalidade dos empregos e a baixa remuneração, devido à falta do encadeamento produtivo no estado. Já como fatores positivos da dimensão social, podemos citar a questão do crescimento de residências com energia elétrica, fazendo com que estes índices estejam como médio na sustentabilidade energética. Outro fator é evolução do índice de gastos com energia elétrica em relação ao rendimento médio, fator que se deve à valorização do salário mínimo, assim como também à COSERN ter uma das menores tarifas do país durante os últimos anos.

### 4.3.2 ISE - Dimensão Econômica

Após a análise individual de cada indicador, foi feita a média dos três indicadores da dimensão econômica, para que se possa chegar aos valores da dimensão econômica dos índices de sustentabilidade energética para os municípios estudados entre 2008 e 2014.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

ANO	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: DIMENSÃO ECONOMICA
2008	0,3431
2009	0,2591
2010	0,4193
2011	0,3568
2012	0,3610
2013	0,3989
2014	0,4288

**Quadro 34** – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Econômica

**Fonte:** Elaboração própria

A dimensão econômica da teve significativa evolução durante os últimos anos. Esta evolução se deve primeiramente ao fato dos municípios estarem arrecadando mais impostos relacionados à instalação de centrais eólicas. Todavia, esse indicador merece atenção, pois esses impostos não são arrecadados pela operação desses parques, mas pelas atividades inerentes à instalação do parque, como a comercialização dos equipamentos e a prestação de serviços.

Outro fator que incentivou essa evolução foi o crescimento do desenvolvimento comercial nesses municípios, pois os parques eólicos atraem empresas satélites, assim como também aumentam a circulação de pessoas nos municípios, movimentando a sua economia. Algo que pode ter atraído essas empresas é a segurança energética gerada pela inserção dos parques eólicos.

#### **4.3.3 ISE - Dimensão Ambiental**

A partir da análise individual de cada indicador, foi feita a média dos quatro indicadores da dimensão ambiental, para que se pudesse chegar aos valores da dimensão ambiental dos índices de sustentabilidade energética para os municípios estudados entre 2010 e 2015.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

ANO	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: DIMENSÃO AMBIENTAL
2010	0,6874
2011	0,5878
2012	0,6206
2013	0,6321
2014	0,5251
2015	0,5314

**Quadro 35** – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Ambiental

**Fonte:** Elaboração própria

A dimensão ambiental da sustentabilidade energética está com seus índices em estado Médio. Apesar disso, dois pontos precisam ser tratados com cuidado, pois vêm decrescendo ao longo dos anos: o indicador de desmatamento, que, inclusive, entrou em estado de ruim em 2014 e em 2015, tendo seus índices em torno de 0,48. Já o indicador área dos empreendimentos tem decrescido, porém, ainda se encontra em estado médio de contribuição na perspectiva da sustentabilidade energética. Em compensação, essa dimensão tem demonstrado relativo crescimento em relação ao indicador emissão ruído, que vem tendo evolução devido ao desenvolvimento aerodinâmico das turbinas eólicas.

#### 4.3.4 ISE - Dimensão Tecnológico

A partir da análise individual de cada indicador, foi realizada média dos três indicadores da dimensão tecnológico, para que se pudesse chegar aos valores da dimensão tecnológica dos índices de sustentabilidade energética para os municípios estudados entre 2010 e 2015.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

ANO	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: DIMENSÃO TECNOLÓGICA
2010	0,4225
2011	0,561148888
2012	0,545825717
2013	0,490360402
2014	0,549297278
2015	0,515757835

**Quadro 36** – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Tecnológico

**Fonte:** Elaboração própria

Ao analisar o índice contribuição na dimensão tecnológica, percebemos que este teve uma evolução durante os últimos anos, mantendo-se em níveis de médio quanto à

contribuição na perspectiva da sustentabilidade energética entre a maioria dos seus indicadores, principalmente entre os anos de 2012 e 2014. Houve alguns fatores que influenciaram para a queda na devida dimensão em 2015. Dentre esses, podemos citar, de acordo com dados da Abeeólica (2016) o aumento dos custos na instalação de centrais eólica subiu de 4,5 Milhões / MW para 6 milhões / MW, devido às mudanças de parâmetro e novas condições de viabilidade econômica, assim como as novas políticas de empréstimos do BNDES, com menores prazos e limites, e também a alta do dólar influenciaram nesse aumento.

#### 4.3.5 ISE - Dimensão Territorial

A partir da análise individual de cada indicador, foi calculada a média dos dois indicadores da dimensão territorial para que se pudesse chegar aos valores da dimensão territorial dos índices de sustentabilidade energética para os municípios estudados entre 2010 e 2015.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
------	--	-------	--	-------	--	---------	--

ANO	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: DIMENSÃO TERRITORIAL
2008	0,3409
2009	0,2664
2010	0,2793
2011	0,2780
2012	0,4264
2013	0,3667
2014	0,3868
2015	0,3223

**Quadro 37** – Índice de Sustentabilidade Energética – Dimensão Territorial

**Fonte:** Elaboração própria

Observa-se no quadro acima, que a dimensão territorial, apesar de ainda estar em condição de ruim, apresentou um leve aumento em fatores numéricos, no entanto teve pouca significação para ser considerada uma mudança significativa. Como citado anteriormente, alguns fatores influenciaram para que esse índice não atingisse uma condição de sustentabilidade média. Dentre esse um fator que possivelmente dificultou a evolução do índice foi a mais a seca que atingiu não só Rio Grande do Norte, como Nordeste inteiro. Essa seca mudou hábitos e transformou paisagens interior adentro. Reservatórios secaram, cachoeiras desapareceram e o verde da vegetação ganhou tons de cinza. O solo rachou,

animais morreram e plantações foram dizimadas, dificultado assim a geração de emprego na zona rural.

#### 4.3.6 Índice de Sustentabilidade Energética

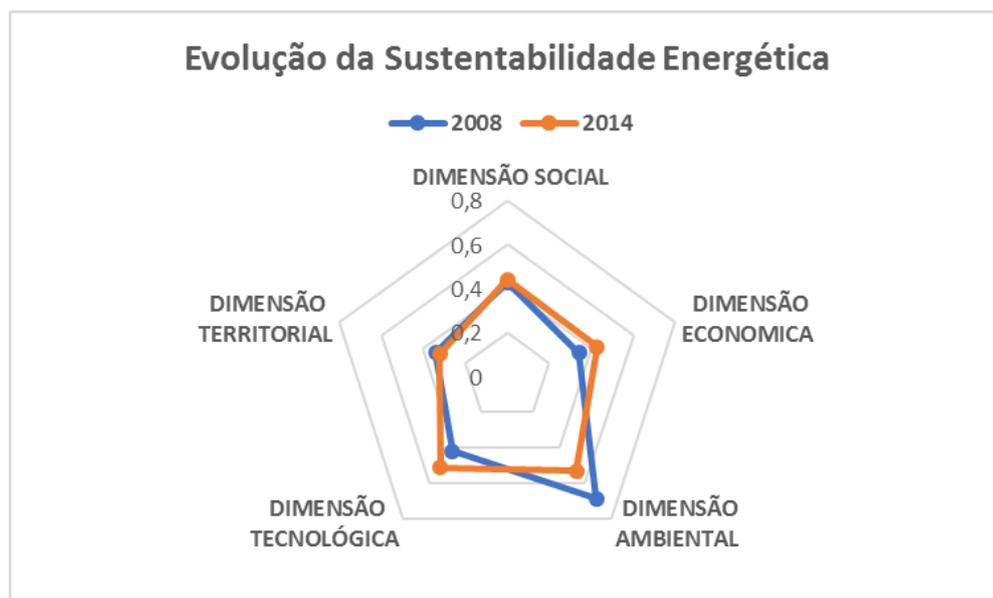
Ao agregar as cinco dimensões propostas para estudo da sustentabilidade energética, foram calculados os índices de sustentabilidade energética dos municípios pesquisados entre os anos 2008 a 2015.

Alta		Média		Baixa		Crítica	
ANO	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA						
2008	0,3706						
2009	0,3037						
2010	0,4479						
2011	0,4366						
2012	0,4695						
2013	0,4587						
2014	0,4657						
2015	0,4565						

**Quadro 38** – Índice de Sustentabilidade Energética

**Fonte:** Elaboração própria

Analisando o índice de contribuição da energia eólica sob a perspectiva da sustentabilidade energética dos municípios pesquisados entre os anos de 2008 a 2015, percebemos um crescimento no ano de 2010, quando a atividade de geração de energia eólica foi intensificada nesses municípios. Após esse crescimento, o índice se manteve entre 0,37 e 0,46, estando em estado de contribuição ruim, mas muito próximo de um estado médio.



**Quadro 39** – Biograma Índice de Sustentabilidade Energética

**Fonte:** Elaboração própria

As dimensões Social e Territorial foram pouco influenciadas ao longo do tempo, isso se deve a possivelmente a fatores externos de origem política e climática, as quais têm afetado o Brasil nos últimos anos, como a seca, que aflige essas localidades, e as crises econômicas e políticas, que dificultam o crescimento dos índices nessas dimensões.

Além dos fatores externos, outro fator que contribuiu para essa oscilação nas dimensões citadas anteriormente foi a falta de empresas do encadeamento produtivo da energia eólica no estado do Rio Grande do Norte, fazendo com que essas localidades sejam impactadas apenas durante o período de construção dos parques eólicos.

Já as dimensão econômicas e tecnológica contribuíram positivamente para esse pequeno crescimento nessas localidades, pois houve uma evolução tecnológica principalmente em relação às turbinas eólicas que, atualmente, chegam a mais de 3Mw por torre. Todavia, as novas políticas praticadas pelo BNDES para incentivar a indústria nacional do setor eólico podem impactar esta dimensão nos próximos anos. Assim como também houve leve desenvolvimento econômico, fator que possa auxiliar em outras dimensões como social no futuro.

Enquanto que a dimensão ambiental merece atenção, pois mesmo que o índice de sustentabilidade energética esteja caminhando para um estado aceitável de sustentabilidade, essa dimensão tem demonstrado decréscimo em seus índices, o que, nos próximos anos, pode passar de um estado aceitável para um estado de alerta.

## 5. Conclusões

A energia eólica se expandiu no Brasil e, respectivamente, no Rio Grande do Norte, com perspectiva de que as instalações dos parques eólicos podem gerar empregos, movimentar o comércio local, trazer melhorias para as localidades através do aumento da arrecadação, além de ser um empreendimento com impactos ambientais muito baixos. Com isso, os empreendimentos eólicos são os possíveis responsáveis para a possibilidade de trazer desenvolvimento sustentável e sustentabilidade energética para as localidades em que estão instalados, já que a energia tem demonstrado ser chave para o alívio da pobreza, melhoria do bem-estar humano e elevação dos padrões de vida.

Assim, o motivo desta dissertação foi mensurar, através do conceito de sustentabilidade energética, as contribuições dos empreendimentos eólicos instalados em municípios do litoral norte do Rio Grande do Norte.

Diante do objetivo principal da pesquisa, foi realizado uma revisão de estudos sobre indicadores de sustentabilidade energética, onde a partir do resultado foi desenvolvido um checklist para mensuração das contribuições das fontes energética sob a perspectiva da sustentabilidade energética de forma geral, no qual foram identificados, a partir de um conjunto de indicadores, 122 que, após passarem por uma filtragem em torno de suas descrições, se transformaram em 62 indicadores, divididos em sete dimensões: social, econômica, ambiental, política, tecnológica, territorial e cultural.

Portanto esse conjunto de indicadores de sustentabilidades desenvolvidos podem ser utilizados para mensurar a sustentabilidade energética para qualquer fonte de geração elétrica. Já em relação a energia eólica, foram selecionados pelo autor a partir de estudos de impactos socioambientais da energia eólica 41 indicadores para mensurar contribuição da energia eólica sob a perspectiva da sustentabilidade energética, no que se refere aos indicadores utilizados para avaliação contribuição dos empreendimentos eólicos nos municípios que tiveram parques eólicos instalados em seu território no Rio Grande do Norte, foram selecionados 14 indicadores, divididos em cinco dimensões: social, econômica, ambiental, tecnológica e territorial.

Os municípios pesquisados nesta dissertação tiveram instalações de parques eólicos em seus territórios entre os anos de 2008 e 2015, no entanto, a maior parte desses parques foi instalada entre 2014 e 2015.

Portanto os empreendimentos eólicos foram inseridos no estado do Rio Grande do Norte com a perspectiva que houvesse uma melhora na sustentabilidade energética da região com auxílio, na diversificação das fontes energéticas e eficiência energética, assim como também que a inserção desse empreendimento contribuiriam para o desenvolvimento da região sob viés da sustentabilidade.

No entanto através dos índices e indicadores, percebemos que, em relação à dimensão social, há uma insignificante melhora nas regiões em que os parques eólicos têm sido instalados. Contudo, alguns fatores merecem atenção. Em relação aos indicadores da dimensão social, no que se refere à geração de emprego, ao acesso à eletricidade e ao impacto da conta de energia no rendimento do residente, esses têm tido uma contribuição positiva. Porém singela, já que a questão dos empregos tem alguns gargalos que devem ser observados, tais como a sazonalidade dos trabalhos que ocorrem devido à falta do encadeamento produtivo, deixando para os residentes dessas localidades apenas empregos temporários em construção de parques eólicos, como também fazendo com que não haja um crescimento na renda, já que os empregos de construções civil dos parques eólicos têm menores remunerações do que em fabricas do encadeamento produtivo do setor eólico.

Já para a dimensão econômica, é possível perceber melhora em relação aos três indicadores, na qual houve um aumento na arrecadação dos municípios, algo importante, tendo em vista o momento que Brasil passa com diversas cidades em crise financeira. Outra questão é que as instalações contribuem com as reservas energéticas, que permitem aos municípios crescerem e atraírem novos empreendimentos comerciais, movimentando a sua economia. No entanto, é importante salientar que essa arrecadação pode cair drasticamente no momento em que os parques pararem de ser construídos, pois essa atividade gera arrecadação de impostos apenas no período de construção.

Na dimensão ambiental, apesar de haver os indicadores em condição alta em relação à contribuição sustentabilidade energética e da energia eólica ser considerada uma fonte energética limpa, tem de ser vista com atenção, visto que os três indicadores têm decrescido, inclusive com o indicador desmatamento, que mudou sua condição de média para em baixa nos anos de 2014 e 2015. Esse fator é de extrema importância, já que, em alguns casos, os parques eólicos estão sendo instalados em regiões com ecossistema de dunas, o qual é vulnerável a mudanças.

Com relação à dimensão tecnológica, essa tem crescido de acordo com a evolução da inserção do encadeamento produtivo eólico no Brasil e de questões políticas, como políticas

de incentivos tributários, mudanças nos financiamentos em relação a exigências, prazos e juros. Por outro lado, a dimensão territorial demonstra que a relação entre a energia eólica e a agropecuária tem sido harmoniosa, havendo crescimento nesse índice mesmo em um período difícil para esse setor, já que a região Nordeste sofre há cinco anos com seca.

Portanto, a partir dos índices, foi possível perceber que as instalações de parques eólicos têm contribuído pouco para os municípios em relação a sustentabilidade energética, pois apesar de estar adicionando uma grande quantidade de energia na balança energética, os empreendimentos tem pouco auxiliado os municípios da região em relação aos empregos, à movimentação do comércio e à melhoria no acesso à energia, entre outras questões, contrariando as perspectivas gerada pela população. Havendo, no entanto, alguns gargalos que podem fazer com que esse impacto das instalações de usinas eólicas seja melhorado nessas localidades, como a questão da sazonalidade dos empregos, da possível queda de arrecadação dos impostos no futuro, como também da proteção de zonas costeiras com ecossistemas dunares, que são extremamente vulneráveis aos desmatamentos ocorridos na implementação dos parques eólicos.

Com isso, as conclusões desta pesquisa confirmam parcialmente a premissa de que as instalações de parques eólicos tem contribuído para melhoria sobre a perspectiva da sustentabilidade energética nas localidades, pois, essa melhoria e esses benefícios se demonstram ser temporários em muitos casos, fazendo com que essa momentânea contribuição aos municípios possam mudar em um futuro próximo, tornando um condição próxima do média em uma condição ruim. Tal fato se deve aos problemas citados anteriormente, que precisam do cuidado dos gestores públicos para que, no futuro, as instalações de parques eólicos contribuam de uma maneira mais significativa para o desenvolvimento sobre o viés da sustentabilidade energética dos municípios.

Dentre as variáveis selecionadas para este trabalho, duas foram deixadas de fora, devido ao fato de não serem viáveis com dados secundários e a falta de tempo para coleta de dados primários. Então, mesmo que as dimensões política e cultural sejam consideradas de extrema importância para a sustentabilidade, foram excluídas das dimensões selecionadas devido à falta de dados nas localidades pesquisadas, tornando-se assim uma limitação deste trabalho.

Diante das limitações expostas acima, sugerimos que em, futuras pesquisas, seja feito um estudo de caso, em que se acrescente as duas dimensões excluídas (cultural e política), como também sejam utilizados dados primários, para que se obtenha, assim, dados mais

confiáveis para mensuração da sustentabilidade energética e contribuição das instalações eólicas em municípios.

## REFERÊNCIAS

AFGAN, Naim H.; DARWISH, Mohammad; CARVALHO, Maria G. Sustainability assessment of desalination plants for water production. *Desalination*, v. 124, n. 1, p. 19-31, 1999.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Proposta de indicadores de sustentabilidade energética da ANEEL. Brasília: ANEEL. 1999. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ANEEL. A compensação financeira e o seu município. Disponível em: . Acesso em: 18 Jun. 2016.

BARROSO NETO, Hildeberto. Avaliação do processo de implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia-PROINFA, no Estado do Ceará: a utilização da fonte eólica. 2010.

BERMANN, Célio. Energia no Brasil, Para que? Para quem?: crise e alternativa para um país sustentável. Editora Livraria da Física, 2002.

BORGES, Fabricio Quadros. Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará (2001-10). *rap—rio de Janeiro*, v. 46, n. 3, p. 737-51, 2012.

BRASIL ENERGIA. **Energia Eólica – Anuário 2014/2015**. Rio de Janeiro: Editora Brasil Energia Ltda, 2014.

BURGUILLO, M. Y DEL RÍO, P.(2008):“La contribución de las energías renovables al desarrollo rural sostenible en la Unión Europa. **Pautas teóricas para el análisis empírico**”. **Tribuna de Economía, 2008**.

CALVACANTI, Clóvis. Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável. Cortez; Fundação Joaquim Nabuco, 1995.

CAMARGO, A. S. G.; UGAYA, C. M. L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. *Revista Educação e Tecnologia*, n. 8, p. 1-21, 2004.

CAMPOS, Juarez José Ferraz de. Sustentabilidade energética no Brasil: proposta de indicadores para elaboração de relatórios de sustentabilidade por empresas do setor elétrico. 2005.

CÂNDIDO, G.A; CAVALCANTI, R.F.R.R.M. ENERGY SUSTAINABILITY: proposed indicators and their contributions to the adoption of more effective policies and actions for the energy sector. *Holos*, v. 8, 2017.

CASTRO, Rui. Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2011.

COSERN. Potencial Eólico do Estado do Rio Grande do Norte. COSERN. 2003.

DE ABREU, Yolanda Vieira; DE AZEVEDO, Marcelo Romão Manhães. **Racionamento de energia elétrica de 2001: o estado do Tocantins**. Yolanda Vieira de Abreu, 2009.

DE ANDRADE, Andre Luiz Campos; MATTEI, Lauro Francisco. O trinômio economia, energia e meio ambiente. *Revista Nexos Econômicos*, v. 6, n. 1, p. 109-128, 2013.

DE BARROS, Evandro Vieira. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. 2007.

DEL RÍO, Pablo; BURGUILLO, Mercedes. Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 12, n. 5, p. 1325-1344, 2008.

DOS REIS, Lineu Belico. Geração de energia elétrica. Editora Manole, 2015.

DUTRA, R. M. Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. Empresa de Pesquisa Energética, 2011. Disponível em: <http://epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>.

EWEA. Wind at Work - Wind Energy and Job Creation in the EU. Bruxelas: European Wind Energy Association, 2008. Disponível em: [http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/Wind\\_at\\_work\\_FINAL.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/Wind_at_work_FINAL.pdf).

EWEA. *Wind energy – the facts*. 2004. Disponível em: [www.ewea.org](http://www.ewea.org). Acessado em: 13/02/2016.

GELLER, Howard Steven; BARBOSA, Mario Vidal; SCHULER, Marcio Edgar. Revolução energética: políticas para um futuro sustentável. Relume Dumará, 2003.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas De Pesquisa Social**. 5.ª ED. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDEMBERG, José. Energia e desenvolvimento. *Estudos Avançados*, v. 12, n. 33, p. 7-15, 1998.

GONÇALVES, M. J. Q., SALLES, J. A. C., PIZOLATTO, N. D. Implantação de uma Usina Eólica – Avaliação Estratégica e Análise da Viabilidade Operacional e Econômica do Projeto. Rio de Janeiro, 2007. 15p.

GREENPEACE. Wind Force 12. 2003. Disponível em: <http://4dlab.info/energy/energy-wind-windforce-12.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2016.

GWEC. *Global wind energy outlook 2008*. 2008. Disponível em: [www.gwec.net/](http://www.gwec.net/). Acessado em: 30/11/2016.

HELIO INTERNATIONAL. Guidelines for observe: reporters. France: Helio International, 2005. Disponível em: <http://www.helio-international.org> Acesso em: 20 jan. 2016.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Energy Indicators For Sustainable Development: Guidelines And Methodologies**. IAEA. 2005.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Energy Indicators For Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand**. IAEA. 2007.

International Energy Agency (IEA). *International Energy Outlook 2013*. Paris, 2013

JANNUZZI, G. e SWISHER, J.. Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis. Campinas: Editora Autores Associados. 1997.

JANNUZZI, Gilberto de Martino. A conservação e o uso eficiente da energia no Brasil. In: <http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/06.shtml>. Acessado em 13/04/2016.

LAGE, A. C. *Administração pública orientada para o desenvolvimento sustentável. Um estudo de caso: os ventos das mudanças no Ceará também geram energia*. 2001. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Escola Brasileira de Administração Pública, FGV, Rio de Janeiro.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Procedimentos básicos, pesquisas bibliográficas. 1992.

MACEDO, Luziene D. **Produção de energia elétrica por fonte eólica no Brasil e aspectos de seu impacto na região Nordeste e Rio Grande do Norte**. Campinas: UNICAMP. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, 2015. (Tese de Doutorado).

MACHADO, Fernando Vieira. **Indicador de sustentabilidade energética: um modelo de avaliação para a governança regulatória**. III Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS). Brasília-DF, 23 a 26 de maio de 2006. Disponível em: <[http://www.anppas.org.br/encontro\\_anual/encontro3/arquivos/TA366-13032006-172748.DOC](http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro3/arquivos/TA366-13032006-172748.DOC)>. Acesso em: 13 fev. 2016.

MARTINS, Maria de Fátima; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM): metodologia para cálculo e análise do IDSM e classificação dos níveis de sustentabilidade para espaços geográficos. João Pessoa: SEBRAE, 2008.

MEDOWS, D. (1992). *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse - Envisioning a Sustainable Future*. Post Mills, Chelsea Green.

MME & EPE. *Plano nacional de energia 2030*. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

MORESI, E. (2003). Metodologia de Pesquisa. Programa de Pós-graduação stricto sensu em gestão do conhecimento e da tecnologia da informação da Universidade Católica: Brasília.

NAKICENOVIC, N. Energy Scenarios for Sustainable Development. Seminário Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia. UNICAMP, fev. 2002. Disponível em . Acessado em 13 fev. 2016.

NÓBREGA, A. P.; POMPERMAYER, M. L. Energia eólica: o panorama do setor elétrico brasileiro e o cenário internacional. X Encontro Latino-Americano e do Caribe em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos, Poço de Caldas, 2003.

OECD. *The Oslo Manual: The Measurement of Scientific and Technical Activities*. Paris: OECD; Eurostat, 1997.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. A Conferência do Rio de Janeiro–1992 (Eco-92): Reflexões sobre a Geopolítica do Desenvolvimento Sustentável. VI Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade–ANPPAS. Belém-PA, v. 18, 2012.

OLIVEIRA, Luciano B.; SOARES, Jeferson B.; LA ROVERE, Emilio L. A Expansão Sustentável do Setor Elétrico Brasileiro a partir do Uso de Indicadores de Sustentabilidade como Instrumento de Apoio à Decisão.

PACCA, S.; PARENTE, V.; DUTRA, RM. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP.

PINTO, M. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PNUD, Guatemala. La democracia en América Latina. Naciones Unidas, São Paulo, 2004.

RAMETSTEINER, E.; PÜLZL, H.; ALKAN-OLSSON, J.; FREDERIKSEN, P. Sustainability indicator development—Science or political negotiation? *Ecological Indicators*, v.11, N. 1, P.61-70, 2011.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A. & CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

RIBEIRO, Anabela Rodrigues et al. Coordenação do Sistema de Protecção numa Rede de Média Tensão com elevada penetração de Geração Eólica. **Master of Science, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Porto, Porto, 2010.**

S. FANKHAUSER; F. SEHLEIER; N. STERN; Climate change; innovation and jobs; *Climate Policy*; 8; 2008; pp. 421-429.

SACHS, Ignacy. Desenvolvimento incluyente, sustentável, sustentado. Editora Garamond, 2004.

SANTOS, Francisco Carlos Barbosa dos. **Desenvolvimento e análise de um índice de sustentabilidade energética utilizando lógica fuzzy**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Reatores) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-04082011-103327/>>. Acesso em: 10-01-2016.

SCHUTTE, Giorgio Romano. Energia e desenvolvimento sustentável no Brasil em comparação internacional. 2015.

SIMAS, Moana and PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estud. av.* [online]. 2013, vol.27, n.77, pp. 99-116. ISSN 0103-4014.

SOUZA, A. D. Avaliação da energia eólica para o desenvolvimento sustentável diante das mudanças climáticas no nordeste do Brasil. 2010.

THOMAS, Isabelle; FRANKHAUSER, Pierre; BIERNACKI, Christophe. The morphology of built-up landscapes in Wallonia (Belgium): A classification using fractal indices. *Landscape and urban planning*, v. 84, n. 2, p. 99-115, 2008.

UDAETA, M.E.M Planejamento Integrado de Recursos Energéticos -PIR- para o setor elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável). São Paulo, 1997. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

United Nations Development Programme. World energy assessment, energy and the challenge of sustainability. UNDP, New York 2000.

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicador de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas 2006.

VEIGA, José Eli da. Indicadores de sustentabilidade. *Estudos avançados*, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. Editora Atlas SA, 2000.

WORLD ENERGY COUNCIL (WEC). The Role of Nuclear Energy in Europe 2007.

