



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**



JUACELI ARAÚJO DE LIMA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO HÍBRIDA DE ENERGIA SOLAR E
EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO**

ORIENTADOR: ENIO PEREIRA DE SOUZA, Dr.

CAMPINA GRANDE - PB

2016

JUACELI ARAÚJO DE LIMA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO HÍBRIDA DE ENERGIA SOLAR E
EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais PPGRN, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de Doutora em Recursos Naturais.

Orientador: Enio Pereira de Souza, Dr.

Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais.

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Competitividade.

CAMPINA GRANDE – PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L732a

Lima, Juaceli Araújo de.

Análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica no nordeste brasileiro / Juaceli Araújo de Lima. – Campina Grande, 2016.
138 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. Enio Pereira de Souza.

Referências.

1. Energia Renovável. 2. Sistemas Híbridos de Energia. 3. Mapas de Complementaridade. 4. BRAMS. I. Souza, Enio Pereira de. II. Título.

CDU 620.92(043)

JUACELI ARAÚJO DE LIMA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA GERAÇÃO HÍBRIDA DE ENERGIA SOLAR E EÓLICA
NO NORDESTE BRASILEIRO.**

APROVADA EM: 04/02/2016

BANCA EXAMINADORA



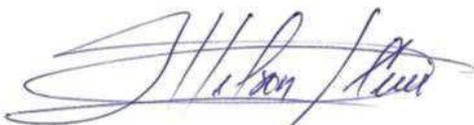
Dr. ÊNIO PEREIRA DE SOUZA

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



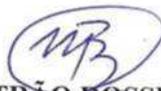
Dr. GESINALDO ATAÍDE CÂNDIDO

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. WILSON FABLO CURÍ

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. MAURICIO BELTRÃO ROSSITER CORREA

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. RICARDO MOREIRA DA SILVA

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de Tese aos meus filhos, Felipe Lima e Igor Lima, pois quando achei que não seria mais possível realizar meu Doutorado, foi justamente o nascimento deles que me trouxe de volta a minha cidade natal, e conseqüentemente a realização desta Tese. Dedico também aos meus pais, Juarez Farias e Celi Lima, que sempre me deram total suporte para educação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, meu pai todo poderoso, por ter me presenteado a possibilidade de realização de meu Doutorado, pois quando imaginei que as portas haviam se fechado devido ao fato de ter engravidado e esta morando em outro Estado, mas a gravidez de risco era designios do próprio Deus, pois ele havia traçado meus caminhos conforme meus sonhos mais íntimos, e me trazido de volta para Campina Grande, minha cidade natal, na casa de meus pais, para tentar sobreviver e salvar a vida de meus filhos gêmeos que ainda estavam no meu ventre. Após o nascimento e 30 dias de UTI, com meus filhos já fora de perigo, me submeto a esta seleção de doutorado, e meus filhos, que achei serem empecilhos para esta missão, tornaram-se os maiores motivadores, e com menos de 1,5 kg de peso, se apoiavam em meus braços para que pudesse estudar para seleção. Vitória e presente de Deus! fui aprovada! e com o grande apoio de meus Pais, concluo mais esta importante etapa de minha vida. Agradeço a eles, meus pais Juarez Farias e Celi Lima, e meus filhos Felipe Lima e Igor Lima, que são minha família, pelo suporte, pela torcida e pela inspiração, já que meu pai foi professor desta Instituição, contribuindo também para a formação de diversos jovens como eu, hoje aposentado, cujo nome ainda é horado nesta IES. Meus Filhos, Felipe e Igor, foram os motivos, pelos quais quis fazer o meu melhor, para propiciar para eles uma vida digna, já que tanto lutaram para sobreviver. Agradeço ao Meu Orientador Enio Souza, que confiou e depositou em minha pessoa expectativas científicas, acreditando em nosso potencial juntos, agradeço a minha amiga Sandra Sereide, que sempre demos forças uma para outra. E por fim, agradeço a Minha Virgem Maria Santíssima, a quem deposito fielmente minhas orações, pedidos e agradecimentos. Esta foi uma grande vitória em minha vida, pois como mãe de gêmeos, a disponibilidade estaria mais limitada, mas Deus organizou minha vida e meu tempo para a realização desta pesquisa.

EPÍGRAFE

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

(Isaac Newton)

RESUMO

Mediante crise energética referenciada no contexto nacional, surge à necessidade de se estudar alternativas viáveis capazes de contribuir com a Matriz energética. Este trabalho, apresenta uma proposta de sistema híbrido de energia, que possibilite usar simultaneamente a energia solar e eólica, respondendo desta forma o objetivo de avaliar como a sustentabilidade da geração híbrida solar e eólica pode contribuir para o desenvolvimento sustentável do Nordeste brasileiro, através de sua matriz energética. Para o alcance deste objetivo, se fez necessário Identificar os potenciais solar e eólico no Nordeste brasileiro para o período de 2010 e 2011, resultando na construção do Mapa de Complementaridade de energia Solar e Eólico, que apresenta os melhores potenciais de energia solar e eólica, indicando a simultaneidade através de um sistema híbrido, por esta análise surge a necessidade de utilização e adaptação de indicadores de desenvolvimento energético sustentável, contribuindo para determinação das regiões mais propícias em termos de relevo e hidrografia, e que ao mesmo tempo determinem o menor impacto ambiental e turístico. Para este resultado, se fez necessário identificar e adaptar um modelo de Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável – IEDS, o modelo utilizado foi o Modelo proposta pela IAEA. Para a utilização destes indicadores, foram utilizados dados de órgãos competentes como Ministério de Minas e Energia, Embrapa, EPE e Abrelpe, desenvolvendo uma análise adaptada do IEDS. Desta forma, os sistemas híbridos de energia solar e eólicos, mostraram-se propícios e sustentáveis, inclusive com a apresentação de sistemas de armazenamento de distribuição de energia. O mapa de complementaridade, gerado através do modelo numérico: *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* – BRAMS, conseguindo apresentar as áreas ideais para aplicação de sistemas híbridos, os quais puderam ser percebidos, dentre os Estados nordestinos, nos Estados do Rio grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, os demais apresentaram padrões inferiores. Desta forma, desconsiderando à faixa litorânea, correspondente a região turística, que deve ser estrategicamente resguardada, foram indicados os intervalos de variação solar e eólica que se encontram na variação de 1250 a 1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), descritas e analisadas áreas por área no decorrer do trabalho.

Palavras-chave: Sistemas híbridos, Mapas de Complementaridade, Energia Renovável, BRAMS.

ABSTRACT

In view of the energy crisis that reaches Brazil, it arises the need to study suitable alternatives that contribute to the energy matrix. This study presents a proposal for energy hybrid system, which allows simultaneously the use both solar and wind energy, thus addressing the goal of how to assess the sustainability of wind and solar hybrid generation can contribute to the sustainable development of the Brazilian Northeast, through its energy matrix. To achieve this objective, it was necessary to identify the solar and wind potential in Northeast Brazil for the period 2010 and 2011, resulting in the construction of solar power Complementarity Map and Wind, which has the best potential for solar and wind power, indicating concurrency through a hybrid system. Through this analysis it emerges the need to use and adaptation of sustainable energy development indicators, contributing to determining the most favorable regions in terms of topography and hydrography, and at the same time determine the lowest environmental impact for tourism. For this result, it was necessary to identify and adapt a model Energy Indicators for Sustainable Development - IEDs, the model used was proposed by the IAEA. For the use of these indicators, the competent sources of data were used such as the Ministry of Mines and Energy, Embrapa, EPE and Abrelpe, developing an analysis adapted from IEDs. Thus, the hybrid systems of solar and wind energy, proved amenable and organic, including the production of power distribution storage systems. The complementarity map generated by the numerical model: *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* - BRAMS, presented the ideal areas for application of hybrid systems, which could be perceived from the northeastern states: Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe and Bahia, the others had lower standards. Thus, excluding the coastal strip, corresponding to the tourist area, which should be strategically guarded, the solar and wind variation intervals are indicated which are in the range 1250-1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), described and analyzed areas by during the work area.

Keywords: Hybrid systems, Complementarity maps, Renewable Energy, BRAMS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estrutura da Tese.....	30
Figura 02: comercialização e serviços correlatos de geração, transmissão e distribuição de energia	36
Figura 03: Leilões.....	39
Figura 04: Diagrama de Blocos de um sistema híbrido PV / Vento.....	60
Figura 05: Percentagem da população sem acesso à eletricidade.	61
Figura 06: Fontes de energia renováveis híbridos interligados e seu algoritmo de controle.	62
Figura 07: Esquemática do sistema integrado de vento-solar-MHP base.....	67
Figura 08: DC configuração acoplada pequeno sistema integrado baseado hidro-vento-solar.....	68
Figura 09: AC configuração acoplada de vento-solar com base em sistema integrado	68
Figura 10: Configuração acoplada híbrida de pequenas hidro-vento-solar com base em sistema integrado	69
Figura 11: Previsão do crescimento do consumo global de energia 2007-2050.	71
Figura 12: Fonte de alimentação com fornecimento de energia renovável, armazenamento de bateria, um controlador inteligente, capacidades de balanceamento de carga, e uma conexão de laço da grade.	73
Figura 13: Esquema do método e técnica utilizados na pesquisa.....	82
Figura 14: Evolução Histórica do Desenvolvimento Sustentável.....	88

LISTA DE FOTOS

Foto 01: Parque Híbrido de Energia Renovável em Tacaratu - PE..... 120

LISTA DE MAPAS

Mapa 01: Mapa da Radiação solar global diária – Média típica	46
Mapa 02: Mapa da velocidade média anual do vento a 50m de altura	49
Mapa 03: Mapa do Nordeste Brasileiro	75
Mapa 04: Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$).....	111
Mapa 05: Desvio da Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$).....	113
Mapa 06: Velocidade do Vento (m/s)	114
Mapa 07: Desvio da Velocidade do Vento (m/s)	115
Mapa 08: Complementaridade da Radiação Solar Incidente e da Velocidade do Vento ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	117
Mapa 09: Desvio da Complementaridade da Radiação Solar Incidente e da Velocidade do Vento ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$).....	123

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 01: Havmoller para radiação solar	124
Diagrama 02: Hovmoller para o vento	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Instituições que compõem o setor elétrico Brasileiro (Jan/2007)	32
Quadro 02: Entidades vinculadas ao MME	33
Quadro 03: Entidades afins ao MME.....	34
Quadro 04: Empresas Geradoras e Distribuidoras de energia Elétrica.....	35
Quadro 05: Perfil da Chesf	37
Quadro 06: Ambiente de Contratação	38
Quadro 07: Indicadores Sociais, segundo a IAEA.....	91
Quadro 08: Indicadores econômicos, segundo IAEA	92
Quadro 09: Indicadores Ambientais, segundo a IAEA	94
Quadro 10: SCO4: Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível	103
Quadro 11: ECO3: Eficiência na conversão e distribuição de energia	106
Quadro 12: ECO2: Preservação do Turismo na Região	108
Quadro 13: ENV1: Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Consumo residencial de Eletricidade no Nordeste	27
Tabela 02: Consumo Residencial de Eletricidade	28
Tabela 03: Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável	100
Tabela 04: Capacidade instalada por região e unidade da federação no Brasil (MW): Região Nordeste	105

LISTA DE SIGLAS

ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AR1 - First Assessment Report
BEN - Balanço Energético Nacional
CAES - Compressed air energy storage - Armazenamento de energia de ar comprimido
CBEE - Centro Brasileiro de Energia Eólico
CCEAR – Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE – Conta Desenvolvimento Energético
CDS - Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (Commission on Sustainable Development - CSD)
CFC – Clorofluorcarbonos
CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
DRES - Distributed Renewable Energy Sources – Distribuição de Fontes Renováveis de Energia
EEA - Eurostat and European Environment Agency
EISD - Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável
Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FINEP – Financiamento de Estudos e Projetos
GEDAE – Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas
GPS - Serviço de Aquisição do Governo
GTES – Grupo de trabalho de Energia Solar
HAN - Home Area Network - Área de comunicação da rede de casa

HRES - Hybrid Renewable Energy Systems - Sistemas Híbridos de Energias Renováveis

IAEA - International Atomic Energy Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICCM - Integration, Control, Communication and Metering - Integração, Controle, Comunicação e Medição

IDS - Índice de Desenvolvimento Sustentável

IEA - International Energy Agency

IPCC - Special Report of the intergovernmental Panel on climate Change – Cambridge University Press

IRES - Integrated Renewable Energy System – Sistema Integrado de Energia Renovável

LCOE – Levelized Cost of Energy – Custo Nivelado de energia

LER – Leilões de Energia de Reserva

LFA – Leilão de Fontes Alternativas

MME – Ministério de Minas e Energia

OMM - Organização Meteorológica Mundial

Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A

PHS - Pumped hydroelectric storage - Armazenamento bombeado hidrelétrica

PNE – Plano Nacional de Energia

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PV – Photovoltaic – Fotovoltaica

SCL - Secure Communication Line - Linha de Comunicação Segura

SEB – Sistema Elétrico Brasileiro

SMES - Superconducting magnetic energy storage - Supercondutores de armazenamento de energia magnética do sistema

UNCED - United Nations Conference on Environment and Development

UNDESA - United Nations Department of Economic and Social Affairs

WAN - Wide Area Network - Área de comunicação da rede extensa

SUMÁRIO

CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO	20
1.1 PREMISSAS E PRESSUPOSTOS DA PESQUISA	20
1.2 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	24
1.3 PROBLEMA DA PESQUISA	25
1.4 OBJETIVOS	25
1.4.1 Objetivo geral	25
1.4.2 Objetivos específicos	26
1.5 ENFOQUE INTERDISCIPLINAR DO ESTUDO	26
1.6 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DA PESQUISA.....	27
1.7 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	28
1.8 O CARÁTER INÉDITO DA PESQUISA	29
1.9 ESTRUTURA DA TESE	29
CAPÍTULO II- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1 Sistema Elétrico Brasileiro	31
2.2 Modelo de Gestão energética	33
2.3 As Mudanças Climáticas e sua Interferência no Cenário Energético	39
2.4 Interferência no Desenvolvimento do Cenário Energético.....	42
2.5 Complementaridade Energética.....	44
2.6 Potencial Solar	45
2.7 Potencial Eólico	48
2.8 Potencial para sistemas híbridos de energias renováveis.....	50
2.9 Elaboração dos Mapas de complementaridade dos potenciais Solar e Eólico	50
2.10 Elaboração do Mapa de Complementaridade: Modelo Atmosférico BRAMS.....	51
2.10.1 O Modelo Atmosférico <i>Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS</i>	51
2.10.2 Modelo regional BRAMS	53
2.10.3 Aplicação do BRAMS.....	54
2.10.4 Avanços no Modelo BRAMS	55
2.10.5 Principais Características das simulações	56
2.11 Analisando a viabilidade da Geração Híbrida de Energia Solar e Eólica.....	56
2.11.1 Desafios do Sistema de Energia para os países em Desenvolvimento	57
2.11.2 Benefícios dos Sistemas Híbridos	59

2.11.3	Fontes de Energia Renovável com potencial para a utilização do sistema de energia híbrido	62
2.11.3.1	Radiação solar global	63
2.11.3.2	A Energia Eólica	64
2.11.4	Tecnologias de Armazenamento para Sistemas Integrados.....	65
2.11.5	A tecnologia para a contribuição na integração de fontes renováveis.....	69
2.11.6	Convencional Grid e a necessidade de Smart Grid.....	71
2.11.6.1	Smart grid	72
CAPÍTULO III - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS		75
3.1	Descrição da área de estudo.....	75
3.1.1	Aspectos socioeconômicos da região nordeste do Brasil.....	77
3.1.2	Aspectos ambientais.....	78
3.2	Métodos e Técnicas da pesquisa	78
3.2.1	Métodos de Pesquisa	79
3.2.2.1	Quanto à natureza da pesquisa	79
3.2.2.2	Quanto à abordagem do problema.....	80
3.2.2.3	Quanto aos objetivos da pesquisa:.....	80
3.2.2.4	Quanto aos procedimentos técnicos utilizados para desenvolver a pesquisa.....	81
3.3	Procedimentos de Coleta de dados	82
3.4	Estruturação metodológica da pesquisa – sequência de etapas.....	83
3.5	O Modelo Atmosférico Utilizado.....	83
CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS		85
4.1	A Contribuição dos Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável na análise do Mapa de complementaridade energética solar e eólico	86
4.1.1	Desenvolvimento Sustentável	87
4.1.2	Indicadores e suas contribuições para o desenvolvimento sustentável.....	89
4.1.3	Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável.....	90
4.1.4	Dimensões do Desenvolvimento Sustentável.....	95
4.1.4.1	Dimensão Social.....	95
4.1.4.2	Dimensão Econômica.....	96
4.1.4.3	Dimensão Ambiental.....	97
4.1.4.4	Dimensão Institucional	97
4.3	Análise do modelo proposto dos Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável – EISD	101

4.3.1 Indicadores Energéticos Sociais para Desenvolvimento Sustentável	102
4.3.2 Indicadores Energéticos Econômicos para Desenvolvimento Sustentável	105
4.3.3 Indicadores energéticos ambientais para desenvolvimento sustentável.....	108
4.4 considerações sobre a escolha e utilização dos indicadores	110
4.5 Análises dos Mapas de Radiação Solar e Velocidade do Vento para elaboração do Mapa de complementaridade	110
4.6 Elaboração e análises do Mapa de complementaridade.....	117
CAPÍTULO V - CONCLUSÃO	127
5.1 Recomendações	128
5.2 Limitações	128
5.3 Sugestão para futura pesquisa.....	129
REFERÊNCIAS	131

CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO

O capítulo Introdução apresentará um relato histórico da evolução energética, enfatizando a importância que exerce na formação econômica, social e ambiental das civilizações modernas, apontando os fatores que motivaram a presente pesquisa diante das fragilidades do sistema energético brasileiro. Serão apresentados também o problema e os objetivos que norteiam a pesquisa, destacando o enfoque interdisciplinar do estudo, suas contribuições como pesquisa, a delimitação e o caráter inédito, finalizando com a estrutura da Tese.

1.1 PREMISSAS E PRESSUPOSTOS DA PESQUISA

A energia elétrica tornou-se desde o início do século XX um grande facilitador do nível de qualidade de vida de uma população, sendo um dos principais indicadores de desenvolvimento econômico de uma sociedade, implicando consideravelmente no nível de crescimento industrial, comercial e no setor de serviços, facilidades advindas da demanda energética no sistema produtivo, proporciona economias de escala facilitando preços mais acessíveis tanto no setor de produtos quanto no setor de serviços. Este cenário positivo começa a apresentar suas principais preocupações no final da década de 1960, quando se percebe as limitações em termos de abundância dos recursos energéticos.

Neste processo evolutivo, na tentativa de suprir a demanda mundial, os recursos energéticos evoluíram da força endossomática, que é a força muscular, até a energia nuclear, após a Segunda Guerra Mundial. Neste intervalo de desenvolvimento, utilizou-se também o carvão vegetal, a energia mecânica, a energia cinética dos ventos, moinhos hidráulicos e de vento, carvão mineral, derivados do petróleo como o querosene, diesel e gasolina, gás natural e eletricidade, energia térmica, solar, eólica, energia ondomotriz (energia das ondas) e, por fim, a exploração da energia nuclear. Esses são alguns exemplos de fontes energéticas.

O aumento populacional e a dependência no uso de tecnologias em atividades diárias estimulam o crescente consumo de energia, refletindo diretamente no uso das fontes energéticas. Desta maneira, depara-se com duas situações: uma

é o possível esgotamento dos recursos naturais e a outra é o impacto ao meio ambiente, causado pela exploração destas fontes energéticas. O fortalecimento da matriz energética mundial, causa preocupação por parte de vários países, de maneira à concentrar estudos no intuito de oferecer suporte às limitações no setor energético, não apenas construindo novas usinas, mas, principalmente, incentivando pesquisas para novas fontes energéticas, estimulando também seu uso sustentável.

No Brasil, na década de 1980 surge um novo conceito, o uso eficiente da energia, mais precisamente em 1985 com a criação do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) coordenado pela Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), determinando que 0,25% da receita operacional líquida das distribuidoras de eletricidade invistam em programas e ações que se caracterizem pela eficiência energética (devendo ser aprovado pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica). Essas práticas de consumo eficiente partem de prerrogativas que estimulam ações educativas e investimentos em equipamentos e instalações.

Como ponto de partida para as ações energéticas, tem-se as questões sustentáveis, que começaram a ser alavancadas em 1972 com a Conferência de Estocolmo, também conhecida como a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, que teve como principal produto a elaboração do PNUMA e vinte anos depois ganhou mais forma com a Rio 92.

Souza (2010) destaca que, construída a partir das diretrizes da Agenda 21 Global e entregue à sociedade em 2002, a Agenda 21 Brasileira é um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do País. Sua elaboração foi coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA e tem como base os seguintes temas: agricultura sustentável; cidades sustentáveis; infraestrutura e integração regional; gestão dos recursos naturais; redução das desigualdades sociais e ciência e tecnologia para o desenvolvimento. Das 21 ações prioritárias estabelecidas na Agenda, a energia renovável ganhou destaque em uma delas. A seguir, transcreve-se um trecho da Agenda:

A energia é o fator essencial de promoção do desenvolvimento. É pela capacidade de gerar e consumir energia que se mede o nível de progresso técnico de uma civilização. Nos últimos duzentos anos, o desenvolvimento industrial teve como fonte de energia básica o carvão e o petróleo, altamente poluentes e não-renováveis e que são hoje os grandes responsáveis pelo efeito estufa.

Não resta dúvida de que precisamos construir urgentemente alternativas ao uso do petróleo. Caminhamos para um modelo energético diversificado, mais limpo e renovável (CPDS, 2002, p. 38.)

E com a constante preocupação nas questões energéticas, o Ministério de Minas e Energia (MME) publicou em 19 de outubro de 2011 no Diário oficial da União (DOU, a Portaria nº594) o “Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEF – Premissas e Diretrizes Básicas”, o qual enfatiza a eficiência energética para os setores da indústria e de micro, pequena e médias empresas, assim como para o setor de transporte, educação, em prédios públicos, na iluminação pública, no saneamento, em aquecimento solar de água. Tudo isso sob o âmbito de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), Mediação e verificação de projetos de eficiência energética (M&V), incentivando parcerias internacionais e financiamentos de iniciativas de eficiência energética, com destaques para linhas de crédito, Caixa Econômica Federal, FINEP – Financiamento de Estudos e Projetos, CDE – Conta Desenvolvimento Energético e linhas de ações propostas.

Neste contexto, o mundo se vislumbra em pesquisas de variadas fontes energéticas, o uso da tecnologia para equipamentos e instalações. No intuito de desenvolver tecnologias que ofereçam suporte para utilizar energias limpas, de maneira mais barata e mais competitiva. Este trabalho apresenta a análise da viabilidade de um sistema híbrido de energia solar e eólica no nordeste brasileiro.

Percebe-se no contexto mundial grandes projetos de parques eólicos com modelos avançados de computadores, assim como também grandes projetos de usinas solares. Os projetos com energia solar ainda contam com a substituição de materiais convencionais que transformam a luz solar em eletricidade, como é o caso do arsenato de gálio e silício, substituído por dispositivos de grafeno ou mesmo nanotubo de carbono, conseguindo ser muito mais eficiente. Na China, por exemplo, a energia gerada a partir dos ventos já ultrapassou a energia nuclear como fonte de eletricidade. Além disso, esse país é o maior produtor de painéis solares do mundo.

Uma alternativa plausível seria utilizar um sistema híbrido, de energia solar e energia eólica, através de uma combinação, onde o uso de um tipo de energia complementaria o uso da outra, considerando alterações climáticas e relevo de cada região, através do mapeamento ou zoneamento de complementaridade dos potenciais solar e eólico do Nordeste. A importância deste zoneamento dá-se pela

identificação de potenciais locais geográficos para a utilização de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico, tornando-se uma ferramenta de planejamento para a análise de radiação solar e da velocidade dos ventos, possibilitando a elaboração dos mapas de complementaridade e o consequente incentivo à utilização de energias alternativas limpas e de fonte inesgotável, favorecendo a universalização da energia elétrica.

A elaboração do Mapa de Complementaridade visa a criação de um sistema híbrido capaz de facilitar a ação integrada da matriz energética sob o contexto solar e eólico, assegurando o uso sustentável da energia na região Nordeste do Brasil. Neste escopo deve ser observado os impactos sociais, econômicos e ambientais proporcionados pelos referidos sistemas, visualizando a sustentabilidade no processo, auxiliando a estabilização do clima no planeta e, em contrapartida, aumentando a geração de energia em um espaço de tempo pequeno, uma vez que estes recursos além de serem renováveis são encontrados em abundância. Porém, as utilizações isoladas destes recursos além de um elevado custo inicial, também teriam como fragilidade a irregularidade temporal, enquanto que na utilização de um sistema híbrido há sistemas autônomos de pequeno e médio porte.

Para a análise dos mapas de radiação solar incidente e de velocidade do vento, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera. O modelo atmosférico utilizado é o *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS* na versão 4.2. O BRAMS é um modelo de mesoescala e inclui no seu código várias opções de parametrizações físicas, dentre elas: radiação de onda longa e de onda curta (CHEN e COTTON, 1983); de turbulência na camada limite planetária (MELLOR e YAMADA, 1982); microfísica de nuvens que segue o esquema descrito por Walko et al. (2000); de convecção rasa desenvolvida por Souza (1999); e, convecção profunda do tipo KUO (1974), modificada por MOLINARI (1985).

A premissa deste trabalho está na análise da viabilidade de um sistema híbrido através da utilização das fontes energéticas solar e eólica de forma complementar contribuindo para o desenvolvimento energético do Nordeste brasileiro.

Enquanto tese, o que há de original e contributivo é a composição dos mapas de complementaridade dos potenciais solar e eólico do Nordeste brasileiro,

no sentido de favorecer a utilização de um sistema híbrido de energia solar e eólico que contribua com a sustentabilidade energética na região.

1.2 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A presente pesquisa foi motivada pela delicada situação energética a qual o mundo vem passando e pelo uso dos recursos naturais, diretamente envolvidos por problemas de ordem ambiental, social e econômicos, promovidos por um grande aumento da população, que impulsiona um aumento da utilização destes recursos. O consumo energético é capaz de contribuir para a medição do desenvolvimento econômico e da qualidade de vida de uma sociedade, devido a fatores como aumento do comércio, expansão da indústria e de seus maquinários, diversificação nas opções de equipamentos e utensílios domésticos visando o conforto da população. Estima-se, por outro lado, que a disponibilidade energética ainda seja inacessível para uma boa parcela da população mundial.

Historicamente, percebe-se o gradual aumento do consumo energético que poderia ter sido melhor acompanhado por um modelo de planejamento energético, que teve maior impulso no final da década de 1980 através das políticas públicas. Por outro lado, essa diversidade de recursos tecnológicos também afetou a relação de geração de energia com o meio ambiente, como é nítido e vem sendo discutido já há algum tempo pela sua atuação na terra, ar e água.

Seus efeitos no ar recaem sobre a poluição oriundas dos grandes centros urbanos, contribuindo para o efeito estufa e sendo refletido nas mudanças climáticas, podendo até ser exemplificado com a incidência das chuvas ácidas. Em termos de terra, estamos sendo arremetidos pelos desmatamentos causados pelos homens que aceleram a desertificação; e na água temos seus reflexos na degradação marinha e costeira, além de alagamentos, devido à implantação de hidroelétricas. E por fim temos a incidência da contaminação radioativa causadas por usinas nucleares, que já vem sendo fator de estudo e inclusive de desativação, mediante seus danos ambientais. A China, por exemplo, vem atuando com a utilização de parques eólicos, e superou a energia nuclear em torno de dois por cento em 2012, iniciativas como estas vêm sendo promovidas principalmente depois de acidentes como o de Fukushima, no Japão.

Outro exemplo internacional da conscientização em termos de consumo energético é o que vem sendo proposto pelo Reino Unido, que estima a compra de 50% de sua eletricidade a partir de energias renováveis limpas, por meio do Serviço de Aquisição do Governo (GPS). E estas ações também vêm sendo objetivos de iniciativas privadas, como a Apple, que apresentou em seu relatório ambiental de 2012 a utilização de 100% de energia renovável para seus centros de dados e 75% para as suas necessidades em geral.

Sobre outro ângulo, tem-se o não abastecimento de áreas intrínsecas do próprio meio rural, que se tornam inviabilizadas por fatores econômicos: a utilização da eletrificação por extensão da rede elétrica, apesar de assegurados pela Lei 10.438/2002, que dispõe sobre a Universalização do serviço Público de Energia Elétrica, e de Resolução nº 223/2003 (ANEEL), que norteia os Planos de Universalização de Energia Elétrica até 2015.

Neste sentido, este trabalho se dispôs a analisar a viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica no Nordeste do Brasil, às tecnologias de conversão na configuração solar-eólica para obtenção de energia, assim como os impactos sociais, econômicos e ambientais proporcionados pelo referido sistema, e consequentemente a gestão da sustentabilidade.

1.3 PROBLEMA DA PESQUISA

Partindo-se da premissa elencada para esta tese, o problema de pesquisa pode ser definido com o seguinte questionamento:

Como a viabilidade energética decorrente da geração híbrida de energia solar e eólica pode ser contributiva para o desenvolvimento sustentável do Nordeste brasileiro?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade da geração híbrida solar e eólica como contribuição para o desenvolvimento sustentável do Nordeste brasileiro.

1.4.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado de maneira a ser validada sua utilização, se faz necessário o desmembramento deste objetivo em objetivos específicos, como divididos e ordenados a seguir:

- Identificar os potenciais energéticos solar e eólico no Nordeste brasileiro para o período de 2010 e 2011;
- Construir mapas de complementaridade energética Solar e Eólico;
- Apontar as áreas propícias para utilização de um sistema híbrido de energia solar e eólica;
- Identificar a viabilidade de um sistemas híbrido de energia solar e energia eólica no nordeste do Brasil.

1.5 ENFOQUE INTERDISCIPLINAR DO ESTUDO

O enfoque interdisciplinar da pesquisa caracteriza-se na inter-relação de temas como Desenvolvimento Sustentável Energético, Energias Renováveis, Climatologia, Desenvolvimento Sustentável em Dimensões Ambientais, Social, Econômica e Institucional, vislumbrando três áreas do conhecimento: Ciências Sociais e Aplicadas, Climatologia e Recursos Naturais.

Como enfoque interdisciplinar de um estudo, Fazenda (2003) descreve que, visa um processo de construção do conhecimento... neste caso em particular, está sendo gerado uma nova linha de conhecimento.

Desta forma, esta pesquisa buscou antever explicações a partir da situação energética no Nordeste brasileiro, visualizando soluções para o problema da crise energética mundial. Como referenciado, esta tese analisou particularmente o Nordeste Brasileiro, através da interdisciplinaridade entre temas como energia, política, economia, ambiente, tecnologia, meteorologia, climatologia e recursos naturais.

1.6 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DA PESQUISA

Para descrever a contribuição científica deste trabalho, tem-se a construção de Mapas de Complementaridade mediante levantamento dos potenciais de energia solar e eólico no Nordeste brasileiro.

Como contribuição, esta pesquisa aponta um mecanismo viável para a matriz energética brasileira, maximizando recursos de energia renovável capaz de contribuir com a minimização da crise energética no Nordeste. Para melhor compreender este crescimento podemos visualizar o crescimento do consumo energético no Brasil, que nos anos de 2002 a 2011 foi marcado por um crescimento em torno de 54%, enquanto que no Nordeste este crescimento se deu em torno de 86% no mesmo período, como apresenta a Tabela 01 (Consumo residencial de eletricidade no Nordeste). Assim, fica evidente a necessidade de pesquisas que fortaleçam a Matriz Energética Brasileira.

Tabela 01: Consumo residencial de Eletricidade no Nordeste

	GWh										
ESTADO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	STATE
BRASIL	72.661	76.144	78.577	83.193	85.810	90.881	95.585	101.779	107.215	111.971	BRAZIL
NORDESTE	10.866	11.859	12.417	13.480	13.980	14.843	16.515	17.999	19.284	20.163	NORTHEAST
Maranhão	972	1.023	1.046	1.127	1.203	1.369	1.466	1.641	1.917	2.041	Maranhão
Piauí	549	608	625	663	665	717	760	808	990	1.029	Piauí
Ceará	1.666	1.806	1.916	2.178	2.255	2.343	2.609	2.791	2.949	3.032	Ceará
Rio Grande do Norte	756	850	898	951	1.063	1.138	1.198	1.312	1.468	1.531	Rio Grande do Norte
Paraíba	764	838	865	1.025	962	977	1.045	1.109	1.264	1.356	Paraíba
Pernambuco	2.295	2.587	2.600	2.795	2.886	3.056	3.206	3.507	3.791	3.933	Pernambuco
Alagoas	563	639	645	686	694	750	809	854	926	1.020	Alagoas
Sergipe	450	500	529	562	592	597	651	734	803	854	Sergipe
Bahia	2.851	3.008	3.292	3.493	3.660	3.897	4.770	5.243	5.176	5.367	Bahia

Fonte: Balanço Energético Nacional BEN 2012/ Ano base 2011(Pág.145) Ministério de Minas e Energia MME.

A Tabela 01 demonstra o consumo residencial de eletricidade no nordeste, apontando os Estados da Bahia, de Pernambuco e do Ceará, como os maiores consumidores de energia, seguidos em ordem decrescente pelos Estados do Maranhão, Rio Grande do Norte, Paraíba, Piauí e Alagoas.

Tabela 02: Consumo Residencial de Eletricidade

REGIÃO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	REGION
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL
NORTE	5,3	5,2	5,2	5,0	5,1	5,2	5,3	5,2	5,5	5,5	NORTH
NORDESTE	15,0	15,6	15,8	16,2	16,3	16,3	17,3	17,7	18,0	18,0	NORTHEAST
SUDESTE	54,9	54,8	54,7	54,7	54,6	54,5	53,9	53,6	52,9	53,0	SOUTHEAST
SUL	17,5	17,0	16,8	16,7	16,4	16,5	16,2	16,1	16,0	15,8	SOUTH
CENTRO-OESTE	7,4	7,4	7,5	7,4	7,6	7,5	7,4	7,4	7,7	7,6	CENTER-WEST

Fonte: Balanço Energético Nacional BEN 2012/ Ano base 2011(Pág.145) Ministério de Minas e Energia MME.

A Tabela 02 apresenta o consumo residencial de eletricidade entre as cinco regiões brasileiras, apontando que em 2002 a maior representatividade deste consumo estava na região Sudeste com 54,9%, e a segunda região que apresentava o maior consumo residencial de eletricidade era a região Sul do país com um percentual de 18,5%, e o Nordeste ocupava a terceira posição com um percentual de 15%. Esta Tabela se reverteu em 2011, pois o percentual de consumo residencial diminuiu proporcionalmente na região Sul e Sudeste e aumentou para 18% na região Nordeste, deixando evidente a necessidade de uma matriz energética sustentável capaz de oferecer uma margem de segurança mediante a crise energética descrita na atualidade.

1.7 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A gestão energética vem sendo objeto de estudos de vários especialistas das mais variadas áreas do conhecimento, relacionadas com áreas como engenharias, meteorologia, administração, economia e ciências naturais, de modo a avaliar critérios técnicos, sociais, políticos, econômicos e ambientais, principalmente no que se faz referência a dados empresariais.

De certa maneira contribuindo para identificação do potencial energético do Nordeste, possibilitando que se torne autossustentável devido principalmente a proposta do mapa de complementaridade, identificando regiões propícias a utilização de não só apenas um tipo específico de energia, mas viabilizando a

utilização de um sistema híbrido de energia, como, por exemplo, a criação de usinas solar e eólica.

1.8 O CARÁTER INÉDITO DA PESQUISA

O caráter inédito da pesquisa vincula-se a utilização do mapa de complementaridade no intuito de mapear regiões de forte poder energético no Nordeste para a utilização de um sistema híbrido de energia que viabilize a criação de usinas solar e eólica, apresentando a viabilidade da utilização de um sistema híbrido, apontando as vantagens destes tipos de energia e do seu uso de forma complementar.

1.9 ESTRUTURA DA TESE

A estrutura desta tese está dividida em capítulos: O capítulo I, que se refere à introdução da tese está disposto em nove subitens incluindo este, discutindo as premissas e pressupostos da pesquisa, apresentando a motivação e a justificativa, indicando o problema da pesquisa, e os objetivos do estudo, destacando o enfoque interdisciplinar e sua contribuição científica, e por fim, ressaltando a delimitação da pesquisa, e seu caráter inédito.

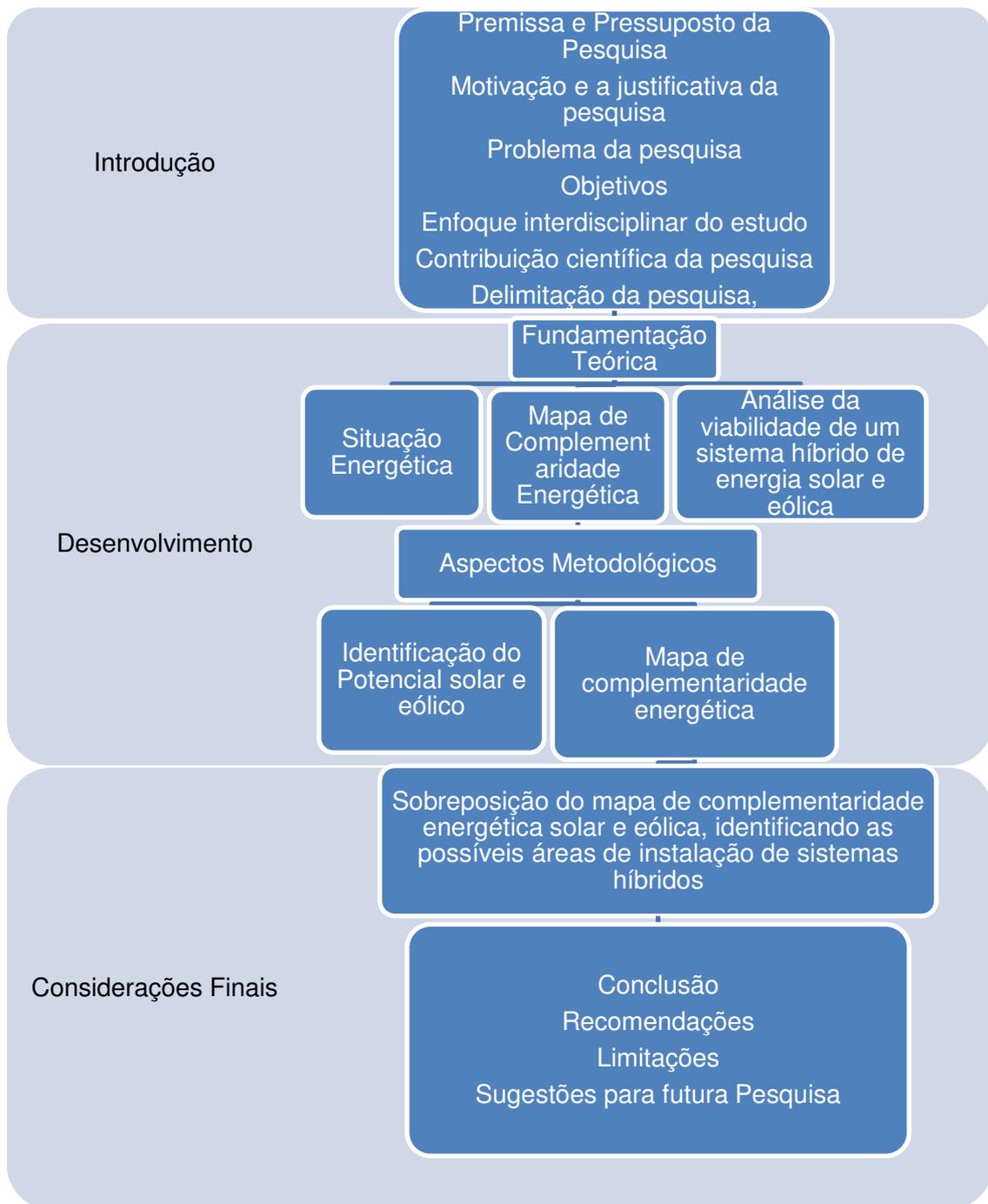
O capítulo II apresenta a abordagem teórica sobre a situação energética no mundo, no Brasil e na região Nordeste do Brasil; apresenta também a dinâmica do Mapa de Complementaridade energética.

O capítulo III por sua vez aborda os procedimentos metodológicos que viabiliza e dá credibilidade à pesquisa.

O capítulo IV é intitulado Resultados e Discussões e apresenta a análise da viabilidade do sistema híbrido de energia solar e eólica através do Mapa de complementaridade do entorno nordestino brasileiro.

O capítulo V apresenta os resultados do mapa de complementaridade apontando a viabilidade de um sistema híbrido de energia solar e eólica. O capítulo 6 apresenta as conclusões indicando algumas recomendações e limitações da pesquisa.

Figura 01: Estrutura da Tese



Fonte: Elaboração Própria (2016).

Mediante o que foi exposto e proposto espera-se que o Mapa de complementaridade energética seja capaz de colaborar com o estímulo e a condução de Projetos de Geração distribuída no Nordeste brasileiro, bem como se torne um atrativo de pesquisa para a comunidade científica.

CAPÍTULO II- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a Fundamentação Teórica da pesquisa, realizada por meio de uma revisão bibliográfica em torno dos temas abordados nesta tese. A princípio será enfatizado o sistema elétrico brasileiro, até mesmo para justificar a importância de uma matriz energética sustentável, apresentando o modelo de gestão energética, neste sentido ainda será enfatizada a interferência das mudanças climáticas no cenário energético nacional, priorizando os reflexos na região nordeste do país, que devido a estas alterações climáticas, vem sendo apresentado limitações nas hidroelétricas principalmente na região nordeste.

Como tentativa de diversificar a matriz energética, será utilizado também a complementaridade energética, outra temática referenciada por apresentar suporte para a viabilidade de um sistema híbrido de energia renovável, e demais temas relacionados, apresentando para cada um deles grandes nomes envolto nos referidos temas.

2.1 Sistema Elétrico Brasileiro

Na sua composição, o Setor Elétrico Brasileiro apresentar diferentes níveis de instituições que formalmente o compõem. No primeiro nível estão as instituições de Estado, compostas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O segundo nível está composto por órgãos que compõem o Poder Executivo, o Poder Legislativo e o Poder Judiciário, onde está inserido o Ministério de Minas e Energia. No terceiro nível hierárquico estão as empresas Estatais e Privadas do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), que podem ser visualizadas no Quadro 01:

Quadro 01: Instituições que compõem o setor elétrico Brasileiro (Jan/2007)

Instituições de Estado		
<ul style="list-style-type: none"> • ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) • ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) • CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) 		
Poder Executivo	Poder Legislativo	Poder Judiciário
<ul style="list-style-type: none"> • MME (Ministério de Minas e Energia) • EPE (Empresa de Pesquisa Energética) • CMSE (Comitê de Monitoramento do Sistema Elétrico) • CNPE (Conselho Nacional de Política Energética) 	<ul style="list-style-type: none"> • Câmara dos Deputados • Senado 	<ul style="list-style-type: none"> • STF (Supremo Tribunal Federal) • STJ (Superior Tribunal de Justiça) • TCU (Tribunal de Contas da União)
<ul style="list-style-type: none"> • Empresas Estatais do SEB 		<ul style="list-style-type: none"> • Empresas Privadas do SEB

Fonte: Monteiro (2007).

Mediante a composição do Sistema Elétrico Brasileiro apresenta-se os o Funcionamento do Sistema de Planejamento energético através do PNE – Plano Nacional de Energia, desenvolvido pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e pelo MME (Ministério de Minas e Energia) a fim de auxiliar no entendimento do Modelo de Gestão Energética Brasileira.

O Ministério de Minas e Energia é o órgão da administração federal direta que representa a União como poder concedente e formulador de políticas públicas, bem como indutor e supervisor da implementação dessas políticas. A competência a que se acomete este órgão está voltada para (MME, 2013):

- I - Energização rural, agroenergia, inclusive eletrificação rural, quando custeada com recursos vinculados ao Sistema Elétrico Nacional; e
- II - Zelar pelo equilíbrio conjuntural e estrutural entre a oferta e a demanda de recursos energéticos no País.

2.2 Modelo de Gestão energética

Para entender o Modelo de Gestão Energético Brasileiro, deve ser apresentado às entidades vinculadas e afins ao MME, às empresas geradoras e distribuidoras de Energia Elétrica e ao ambiente de contratação da energia, isso se dará por meio do Quadro 02: Entidades vinculadas ao MME.

Quadro 02: Entidades vinculadas ao MME

Entidade Vinculadas MME		Atribuições
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	Regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	Execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis
Eletrobrás	Eletrobrás	Promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações para o suprimento de energia elétrica do país
Petrobras	Petróleo Brasileiro S/A	Executar as atividades do setor de petróleo no Brasil em nome da União
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais	Realizar levantamentos, gestão e divulgação de informações geológicas, geofísicas, geoquímicas, hidrológicas, hidrogeológicas.
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral	Promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais, controlando e fiscalizando o exercício das atividades de mineração no Brasil
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	Prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético

Fonte: Elaboração Própria (2013)

As entidades Vinculadas ao Ministério de Minas e Energia que estão diretamente relacionadas ao processo de eletrificação são a ANEEL, Eletrobrás e a EPE. A ANEEL –Agência Nacional de Energia Elétrica além das atribuições de, regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica, também tem a função de mediador de conflitos de interesses entre

os agentes do setor elétrico e os consumidores; deve conceder, permitir e autorizar instalações e serviços de energia; garantir tarifas justas; zelar pela qualidade do serviço; exigir investimentos; estimular a competição entre os operadores; e assegurar a universalização dos serviços.

A **Eletróbrás** tem a atribuição de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações destinadas ao suprimento de energia elétrica do país. Na condição de *holding*, a Eletróbrás controla grande parte dos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica do Brasil por intermédio de seis subsidiárias: Chesf, Furnas, Eletrosul, Eletronorte, CGTEE e Eletronuclear. Além de principal acionista destas empresas, a Eletróbrás, em nome do governo brasileiro, detém metade do capital de Itaipu Binacional. A *holding* também controla o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e a Eletróbrás Participações S.A. (ELETROPAR). Além disso, atua na área de distribuição de energia por meio das empresas Eletroacre (AC), Ceal (AL), Cepisa (PI), Ceron (RO), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. (AM) e Boa Vista Energia (RR). A capacidade geradora do Sistema Eletróbrás, incluindo metade da potência de Itaipu pertencente ao Brasil, é de 39.402 MW, correspondentes a 38% do total nacional. As linhas de transmissão do Sistema têm 59.765 km de extensão. O sistema é composto de 29 usinas hidrelétricas, 15 termelétricas e duas nucleares (MME, 1013).

EPE – Empresa de Pesquisa Energética tem a atribuição de prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético.

Quadro 03: Entidades afins ao MME

Entidades afins ao MME		Atribuições
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	Viabilizar a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional nos Ambientes de Contratação Regulada e Contratação Livre, além de efetuar a contabilização e a liquidação financeira das operações realizadas no mercado de curto prazo.
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico	Responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

Fonte: Elaboração Própria (2013).

A missão do ONS é operar o Sistema Interligado Nacional de forma integrada, com transparência, equidade e neutralidade, de modo a garantir a segurança, a continuidade e a economicidade do suprimento de energia elétrica no país. Entre seus objetivos estratégicos estão: aumentar a segurança eletroenergética; responder aos desafios decorrentes da diversificação da matriz energética brasileira e do aumento da complexidade de operação do SIN; e aperfeiçoar a ação do ONS como gestor da rede de instalações e sua atuação nas redes de agentes e instituições (MME, 2013).

A ABRAGE é a Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica. Neste trabalho apresenta-se duas empresas geradoras de Energia Elétrica, a Energisa e a Chesf.

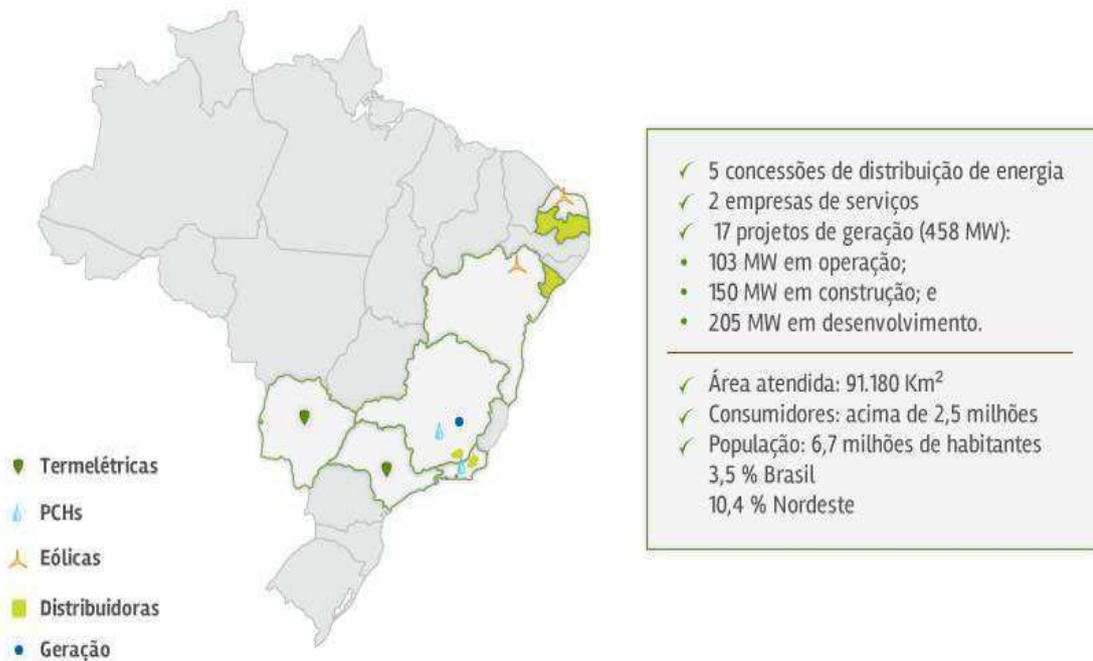
Quadro 04: Empresas Geradoras e Distribuidoras de energia Elétrica

Empresas Geradoras e Distribuidoras de Energia Elétrica		Atribuições
Energisa	Energisa	Distribuição de energia elétrica, Geração de energia por meio de fontes renováveis, comercialização e serviços correlatos de geração, transmissão e distribuição de energia
Chesf	Companhia Hidrelétrica do São Francisco	Atua na geração e transmissão de energia em alta e extra alta tensão, explorando a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Fonte: Elaboração Própria (2013).

A Energisa é uma das distribuidoras privadas de energia elétrica do Brasil e atua à 108 anos, controla cinco distribuidoras no Brasil – Energisa Sergipe (SE), Energisa Paraíba e Energisa Borborema (PB), Energisa Minas Gerais (MG) e Energisa Nova Friburgo (RJ) – em uma área de 91.180 km², prestando serviços a 2,5 milhões de consumidores e a uma população de 6,7 milhões de habitantes em 352 municípios, o que representa atendimento a 3,5 % da população brasileira e a 10,4% do Nordeste (ENERGISA, 2013).

Figura 02: comercialização e serviços correlatos de geração, transmissão e distribuição de energia



Fonte: Energisa (2013)

A intensificação de investimentos na geração de energia renovável, principalmente eólica e biomassa, marcou o último ano para a Energisa: foram R\$ 560 milhões investidos em cinco parques eólicos, localizados no Rio Grande do Norte. A Companhia também concluiu a aquisição de quatro Sociedades de Propósitos Específico (“SPEs”) da Tonon Bionergia, finalizou as obras da PCH Zé Tunin, que tem capacidade de 08 MW, e iniciou as operações da PCH Santo Antônio, também com capacidade de 8 MW (ENERGISA, 2013).

A **Chesf** tem por missão produzir, transmitir e comercializar energia elétrica com qualidade, de forma rentável e sustentável. Através dos dados anuais referentes ao exercício de 2012, percebe-se que a produção de energia chega a 50.113 GWh contratando um valor bem aproximado de 49.089 GWh e que no nordeste brasileiro seu percentual de distribuição de venda de energia chega a 45,53%.

Quadro 05: Perfil da Chesf

Número de empregados	5.631 *
Área de Atuação	Brasil
Capacidade instalada de geração	10.615 MW
Produção de energia	50.113 GWh
Energia contratada	49.089 GWh
Distribuição de venda de energia no Brasil	Nordeste - 30,92% Sudeste e Centro-Oeste - 45,53% Sul - 17,52% Norte - 6,03%
Clientes/Empresas Distribuidoras de Energia	39
Clientes/Empresas Consumidoras Industriais de Energia	21
Clientes/Empresas Comercializadoras de Energia	45
Linhas de transmissão	18.973,8 km em 500, 230 e 69 kV
Patrimônio líquido	R\$ 11.671,4 milhões
Receita Operacional Bruta	R\$ 7.672,1 milhões
Receita Operacional líquida	R\$ 6.660,4 milhões

Fonte: Dados Anuais referente ao exercício 2012 (Informações em 31.12.12)

Para entender o mercado de energia, apresenta-se na Quadro 06 o ambiente de contratação, identificado de forma regulada, energia de reserva, contratação livre, leilões e leilões especiais.

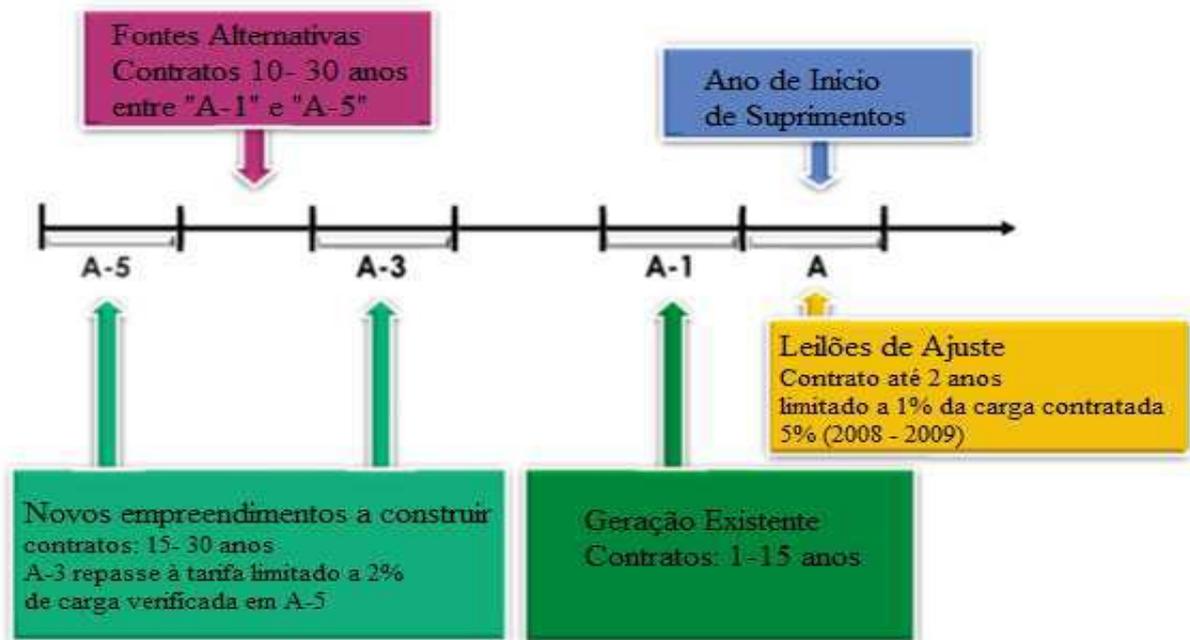
Quadro 06: Ambiente de Contratação

Ambiente de Contratação	Atribuições	
Ambiente de Contratação Regulada (ACR)	Os agentes vendedores (geradores, comercializadores e autoprodutores) e as distribuidoras estabelecem Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) precedidos de licitação	
Energia de Reserva	Destinada a aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional - SIN. A contratação desta energia tem por objetivo, ainda, reduzir os riscos de desequilíbrio entre a oferta e demanda de energia elétrica.	
Ambiente de Contratação Livre (ACL)	Os geradores, consumidores livres, autoprodutores, comercializadores, importadores e exportadores de energia estabelecem entre si contratos bilaterais de compra e venda de energia com preços e quantidades negociados	
Leilões de Energia Elétrica	São processos licitatórios realizados com o objetivo de contratar a energia elétrica necessária para assegurar o pleno atendimento da demanda futura no Ambiente de Contratação Regulada – ACR (mercado das distribuidoras)	
Leilões: Horizontes de Contratação	Processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado com 5 – 3 – 1 ano.	Leilões A-5
		Leilões A-3
		Leilões A-1
		Leilões de ajuste
Leilões Especiais	Leilões de Projeto Estruturante	Energia proveniente de projetos de geração de caráter estratégico e de interesse público
	Leilões de Fontes Alternativas – LFA	Criados para incentivar a diversificação da Matriz energética
	Leilões de Energia de Reserva – LER	Energias Provenientes de usinas

Fonte: Elaboração Própria (2013)

Na Figura 03 podem ser melhor visualizados os tipos de leilões e sua referência proveniente de novos empreendimentos de geração com variação de 1, 3 ou 5 anos, e no caso dos leilões de ajuste tem o objetivo de complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor dos agentes de distribuição, até o limite de 1% do mercado de cada distribuidora.

Figura 03: Leilões



Fonte: MME (2013).

A geração de sistemas híbridos de energia podem contribuir para os leilões de fontes alternativas, que foram criados com o objetivo de incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica, introduzindo fontes renováveis e ampliando a participação de energia eólica e da bioeletricidade. Para este trabalho, sugere-se a utilização do potencial energético solar e eólico no nordeste do Brasil, segundo propósito do mapa de complementaridade energética.

2.3 As Mudanças Climáticas e sua Interferência no Cenário Energético

Sabe-se que fatores naturais e tecnológicos como crescimento populacional, mudanças climáticas e a ascensão tecnológica vêm interferindo no Cenário Energético mundial, porém, antes de entendermos o Cenário Energético, é importante discutir um pouco sobre as alterações climáticas que vem ocasionando alterações na situação energética. Assim, apresentamos também organizações mundiais que estudam situações climáticas e suas interferências socioeconômicas e ambientais.

Em termos de organizações mundiais, o **IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima** (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) merece

destaque por se tratar de um órgão criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1988 para estudar o problema das mudanças climáticas.

Segundo dados da ANDI (2013), o IPCC reúne 2.500 cientistas de mais de 130 países. A missão deste Painel consiste em avaliar a informação científica disponível sobre os efeitos das mudanças climáticas, destacar seus impactos ambientais e socioeconômicos e traçar estratégias para dar respostas adequadas ao fenômeno. Cada governo possui um grupo de especialistas para coordenar as atividades relacionadas com o painel no seu respectivo país. O IPCC está aberto a todos os países-membros do PNUMA e da OMM. Dirigido atualmente pelo indiano Rajendra Pachauri, o IPCC faz relatórios com base na literatura técnico-científica sobre as mudanças climáticas (*AR - Assessment Reports*), examina os efeitos das mudanças climáticas e desenvolve estratégias de combate, subsidiando as *Partes da Convenção*.

Em 1990, o IPCC publicou um relatório (*First Assessment Report - AR1*) afirmando que as atividades humanas poderiam estar causando o aumento do *efeito estufa*. O estudo foi a base para as discussões durante a ECO-92, no Rio de Janeiro, quando foi assinada a *Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima*. O IPCC dispõe de três grupos de trabalho para a elaboração de suas publicações (GT-I, II e III) e de uma equipe especial para estoques nacionais de *gases efeito estufa* (ANDI, 2013):

- O GT-I avalia os aspectos científicos do sistema climático e do fenômeno das mudanças do *clima*.
- Já o GT-II examina a vulnerabilidade dos sistemas humanos e naturais frente ao impacto das mudanças climáticas, as consequências dessas mudanças e analisa as possibilidades de adaptação a elas.
- E o GT-III, por sua vez, avalia as possibilidades de *mitigação* das *mudanças climáticas* e a limitação das emissões de *gases de efeito estufa*.

Os grupos de trabalho e a equipe especial contam com dois presidentes, um de um país desenvolvido e outro de um país em desenvolvimento, além de uma unidade de apoio técnico. O IPCC tem autonomia para decidir sua estrutura, princípios, procedimentos e programa de trabalho, além de eleger seu presidente e os integrantes de sua mesa diretora (ANDI, 2013).

Dentre as atividades desenvolvidas pelo IPCC destacam-se a elaboração de:

- Relatórios de Avaliação,
- Relatórios Especiais,
- Documentos Técnicos em geral e
- Guias de Metodologia nos seguintes temas: informação científica a respeito de *mudança climática*; impactos ambientais e socioeconômicos da mudança climática; e
- Formulação de estratégias de resposta (*mitigação e adaptação*).

Marengo et al. (2007, p. 134) apresenta sua preocupação no que se refere aos efeitos decorrentes das alterações climáticas no nordeste brasileiro, mediante dados do IPCC:

De acordo com o IPCC, nenhuma região do planeta estará totalmente a salvo dos efeitos decorrentes das alterações do clima. Há perspectivas de mudanças climáticas e consequentes efeitos maléficos no Brasil. O Nordeste brasileiro, em particular, apresenta-se como uma das regiões brasileiras mais suscetíveis aos efeitos do aquecimento global.

Percebe-se com essas projeções uma possível desaceleração no contexto econômico ambiental do Nordeste, ocasionando principalmente uma redução na geração de energia, que acaba por interferir na economia, no contexto social e principalmente nas questões ambientais. Devido a estes fatores, foi propósito de estudo desta Tese, a análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica na região do nordeste do Brasil.

Desta maneira, vale ressaltar o cenário projetado para o Nordeste Brasileiro em fase das alterações climáticas acometidas pelo desenvolvimento das sociedades e seu uso excessivo e insustentável dos recursos naturais.

Nesta perspectiva, Souza (2010) aponta um levantamento das consequências esperadas para o Nordeste em face das alterações climáticas. Três estudos em especial foram utilizados como referência, um elaborado por equipe de especialistas do INPE (MARENGO et al., 2007), outro da FIOCRUZ& UFMG (2009) e o terceiro da COPPE (SCHAEFFER et al., 2008):

- INPE: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI;

- FIOCRUZ & UFMG: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050; e
- COPPE: Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil.

2.4 Interferência no Desenvolvimento do Cenário Energético

No enfoque da energia, temos as questões voltadas ao desenvolvimento que é apresentado através de um enorme nível de dependência e seus reflexos nas alterações climáticas.

Reis et. al. (2005) analisam a história da relação entre energia e desenvolvimento, ela mostra que elevados níveis de dependência, desarticulação entre setores energéticos, políticas centralizadoras baseadas unicamente na oferta de energia, inadequação às necessidades fundamentais e danos ao meio ambiente proporcionaram o crescimento autônomo de alguns setores e países em detrimentos de outros, resultando nas disparidades sociais entre países e mesmo dentro de um mesmo país.

Reis et. al. (2005) ainda apontam que:

Com relação aos níveis de dependência, a não disponibilidade de um recurso energético por parte de um país ou falta de domínio tecnológico e de condições financeiras para explorar um energético existente submete esse país à ineficiência no uso da energia e à falta de equidade na distribuição deste precioso insumo.

Além do mais, universalizar os serviços de eletricidade não tem sido uma tarefa muito fácil no Brasil. Dados de 2005 mostraram que, em pleno século XXI, cerca de 12% da população, a maior parte localizada nas áreas rurais, ainda não tinham eletricidade em casa e está privada de serviços essenciais ao bem-estar social. Em nível mundial, estima-se que dois bilhões de pessoas (30% da população) não têm acesso à eletricidade (REIS et. al. 2005).

Por outro lado, as consequências das alterações climáticas também são evidentes. Reis, Fadigas e Carvalho (2005) apontam os principais problemas ambientais mais fortemente relacionados com a energia:

- **A Poluição do ar urbano** é vista como um dos problemas mais visíveis.

- **A chuva ácida** causada por reações ocorridas na atmosfera quando acontece associação de água com o dióxido de enxofre (SO₂) e os ácidos de nitrogênio (NO_x), formando o ácido sulfúrico (H₂SO₄) e o ácido nítrico (HNO₃).
- **O efeito estufa e as mudanças climáticas** se devem à modificação na intensidade da radiação térmica emitida pela superfície da terra, por causa do aumento da concentração de gases estufa na atmosfera.
- **O desmatamento e a desertificação** são um dos problemas ambientais mais antigos.
- **A degradação marinha e costeira**, assim como de lagos e rios, vem de materiais poluentes: esgotamentos sanitários e industriais.
- **O alagamento** ou perda de áreas de terra agricultáveis ou de valor histórico, cultural e biológico está relacionado principalmente ao desenvolvimento de barragens e reservatórios, os quais são formados para fins de navegação, saneamento básico, irrigação, lazer e geração de eletricidade.
- **A contaminação radioativa** é proveniente do beneficiamento de urânio utilizado em grande parte nas usinas nucleares para geração de eletricidade. Estes fatores são apontados por REIS, FADIGAS e CARVALHO (2005).

Sob esta visão global, cabe ressaltar e averiguar como estas alterações serão capazes de influenciar o setor energético da região nordeste do Brasil.

A energia é o fator humano de maior influência para as emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2007a, p. 36). É imprescindível para o desenvolvimento social e econômico do planeta, sendo necessário o entendimento das complexas interações entre energia, desenvolvimento e meio ambiente. Além disso, trata-se de uma área sensível aos efeitos das alterações climáticas.

Mesmo estando ciente na necessidade evolutiva das tecnologias, sabemos também que estamos propensos a riscos, conforme alerta de UNDP et al. (2000, p. iii):

A energia é ponto central para alcançar os objetivos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento humano sustentável. Porém, se nós quisermos alcançar este importante objetivo, as formas como produzimos e consumimos energia terão que mudar. Caso contrário, a degradação ambiental acelerará a desigualdade social aumentará e o crescimento econômico global estará em perigo (UNDP et.al., 2000, p. iii).

Souza (2010) aponta que na escolha das alternativas de geração de energia, o enfoque no desenvolvimento sustentável torna-se necessário. Questões relativas à poluição atmosférica, efeito estufa, esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, segurança no abastecimento e equidade são alguns dos motivadores. As fontes renováveis destacam-se como opção a esse modelo de geração de energia.

2.5 Complementaridade Energética

Devido principalmente à extensão do território nacional, os recursos energéticos do Brasil, acabam se localizando em regiões pouco desenvolvidas e distantes dos centros de consumo, o que torna mais cara a energia do país. Neste sentido, uma opção seria descentralizar as fontes energéticas para oferecer suporte ao aumento do consumo mundial de energia que vem demandando dos países a construção de novas usinas hidroelétricas. Uma opção apresentada seria as usinas atômicas que está envolvida com a dificuldade de descarte dos resíduos gerados pela mesma, o lixo atômico, além de lidar com os riscos de um desastre nuclear, se torna uma opção complexa.

Para Pianezzola (2006, p.2):

A utilização de fontes renováveis, tais como a energia solar e energia eólica apresentam-se como uma contribuição à diversificação da matriz energética brasileira, altamente dependente das hidroelétricas e que apresenta a vantagem de não necessitar a importação de petróleo e seus derivados de regiões no mundo tradicionalmente sujeitas a crises políticas e conflitos. O uso destas fontes renováveis pode ser uma das formas de auxiliar a estabilização do clima no nosso planeta, fazendo frente às mudanças climáticas causadoras de prejuízos ao meio ambiente e à economia mundial, diminuindo o consumo dos combustíveis fósseis, agentes causadores do efeito estufa, um dos principais responsáveis pelo aumento global da temperatura.

Em seu trabalho, Pianezzola (2006) apresenta que outro grande apelo ao uso destas fontes energéticas é o grande potencial disponível, além de sua característica renovável, possibilitando um forte aumento da geração energética em um pequeno espaço de tempo. Além da energia solar e eólica serem duas alternativas que são fáceis para adaptação na linha de montagem com produção em larga escala, além de servir de fontes de renda com um risco menor do que a

agricultura e pecuária, nos royalties aos proprietários das terras, sem necessitar de investimento por parte deles. Como o uso separadamente de uma destas duas fontes energéticas propiciaria uma irregularidade temporal e com altos custos, uma alternativa viável seria o uso unificado destas duas fontes energéticas, ao passo que a complementaridade se obteria através da diferença entre a disponibilidade das fontes energéticas e solar, satisfazendo a demanda com credibilidade.

No contexto internacional, o trabalho de YUSAF (2011), sobre o estudo da utilização da energia renovável na Austrália, aponta a dependência excessiva das energias no mundo de hoje, que acarretou a diminuição dos recursos de combustíveis fósseis e com uma nova apreciação de danos causados pelos gases do efeito estufa, é cada vez mais evidente que os recursos energéticos renováveis devem ser utilizados para criar um futuro sustentável. Yusaf (2011) apresenta as definições da energia renovável e fala sobre energia obtida a partir de correntes contínuas ou correntes repetitivas de energia recorrentes no ambiente natural que são repostos na mesma taxa que eles são usados. As energias renováveis podem ser divididas em aqueles em que o sol é a fonte de energia (Energia solar) e aqueles em que está de outra fonte (energias não-solares). Energias solares incluem biomassa, biocombustíveis, energia solar, energia hídrica e eólica. Energias renováveis não-solares incluem energia das marés e energia geotérmica (YUSEF, 2011).

2.6 Potencial Solar

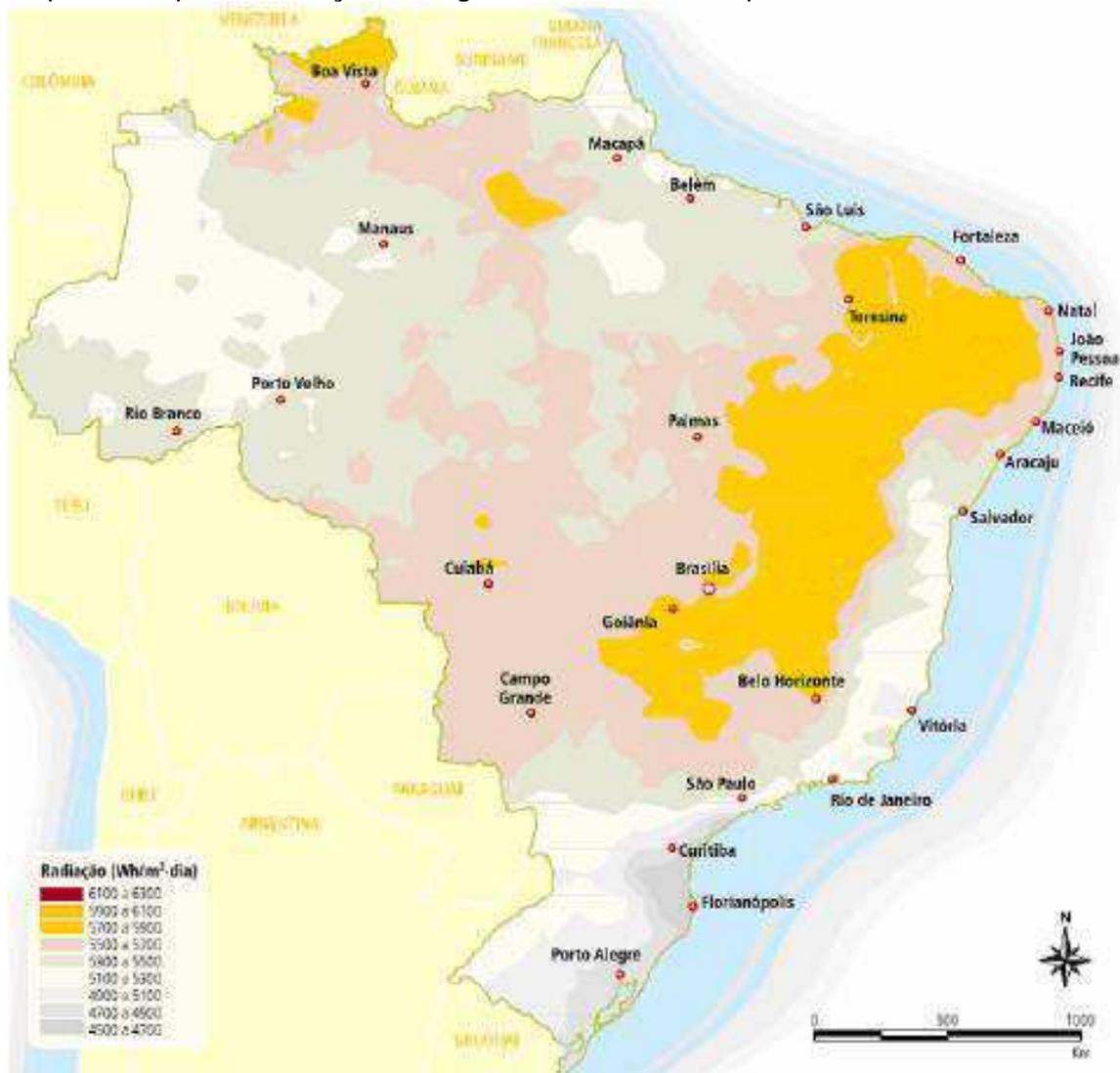
O potencial solar será medido pela irradiação incidente na região Nordeste do Brasil. Esta estimativa resultará em mapas e atlas solarimétricos, isso possibilita uma avaliação precisa do potencial solar.

Pianezzola (2006) aponta trabalhos realizados em nível de Brasil com estudos de radiação solar:

Em 1979, Nunes et. al., citado em GTES, 1999, apresenta o trabalho "Estudo da Distribuição da Radiação Solar incidente sobre o Brasil". Os autores adaptaram para as peculiaridades do Brasil o modelo desenvolvido por Benett para os Estados Unidos, que obtêm a radiação solar global utilizando-se de um aquecimento do número de horas de insolação, altitude, latitude e época do ano. Foram elaborados mapas mensais, constituídos de isolinhas, foram feitos ajustes dos dados calculados considerando a nebulosidade a partir de fotos de satélite (PIANEZZOLA, 2006, p. 6).

Pianezzola apresenta em seu trabalho uma adaptação do mapa de radiação solar global diária com uma média anual típica referente ao ano de 1998, que está graficamente representado abaixo.

Mapa 01: Mapa da Radiação solar global diária – Média típica



Fonte: INMET, 1998 (adaptado por Pianezzola, 2006).

Para a análise dos mapas de radiação solar incidente e de velocidade do vento, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera. O modelo atmosférico utilizado será o *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS* na versão 4.2. O BRAMS é um modelo de mesoescala e inclui no seu código várias opções de parametrizações físicas, dentre elas: radiação de onda

longa e de onda curta; de turbulência na camada limite planetária; microfísica de nuvens; de convecção rasa; e, convecção profunda.

Yusef (2011) em seu estudo na Austrália apresentou métodos para o aproveitamento da energia através da radiação solar, apontando a existência de vários métodos diferentes para o aproveitamento da energia da radiação solar a partir do sol. Trata-se de aquecimento solar ativo, aquecimento solar passivo e motores solares para eletricidade geração. O uso de energia solar ativa é normalmente utilizado para aquecimento doméstico ou de aquecimento, tais como sistemas solares de água quente que são comuns em toda a Austrália, devido ao baixo custo de execução e subsídios governamentais oferecidos. Embora este método de captação de energia solar pode reduzir consumo elétrico, estes tipos de sistemas não são gerados e utilizados em grandes escalas e ter inerente eficácia e problemas de custo. Aquecimento solar passivo é mais sobre como melhorar a eficiência passiva da habitação e outros edifícios. Isto inclui dispositivos de aquecimento que utilizam a energia passiva da radiação solar para aquecer um edifício e circular o ar frio para fora da sala. Este inclui conservação, e aplicações do tipo ganho direto.

Yusef (2011) considera que a fonte mais importante de energia renovável solar com relação à geração de energia elétrica é o motor térmico solar. Geralmente espelhos refletivos são usados para concentrar a radiação sobre uma fonte de água ou outro fluido, em seguida, por evaporação do líquido que o vapor é usado para a alimentação de uma turbina um gerador. Existem muitos tipos de esforço planta com diferentes arranjos de focagem a radiação. 90% dos EUA utilizam eletricidade gerada pela energia solar que vem de uma única planta no Mohave Desert. Utilizando nove diferentes sistemas de geração de energia solar (SEGS) nominal entre 13 e 80MW [9,10]. A maior das plantas usa 46,4 m² de coletor organizado em focos parabólicos de tubos de fluido. O fluido de trabalho utilizado é o óleo sintético que é aquecido a 390° C antes de ser utilizado para criar o vapor de alta temperatura, em um gerador de calor. A média diária da planta opera em cerca de 17 a 18% de eficiência total de conversão de energia (YUSEF, 2011).

2.7 Potencial Eólico

A medição do potencial eólico apresentará uma estimativa do potencial energético proveniente do vento que resulta em mapas e atlas eólicos, e nossa região de estudo refere-se à região nordeste do Brasil.

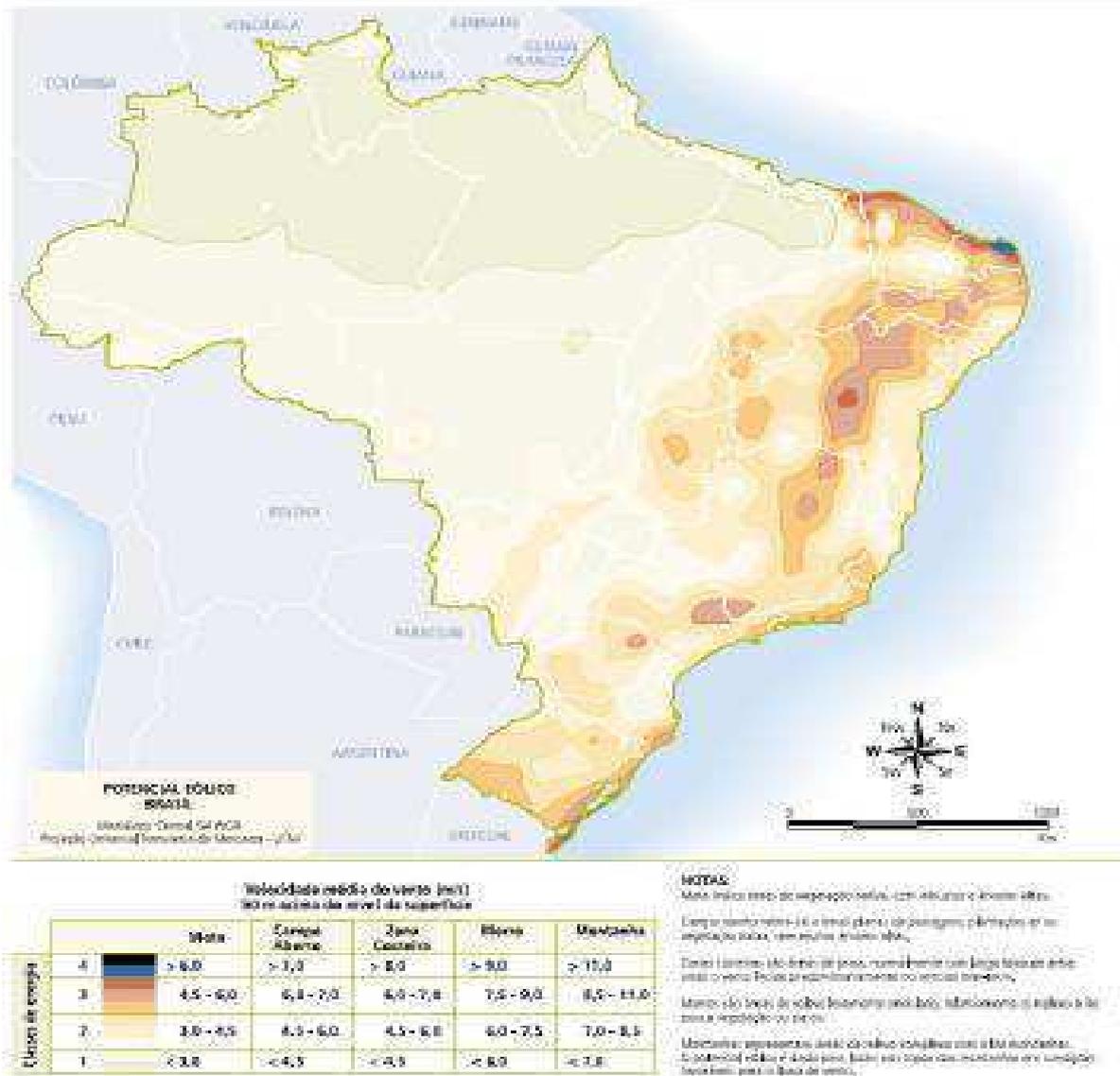
O estudo realizado por YUSEF (2011) na Austrália apresenta os parques eólicos como uma opção viável para fornecimento em grande escala comercial. A ideia de usar o vento para produzir um trabalho não é um conceito recente com moinhos de vento tradicionais, sendo usado para bombear água e moer flor durante séculos. Com o advento dos geradores mais eficientes da turbina eólica tem sido usados para gerar eletricidade a partir do vento e é uma fonte promissora de energia renovável. Os parques eólicos têm se tornado uma verdadeira opção viável para o fornecimento de energia renovável em grande escala comercial.

Apesar de ter um grande potencial para a produção, o local escolhido é o mais fator crítico para o desenvolvimento. O vento deve estar em um nível alto o suficiente para alimentar a turbina com eficiência, embora não muito elevada que alimenta a turbina ao longo, pois é perigoso para a integridade da estrutura. O local é geralmente escolhido após a utilização, quer de Weibull ou parâmetros de Rayleigh da direção e velocidade da distribuição do vento. A altura da turbina eólica é um outro fator que afeta a adequação do local como a terra com uma camada limite de aproximadamente 450m, significativamente maior do que uma turbina será geralmente construída. Após análise estatística detalhada dos dados recolhidos, pode ser avaliado se a ação tem as características corretas para a geração de energia eólica. No entanto, há outra limitação, como nas populações próximas as usinas (YUSEF, 2011).

As turbinas eólicas geram um som de baixa frequência que incomodam os moradores e as sombras refletidas pelas lâminas na parte da manhã e no final da tarde, são relatados. A última limitação desta tecnologia é o fato de os locais mais adequados são encontrados perto do oceano, como o limite é mais fino e o vento é geralmente mais rápido e mais consistente. Tal como acontece com a maioria dos países, a maioria da população vive perto da linha de costa, resultando em locais menos adequados e custos mais elevados de desenvolvimento para e outros locais adequados YUSEF (2011)..

Pianezzola (2006) apresenta este estudo a âmbito nacional, destacando que em 1998, o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, da Universidade Federal do Pernambuco, lançou a primeira versão do Atlas Eólico da Região Nordeste do Brasil, cuja continuidade deste trabalho resultou no Panorama do Potencial Eólico no Brasil, com o objetivo principal de desenvolver modelos atmosféricos, analisar dados de ventos e elaborar mapas eólicos confiáveis para a região. Os resultados eólicos referem-se à velocidade média do vento e energia eólica média a uma altura de 50m acima da superfície para cinco condições topográficas distintas: zona costeira, campo aberto, mata, morro e montanha. O Mapa 02 representa a velocidade média anual do vento a 50m de altura.

Mapa 02: Mapa da velocidade média anual do vento a 50m de altura



Fonte: FEITOSA, 2003. (adaptado Pianezzola, 2006)

2.8 Potencial para sistemas híbridos de energias renováveis

Para o GEDAE– Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, considera-se um sistema híbrido aquele que utiliza conjuntamente mais de uma fonte de energia, dependendo da disponibilidade dos recursos energéticos locais, para geração de energia elétrica. A opção pelo hibridismo é feita de modo que uma fonte complemente a eventual falta da outra. Dentre as fontes energéticas utilizadas pelos sistemas híbridos aqui abordados sobressaem-se a solar e a eólica, ambas de caráter renovável (BARBOSA et. al. 2004).

Neste trabalho será analisado a viabilidade de um sistema híbrido de energia solar e eólica através da análise dos potenciais solar e eólico da região Nordeste, por meio da elaboração do mapa de complementaridade.

A utilização de um sistema isolado fotovoltaico ou eólico exige um dimensionamento para os momentos em que a disponibilidade energética não se fizer presente (não há um valor considerável de irradiação solar ou da velocidade do vento para a geração da energia demandada pelo consumidor), de forma a termos uma confiabilidade aceitável do sistema, porém, isso elevaria os custos da instalação inviabilizando muitas vezes o seu uso (PIANAZZOLE, 2006).

A vantagem da utilização de um sistema híbrido fotovoltaico-eólico autônomo utiliza ambas as fontes geradoras de energia, sem ligação com a rede elétrica. Estas fontes geradoras por sua vez podem ser usadas em conjunto ou de forma isolada, o que chamamos de complementaridade, necessitando de um sistema de monitoramento e controle.

2.9 Elaboração dos Mapas de complementaridade dos potenciais Solar e Eólico

Para a elaboração dos mapas de complementaridade dos potenciais solar e eólico, utilizamos a complementaridade dos potenciais através da determinação dos índices de complementaridade, através de mapas espelhando-se nas quatro estações do ano, utilizando o mapa da velocidade dos ventos a 10 metros de altura e medido a cada 6 horas e o mapa da radiação também obedeceu às quatro estações climáticas.

Para Pianezzola (2006), o índice de complementaridade total indica o grau de complementaridade entre as disponibilidades energéticas das duas fontes

energéticas, avaliando conjuntamente a defasagem no tempo e a proporção entre as amplitudes.

Para elaboração dos Mapas de Complementaridade Energética Solar e Eólica deverá ser desenvolvido o potencial solar e eólico separadamente através da análise dos mapas de radiação solar incidente e de velocidade do vento, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera. O modelo atmosférico utilizado será o *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* - BRAMS na versão 4.2. O BRAMS é um modelo de mesoescala e inclui no seu código várias opções de parametrizações físicas, dentre elas: radiação de onda longa e de onda curta; de turbulência na camada limite planetária; microfísica de nuvens; de convecção rasa; e, convecção profunda.

2.10 Elaboração do Mapa de Complementaridade: Modelo Atmosférico BRAMS

Para alcançar a contribuição da Matriz Energética Brasileira através deste trabalho, se fez necessária a análise do Mapa de Complementaridade Solar e Eólico em confronto com os Indicadores Energéticos. Então, neste item será apresentado a metodologia utilizada para a elaboração do Mapa de Complementaridade, os quais os dados utilizados foram o Modelo Atmosférico *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* – BRAMS, que será explicado a seguir:

2.10.1 O Modelo Atmosférico *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* - BRAMS

Para a análise dos mapas de radiação solar incidente e de velocidade do vento, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera. Utilizou-se como modelo atmosférico o *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* - BRAMS na versão 4.2.

O BRAMS, Modelagem de Sistema para o desenvolvimento regional atmosférica é um projeto desenvolvido pela ATMET, IME / USP, IAG / USP e CPTEC / INPE, financiado pela FINEP (Financiadora do Brasil), criado como uma nova versão do RAMS sob medida para os trópicos. O objetivo principal do BRAMS é fornecer um modelo único para centros brasileiros de meteorologia regional. O modelo BRAMS / RAMS é um polivalente, modelo de previsão numérica projetado

para simular circulações atmosféricas que medem em escala de escala do hemisfério para baixo para grandes simulações de Foucault (LES) da camada limite planetária. Após a versão 4.2, o código é desenvolvido por desenvolvedores da equipe CPTEC / INPE. O BRAMS usa o modelo Catedral, mas o código desenvolvido entre os lançamentos é restrito a um grupo exclusivo de desenvolvedores de software. O software está sob licença CC-GNU GPL e algumas partes do código pode receber outras licenças restritas. O BRAMS incorporar um modelo de transporte tracer e química modelo (CCATT) e torna-se uma versão unificada, 5.x. BRAMS. O BRAMS esta disponível no site <http://brams.cptec.inpe.br/>.

Para Mariano et. al. (2012) O modelo Brazilian developments on the Atmospheric Modeling System – BRAMS (Versão 4.0) se refere a uma versão brasileira do Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) descrito por Pielke et al. (1992) e Walko et al. (1995). O RAMS constitui-se num código numérico altamente versátil, desenvolvido por cientistas da Universidade do Estado do Colorado, nos Estados Unidos da América. Salieta-se que todas as parametrizações e características do modelo podem ser alteradas de maneira a melhor se adequarem às condições específicas de determinado local, ou a condições idealizadas para simulações de situações, o que se constitui numa excelente ferramenta para pesquisas meteorológicas. Na versão BRAMS tem-se um melhoramento do código e a implementação no modelo da parametrização de nuvens rasas, o que torna o modelo mais completo para utilização no Brasil e em especial na região Nordeste.

Santos et. al. (2013) sintetiza uma definição para o modelo BRAMS: O modelo BRAMS (Freitas et al., 2009) é um projeto conjunto de várias instituições brasileiras, incluindo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e foi inicialmente financiado pela FINEP (o Financiamento Agência brasileira). BRAMS é baseado no Modeling System Regional atmosférica (RAMS) (Walko et al., 2000), com várias novas funcionalidades e parametrizações. Gramas é um modelo numérico desenvolvido para simular circulações atmosféricas em muitas escalas. Ele resolve o tempo parcial de equações hidrostática não compressíveis descritos por TRIPOLI e COTTON (1982). O conjunto de parametrizações físicas em gramas é apropriado para simulação de processos, tais como troca de ar da superfície, turbulência, convecção, radiação e de nuvem microfísica (FREITAS et al., 2009). O modelo

BRAMS inclui uma versão conjunto de um esquema de nuvens rasas e profundas com base na abordagem de fluxo de massa (o esquema GD).

Para Santos et. al. (2013) A função de parametrização convectiva gatilho utiliza a energia cinética turbulenta (ECT) da Camada de RAMS Limite Planetária (TKE) parametrização para modular a distância máxima que as parcelas de ar pode subir a partir de seu nível de origem e, com base nisso, para determinar se uma coluna de grade será ser capaz de sustentar a convecção (FREITAS et al., 2009). A função de gatilho é modificado utilizando a tampa parâmetro máximo, que representa a distância máxima da parcela de ar pode subir e provocar a porção convectiva de uma coluna que se pode atingir o nível de condensação e, subsequentemente, convecção natural. A tampa max é modificado com três valores para ser utilizado no conjunto. O conjunto é construído com 3 perturbações da função de gatilho (conforme descrito antes), 3 perturbações da eficiência de precipitação e um total de 16 perturbações dos fluxos de massa a base da nuvem gerada a partir de 5 massa opções de fecho fluxo, proporcionando um número total de membros igual a $3 \times 3 \times 16 = 144$. Finalmente, tomando a média aritmética sobre as funções de gatilho, a eficiência de precipitação e perturbações de fecho para cada uma das opções de fecho 5 de fluxo de massa, a dimensão do conjunto é reduzida para 5 membros, denotada por GR, MC, LO, AS e KF. Em seguida, uma média aritmética de 5 membros destes fornece uma solução única denotado pelo conjunto médio (EN). Uma descrição detalhada dos 144 membros da parametrização convectiva é dada na GD.

2.10.2 Modelo regional BRAMS

O RAMS constitui-se num código numérico altamente versátil, podendo ser configurado para fazer simulações da circulação atmosférica em várias escalas de tempo e espaço, bem como, diferentes resoluções horizontais e verticais. O RAMS foi desenvolvido por cientistas da Universidade do Estado do Colorado, nos Estados Unidos da América. Na versão brasileira do RAMS, o BRAMS, há várias inovações e melhorias em termos de física e dinâmica, assim como, qualidade do código e eficiência computacional (FREITAS *et al.*, 2009).

Freire et. al. (2015) um conceito para o Modelo regional BRAMS como sendo o conjunto de equações dinâmicas e termodinâmicas que governam o movimento

atmosférico utilizadas pelo BRAMS possuem as características de ser não-hidrostática e compressível, que consistem em equações prognósticas para as variáveis de estado, componente zonal do vento (u), componente meridional do vento (v), componente vertical do vento (w), temperatura potencial e razão de mistura de água total e hidrometeoros. Esse modelo é baseado em diferenças finitas e usa grade do tipo C de Arakawa (Mesinger e Arakawa, 1976). Neste esquema de grade, as variáveis termodinâmicas e de umidade são definidas no centro dos pontos de grade e suas componentes u , v , e w são resolvidas nos pontos $dx/2$, $dy/2$ e $dz/2$, respectivamente. A coordenada vertical usada pelo modelo é do tipo sigma- z , a qual acompanha o terreno na parte inferior e possui topo plano. Além disto, o BRAMS permite o alinhamento múltiplo de grades, o que possibilita que as equações sejam resolvidas de forma mútua nas grades de diferentes resoluções. O alinhamento de grades proporciona uma alta resolução espacial em áreas selecionadas.

2.10.3 Aplicação do BRAMS

Freire et. al. (2015) apresenta a aplicação do Modelo BRAMS, apontando que o BRAMS é usualmente aplicado para estudos de mesoescala, com finalidades diversas, que possui várias opções de parametrizações físicas incluídas no seu código. Atualmente, o modelo contém 7 parametrizações para tratamento da difusão turbulenta na camada limite planetária e dentro de nuvens, podendo tratar os coeficientes de difusividade de forma anisotrópica e isotrópica. Para transferência radiativa, 4 sub-modelos estão disponíveis, sendo um deles com tratamento explícito de água condensada e aerossóis (Longo *et al.*, 2006; Rosário *et al.*, 2012). Microfísica de nuvens que segue o esquema descrito por WALKO *et al.* (1995). Parametrização de convecção rasa é descrita por Souza (1999) e existe uma adicional parametrização introduzida por Freitas *et al.*, (2009) e descrita por Grell e Dévényi (2002, daqui em diante GD). Recentemente, foi introduzida no BRAMS uma nova extensão da parametrização GD, chamada G3-D, com novos fechamentos e formulações para o entranhamento lateral. Uma importante característica do esquema GD/G3-D é a possibilidade de usar diferentes fechamentos para o fluxo de massa na base da nuvem, uma combinação de todas através de simples média aritmética ou ainda uma combinação produzida por

técnicas em otimização (Santos *et al.*, 2012). Recentemente, Grell e Freitas (2014, GF) desenvolveram uma parametrização de convecção adequada para as escalas cinzas e acoplada com aerossóis. Os autores aplicam ideias originalmente desenvolvidas por Arakawa *et al.* (2011), fazendo com que a parametrização de convecção profunda possa ser aplicada em qualquer escala espacial, incluindo a escala de cinza. Efeitos de aerossóis são contabilizados através da dependência da autoconversão e evaporação com a quantidade de núcleos de condensação na base da nuvem.

Em termos de dinâmica, BRAMS possui agora um aperfeiçoamento no filtro de Asselin (usado no esquema *leapfrog* de integração temporal) descrito por Williams (2009). Este aperfeiçoamento mantém a ordem de acurácia do esquema de integração que é reduzida para primeira ordem quando se aplica o filtro de Asselin em sua forma original. Aplicação deste filtro foi testado neste estudo para verificar o ganho de qualidade da previsão climática. O esquema de advecção de escalares foi aperfeiçoado com a introdução de um esquema absolutamente monotônico com baixa difusão numérica (Freitas *et al.*, 2012), o que produz melhores padrões de transporte, principalmente em regiões com fortes gradientes, como o caso de frentes frias e presença de nuvens (Freire *et. al.* , 2015).

2.10.4 Avanços no Modelo BRAMS

Nesta Tese utilizou-se o Modelo BRAMS na versão 4.0, porém, como avanços do Modelo foi desenvolvido a versão 5.0 do BRAMS, Freire *et. al* (2015) aponta que o BRAMS 5.0 gera previsões numéricas operacionais no CPTEC/INPE com resolução espacial de 5 km, enquanto que a versão anterior realizava previsões com resolução espacial de 20 km.

Para desenvolver a nova versão do BRAMS foi utilizada a formulação não-hidrostática, que representa com maior precisão processos físicos de menor escala, como por exemplo o desenvolvimento e a dissipação de nuvens (chuva). Como mencionado, outros avanços nas parametrizações físicas e na dinâmica do modelo também foram realizados, como por exemplo, a parametrização de convecção GD/G3-D e GF.

2.10.5 Principais Características das simulações

Como principais características da simulação do modelo, a entrada de dados do modelo são as reanálises do *National Centers for Environment Prediction* – NCEP e *National Center for Atmospheric Research* – NCAR, conforme descrição de Kalnay et al. (1996). A grade utilizada pelo BRAMS foi centralizada nas coordenadas 9°S e 40°W. A resolução espacial da grade utilizada nos experimentos é de 40 km com 60 pontos tanto em x quanto em y. Foram utilizados 42 níveis verticais. As variáveis de saída serão as componente meridional e zonal do vento (u e v) e a radiação solar incidente na superfície R_s . O modelo será integrado para os anos de 2010 e 2011 com saídas a cada hora, isto é: será gerada uma série temporal com dados horários. A partir dessa série, serão calculados valores médios para as quatro estações do ano, definidas da seguinte forma: verão (de janeiro a março - JFM); outono (de abril a junho - AMJ); inverno (de julho a setembro - JAS) e primavera (de outubro a dezembro - OND).

Os mapas para a região Nordeste serão feitos em dois formatos, para cada variável. No primeiro formato, será a apresentada a média da variável sobre toda a região, esse formato permite que se enxergue a distribuição espacial da variável em determinada estação. No segundo formato a variável é normalizada em relação à sua média regional da seguinte forma:

$$\chi_{nor} = \frac{\bar{\chi} - \langle \chi_{reg} \rangle}{\langle \chi_{reg} \rangle}$$

Em que: $\bar{\chi}$ é a variável média em um ponto e $\langle \chi_{reg} \rangle$ é a média regional da variável.

χ_{nor} permite que se visualize áreas onde a variável em questão - vento ou radiação - é maior ou menor que a média regional.

2.11 Analisando a viabilidade da Geração Híbrida de Energia Solar e Eólica

Para demonstrar os benefícios da utilização de um Sistema Híbrido Solar e Eólico no atual cenário de crise energética, serão apresentados alguns estudos desenvolvidos por pesquisadores, da Índia, Malásia e Portugal. Como exemplo: Indian Institute of Technology Roorkee, India; Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia; Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal;

Indian Institute of Technology Madras, India; Environment and Sustainability Institute, University of Exeter, Penryn, Cornwall, United Kingdom; The Netherlands Utrecht University, The Netherlands. Assim, serão abordados desde o panorama da eletrificação como os benefícios dos sistemas híbridos e as tecnologias de armazenamento para este tipo de sistemas integrados.

2.11.1 Desafios do Sistema de Energia para os países em Desenvolvimento

É sabido o quanto que o desenvolvimento de um país depende do uso da energia elétrica, principalmente pela diversidade e quantidade de equipamentos eletroeletrônicos, porém, com toda a disseminação de atividades dependentes destes utensílios, eles ainda são de acesso restrito.

Paleta, Pina e Silva (2012) apontam que em todo o mundo, mas principalmente nos países em desenvolvimento, existem atualmente regiões onde a oferta de energia elétrica é insuficiente ou inexistente. Inúmeros autores afirmam que esta falta de acesso à energia elétrica é um fator chave na perpetuação da pobreza em todo o mundo e compromete o progresso socioeconômico desses lugares. Assim, melhorar o acesso à energia é uma prioridade de maneira que 1,3 bilhões de pessoas ao redor do mundo ainda não têm acesso à energia elétrica e 84% deles vivem em áreas rurais. No entanto, a demanda de energia nos países em desenvolvimento é completamente diferente do que é observado nas regiões como a Europa ou América do Norte. De acordo com a Agência Internacional de Energia, as famílias em muitos países não membros da OECD ainda dependem fortemente de fontes de energia não-comercializadas tradicionalmente, incluindo madeira e resíduos, para aquecer e cozinhar. Portanto, a concepção de sistemas de energia para os países em desenvolvimento apresenta um grande desafio: projetar a partir do zero um sistema que seja ambiental e economicamente viável e que permita o desenvolvimento social e econômico para as populações.

Por este motivo, os autores portugueses do Instituto Superior Técnico de Lisboa, centralizam no desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistema que otimiza a solução final, tendo em conta um caminho de crescimento da demanda, que reflete o desenvolvimento econômico associado à introdução da eletricidade.

Paleta, Pina e Silva (2012) mostraram como a eletrificação rural pode contribuir para o desenvolvimento socioeconômico das zonas rurais isoladas nos países em desenvolvimento e propõem a hipótese de que ao implementar um sistema de energia em uma área rural, uma vez que irá induzir o desenvolvimento socioeconômico, também irá implicar um aumento da demanda de energia. Esta hipótese, chamada hipótese de crescimento da demanda, já foi observada em alguns casos de eletrificação rural, e é descrito como a evolução de uma demanda cenário base a uma demanda cenário do bem-estar. O documento propõe ainda uma abordagem de design do sistema que leva em consideração esta hipótese. A abordagem consiste na concepção de um conjunto de soluções otimizadas para ambos os cenários e escolher a solução que é mais fácil de evoluir de um cenário para o outro.

No estudo de eletrificação rural de Angola, os resultados mostram que a configuração híbrida é a solução mais técnica e de custo eficaz quando se considera a escalabilidade do sistema a partir de um cenário base para outra em que um certo bem-estar tem sido alcançado através do desenvolvimento social e econômico. Os resultados são analisados por meio de uma análise de sensibilidade que considera a disponibilidade altamente volátil de combustível, uma vez que os países em desenvolvimento, especialmente em áreas rurais, são conhecidos em lidar com os preços dos combustíveis instáveis e questões de segurança do abastecimento. Portanto, as duas melhores opções para a fase inicial de eletrificação neste estudo de caso são o sistema de bem-estar cenário híbrido (nesta configuração do sistema é aquele com o menor LCOE e seu custo inicial é de apenas 12% superior) ou o cenário do sistema PV de base, se a escassez de Diesel é uma questão importante decisão (PALETA, PINA e SILVA, 2012).

A Eletrificação Rural também deve ser considerada como um fator contributivo para o desenvolvimento das cidades. Desta forma, promover o acesso a formas modernas de energia nos países em desenvolvimento para substituir os combustíveis tradicionais está no topo da agenda política.

Ruijven, Schers e Vuuren (2012) descrevem o desenvolvimento e aplicação de um modelo global para a eletrificação rural. O modelo é utilizado para avaliar tendências futuras na eletrificação e as necessidades de investimento associados. O modelo é aplicado para um conjunto de cenários de eletrificação. A tendência no aumento da eletrificação difere consideravelmente entre as regiões do mundo: na

América Latina e na Ásia, o acesso à energia elétrica ocorre em níveis mais baixos de renda do que na África. Sob desenvolvimentos de negócios usuais, o acesso universal à eletricidade não é atingido até 2030 na América Latina, na Ásia ou na África subsaariana .

Investimentos por domicílio dependem fortemente da densidade populacional, o que implica custos relativamente baixos na maioria das sub-regiões asiáticas. O potencial das tecnologias mini-rede e fora da rede deverão ser elevados na América Latina e África Subsaariana, e menor na Ásia. Este é um resultado de elevados custos de rede de eletrificação em baixas densidades populacionais em grande parte da África rurale na América Latina (RUIJVEN, SCHERS e VUUREN, 2012).

2.11.2 Benefícios dos Sistemas Híbridos

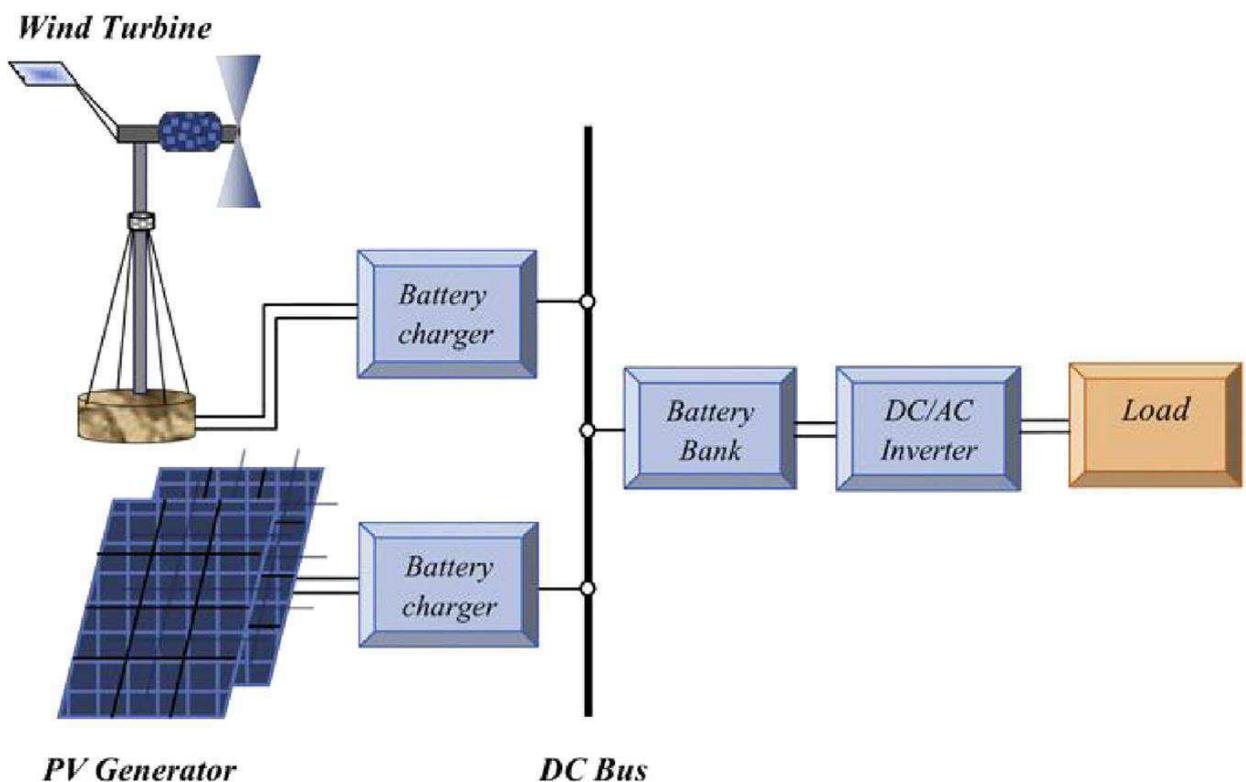
Como este estudo baseia-se na utilização de um sistema híbrido, no que se refere à utilização das energias solar e eólica, será apresentado a visão de alguns autores sobre os benefícios dos sistemas híbridos.

Para Mohammed, Mustafa e Bashir (2014), um sistema de energia híbrida é uma técnica de geração de potência emergente que envolve uma combinação de diferentes sistemas de energia, principalmente fontes renováveis para a configuração de saída ideal. Em uma busca moderna para o desenvolvimento da energia (RE) renovável, as condições ideais para a produção e utilização do sistema de energia são consideradas como um recurso indispensável para carregar o despacho econômico. Este é um fato racional levando em consideração o aumento do preço da energia para o desenvolvimento socioeconômico. Portanto, o presente trabalho analisa as questões principais relativas dos drivers e benefícios específicos de sistemas de energias renováveis híbridos (ERC). Além disso, este trabalho apresenta discussões sobre as diversas fontes de energia renováveis que podem ser exploradas para a implementação HRES. Finalmente, o quadro se desenrola numa avaliação vívida de fatores a serem considerados para a concepção e implementação de HRES em geral, incluindo pacotes de simulação e otimização de software para a realização dessas análises.

A Figura 04 demonstra através do Diagrama de Blocos de um sistema híbrido PV / Vento utiliza a energia gerada através das turbinas de vento e a energia

gerada através dos painéis fotovoltaicos, utilizando um sistema de carregador de bateria para ambos os sistemas, demonstrados através de um banco de baterias, um inversor DC/AC resultando, assim, na carga. Este estudo vem a sanar uma grande preocupação da utilização do sistema híbrido de energia, pois é capaz de padronizar os watts de potência tanto no fluxo da utilização da energia solar quanto para a energia atribuída através das turbinas de vento.

Figura 04: Diagrama de Blocos de um sistema híbrido PV / Vento

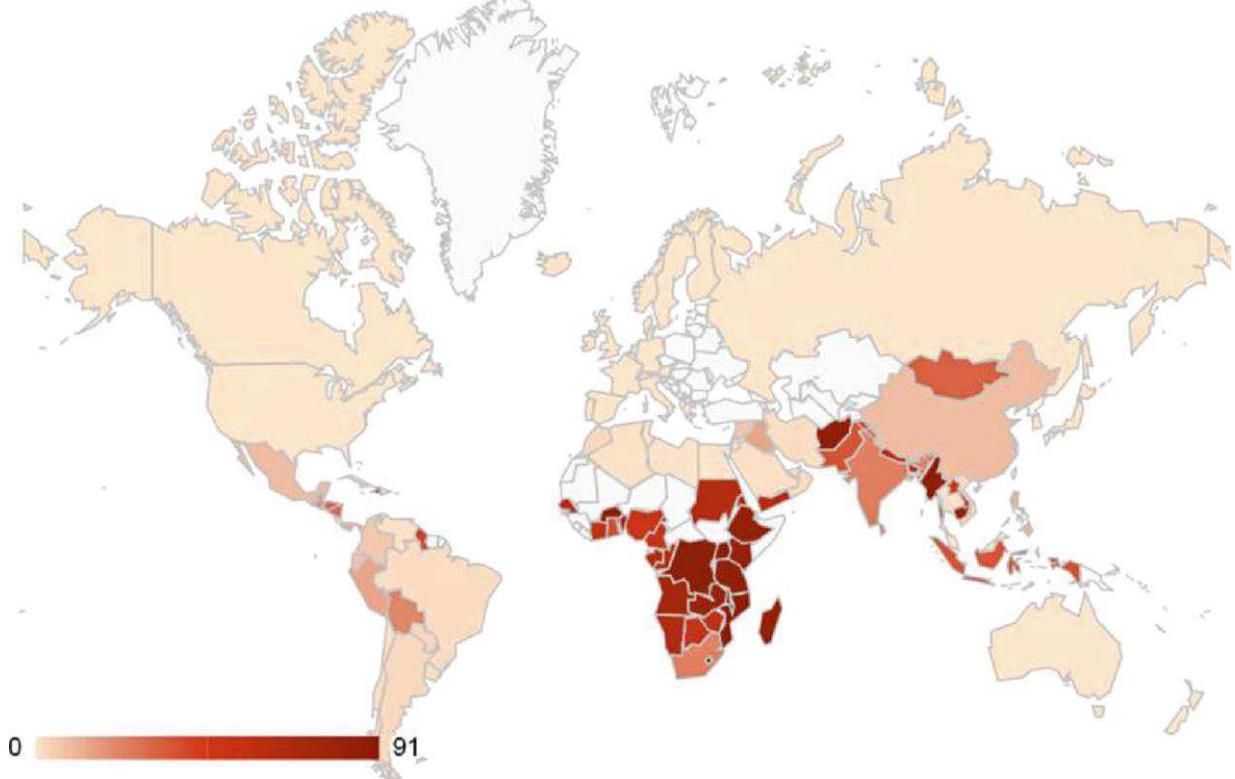


Fonte: KAABECHE and BELHAMEL (2011).

Uma desvantagem atribuída ao Diagrama de blocos de um sistema híbrido PV/Vento, é que não são utilizados em empreendimentos de elevado porte. Porém, identificam-se como benefícios do sistema de energia híbrido, a ostentação dos métodos de integração de sistemas de potência, o aumento da confiabilidade da exploração do RE, a opção viável de eletrificação rural. Um forte ponto positivo seria poder influenciar o desenvolvimento de tecnologias avançadas de interface eletrônica de potência para captação de energia.

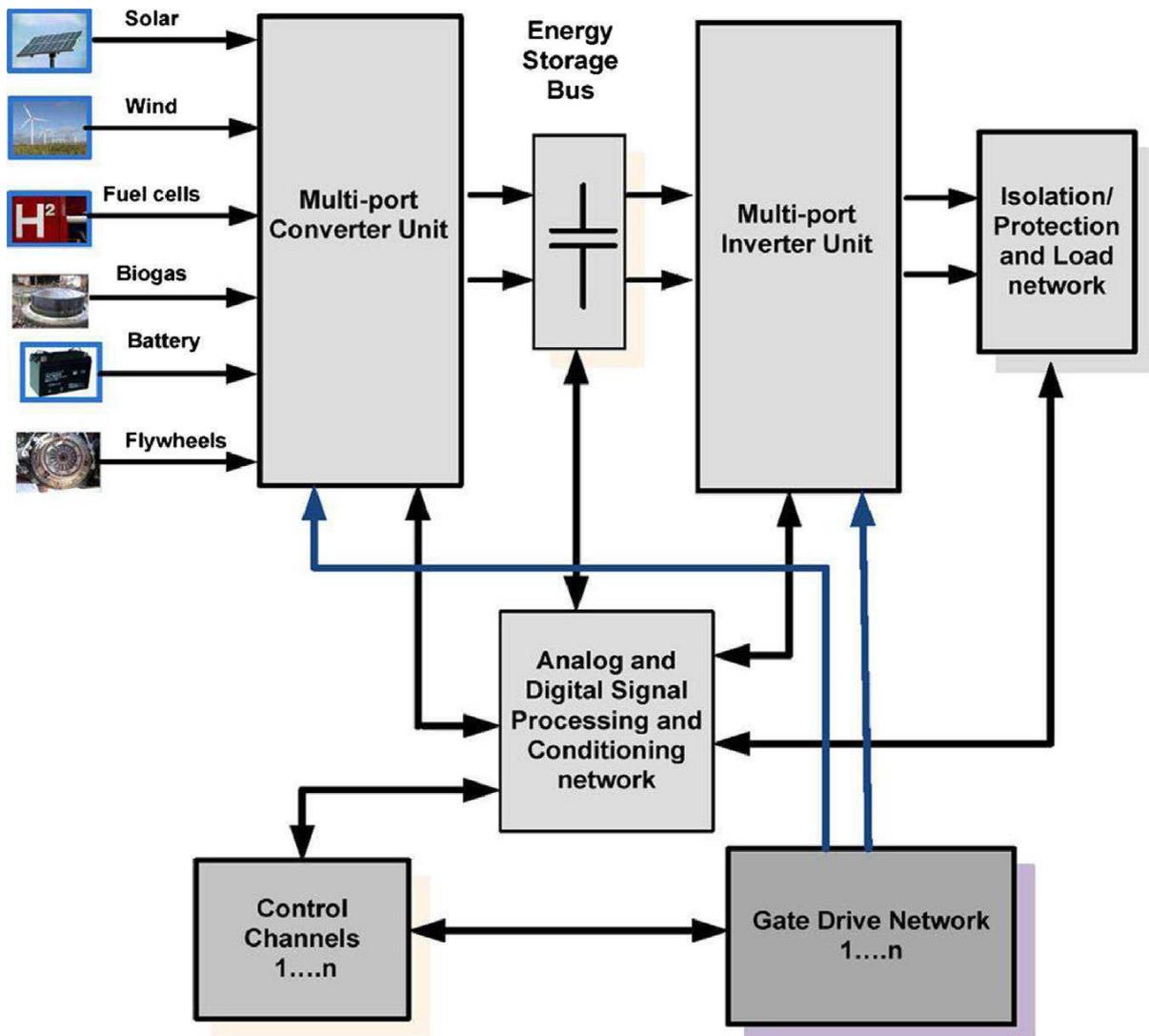
Na Figura 05, consegue-se perceber a porcentagem da população mundial sem acesso à eletricidade. Em um contexto mundial, o Brasil está em uma situação bastante favorável, na escala geral, quando se compara a alguns países africanos, mesma face aos países desenvolvidos. Porém, um agravante, que mereceria todo este estudo, seria a Matriz energética do Brasil, que já vem apresentando limitações, por utilizar a geração de energia através de hidroelétricas.

Figura 05: Percentagem da população sem acesso à eletricidade.



Fonte: IEA (2011).

Figura 06: Fontes de energia renováveis híbridas interligadas e seu algoritmo de controle.



Fonte: HALLETT, (2009)

A Figura 06 apresenta um Sistema Híbrido com base em energias renováveis, de maneira interligada e com utilização de algoritmo de controle. Neste sistema são utilizadas fontes de energia, solar, eólica, células de combustível, biogás, baterias e volantes.

2.11.3 Fontes de Energia Renovável com potencial para a utilização do sistema de energia híbrido

Várias fontes de energia renovável poderiam ter sido apresentadas, porém esta Tese limita-se a apresentar apenas as fontes de Energias Renováveis Solar e

Eólica. Entretanto, o autor aborda também em seu trabalho a Biomassa e Energia Hidrelétrica. Desta maneira também apresentamos discussões sobre a Radiação Solar Global e a Energia Eólica.

2.11.3.1 Radiação solar global

Radiação solar global é uma das principais fontes de energia com efeito potencial de utilização de energia renovável e redução de GHGs. A radiação solar varia de uma região para outra em todo o mundo e também poderia apresentar uma variação zonal-wise na região como revelado na Fig. 5. Esta diferença no potencial natural da radiação solar em diferentes localizações geográficas pode ser considerada como sendo o fato de que o potencial explorável difere no que diz respeito à intensidade da radiação solar. Dados de radiação solar eficazes em uma determinada localização geográfica são, para todos os efeitos, importantes para o desenvolvimento e análise de projetos de energia solar (ZAWILSKA, 2011 apud MOHAMMED, MUSTAFA e BASHIR, 2014).

Como resultado, existem inúmeras aplicações que utilizam sistemas solares como o substituto para usos convencionais de energia de origem fóssil. Em primeiro lugar entre os aplicativos estão os fogões solares, aquecedor de água e sistemas de aquecimento e refrigeração nos edifícios. Tecnologias de energia solar modernas são rentáveis para o usuário. Utilizar a energia térmica da radiação solar pode ajudar a reduzir a taxa atual de desmatamento (LUI, LUCAS e SHEN (2008) e CAI e ZANG (2006) nos países em desenvolvimento e fazer uma melhor contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Enquanto as nações embarcam em desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis, a energia solar é uma fonte potencial que deve ser explorado de forma adequada para garantir a segurança de abastecimento de energia e confiabilidade. Uma vez que o potencial para explorar qualquer oportunidade apresentada pela radiação solar depende diretamente do período de luz do sol, então, durante o inverno, a viabilidade do potencial de energia solar diminui. Uma abordagem importante no sentido de resolver este desafio é uma aplicação de um sistema de energia híbrida que integre diferentes fontes de energia e se possível, eventualmente, um sistema de bateria de back-up para o armazenamento de energia.

2.11.3.2 A Energia Eólica

Para MOHAMMED, MUSTAFA e BASHIR (2014) um sistema de energia eólica é um arranjo estrutural de energia a utilizar a energia cinética de um vento soprando, usando uma máquina de aerodinâmica. A energia eólica para fins de eletricidade tem desempenhado um papel muito importante em pequena escala de eletricidade a nível de geração distribuída no vento em regiões ricas do mundo. Em muitos países desenvolvidos, como EUA (DVORAK, ARCHER e JACOBSON, 2010), Canadá (LI e LI, 2005) e na Dinamarca (GIPE, 2011) geradores eólicos também estão sendo integrados a sistemas de rede nacionais.

Para Mohammed, Mustafa e Bashir (2014) regiões onde os ventos são potencialmente fortes e mais estáveis, como posições no mar e de altitude altas são localizações preferidas para parques eólicos (BANOS et. al., 2011). A saída gerada a partir de uma turbina eólica é determinada pela área da densidade de lâminas de turbina, velocidade do vento e do ar circundante. A avaliação de energia eólica é um dos principais requisitos para a exploração de energia eólica, pois determina o potencial de investimento. Decisões referentes ao investimento em eletricidade do vento poderia ser difícil de alcançar se os sistemas de dados abrangentes não estiverem disponíveis ou adequados. A escolha do local sustentável para o parque eólico e para a conversão do sistema de vento eficiente são considerações importantes para um melhor gerenciamento do sistema de energia eólica. A correta quantificação e qualificação dos recursos eólicos disponíveis em qualquer localização geográfica é crucial para a concepção de um parque eólico de forma otimizada, iluminando os investidores por meio da confiança necessária e da viabilidade financeira e avaliação de risco (CHANGLIANG e ZHANFENG, 2009).

Poucos países em desenvolvimento têm sustentado o investimento em energia eólica, especialmente China, África do Sul, Brasil e Índia. Os países desenvolvidos e países em desenvolvimento estão se esforçando no sentido de aumentar a capacidade instalada de sistemas de energia eólica para alcançar a comercialização na busca para desenvolver a tecnologia (MOHAMMED, MUSTAFA e BASHIR, 2014).

Em sua pesquisa sobre os Sistemas de energia renovável híbridos Mohammed, Mustafa e Bashir (2014) apresentam suas conclusões:

Com base nesta avaliação objetiva, os drivers que incentivam os usos de HRES foram discutidos. Além disso, os benefícios de explorar a técnica de geração de energia também foram apresentados. Também são apresentadas abordagens atualizadas para simulação e otimização de HRES usando diferentes pacotes de software como uma das questões cruciais que envolvem a série de análises que devem ser empreendidas para criar um sistema robusto com razoável eficiência e operação significativa. Levando-se em consideração as necessidades globais progressivas por energia para sustentar desenvolvimentos modernos e reduzir a restrição de acesso à energia nos países em desenvolvimento, a expansão do sistema de abastecimento de energia tornou-se uma preocupação séria. No entanto, os esforços ainda são necessários para a promoção do desenvolvimento de energia renovável. Nesta percepção, poderia ser melhor sugerir que a aplicação HRES para fornecimento de energia, particularmente em locais fora da rede, deva ser promovida. Desde que o preço da energia é um fator chave, a promoção de mecanismos de design com potencial para reduzir o custo é um fator muito importante, pois poderia justificar as guias de consumo dos recursos energéticos. Assim, HRES têm sido utilizados para tais objetivos. Propositadamente para incentivar a implantação maciça de HRES em alguns países em desenvolvimento emergentes, as resoluções legislativas e sócio-políticas também podem ser consideradas como instrumento inevitável. Tal necessidade de apoio legislativo traz à ribalta abordagens que poderiam trazer para baixo o custo de energia a partir de fontes renováveis (MOHAMMED, MUSTAFA e BASHIR, 2014).

Neste contexto, realmente a aplicação HRES deve ser estimulada para fornecimento de energia em locais onde este acesso ainda se torna limitado. Principalmente quando o autor aponta o fator preço da energia como relevante, ao passo que vem sendo desenvolvidos mecanismos de design com potencial para reduzir o custo, justificando assim a possibilidade de consumo dos recursos energéticos, afinal, este é o objetivo das HRES (Hybrid Renewable Energy Systems - Sistemas Híbridos de Energias Renováveis).

2.11.4 Tecnologias de Armazenamento para Sistemas Integrados

Como uma das grandes problemáticas da utilização dos Sistemas Integrados seriam as formas de Armazenamento da energia, buscou-se literatura para embasar o que vem sendo feito em termos de tecnologias de armazenamento para suprir essa limitação, e os resultados apresentaram-se bem satisfatórios no que se refere ao desenvolvimento deste tipo de tecnologia, o qual viabilizaria a utilização do Sistema de Energia Integrada.

A extensão antieconômica da rede levou a geração de energia elétrica nas instalações do usuário final e tem provado ser rentável e eficiente. Com o aumento da importância de tecnologias eco amigáveis, o uso de fontes de energia renováveis, tais como micro hídrica, eólica, solar, biomassa e biogás estão sendo exploradas. Chauhan, e Saini (2014) apresentam uma extensa revisão sobre várias questões relacionadas com Sistema Integrado de Energia Renovável (IRES) com base na geração de energia. Questões relacionadas com as configurações de integração, opções de armazenamento, metodologias de dimensionamento e controle do sistema de gestão do fluxo de energia são discutidas em detalhe. Para aplicações stand-alone, a integração de fontes de energia renováveis é realizada através de DC acoplado. AC acoplado ou configurações acopladas híbridas DC-AC são estudados em detalhe.

Com base no requisito de duração de armazenagem em áreas isoladas, as opções de tecnologia de armazenamento podem ser selecionadas para sistemas integrados. Incertezas envolvidas na concepção de um sistema eficaz de geração de energia com base IRES para áreas isoladas são contabilizadas devido à natureza altamente dinâmica de disponibilidade de fontes e da demanda no site. Diferentes metodologias adotadas e relatadas na literatura para o dimensionamento dos componentes do sistema são apresentadas. Controle distribuído, sistemas centralizados e híbridos de controle da gestão do fluxo de energia no IRES também foram discutidos por (CHAUHAN e SAINI, 2014).

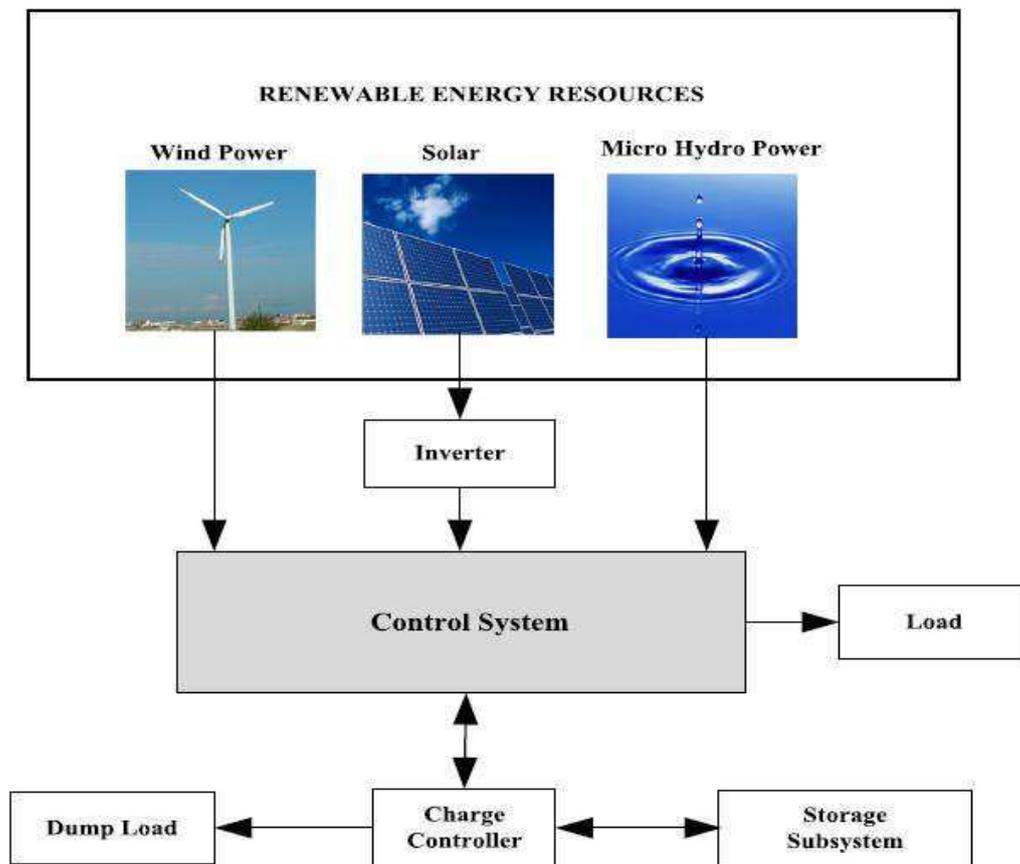
A tecnologia baseada em um único sistema (solar fotovoltaica / vento / mini-hidro) é uma opção viável para fornecer energia em áreas isoladas. Áreas rurais não eletrificadas, como aldeias ou vilas pequenas que estão longe da rede elétrica, podem ser eletrificadas pela tecnologia única. Em áreas remotas de avião, possíveis esquemas são sistema solar fotovoltaico, sistema de energia eólica etc. (RAMAKUMAR, 1995 apud CHAUHAN e SAINI, 2014).

O Sistema Integrado de Energia Renovável (IRES) tem sido proposto por vários pesquisadores para eletrificar áreas remotas (Ramakumar, Abouzahr e Ashenay, 1995; Ramakumar et. al. 1995 apud CHAUHAN e SAINI, 2014). Em IRES, a demanda de energia de uma área remota é atendida usando potencial de energia de fontes de energia renováveis localmente disponíveis. Nesta tecnologia, fontes de energia renováveis, como a solar, eólica, Micro Hydro Power (MHP), biomassa, biogás, etc., podem ser consideradas para a geração de energia. IRES têm o

potencial de agregar benefícios, tais como a eficiência energética e conservação de energia, resultante da combinação de fontes de energia renováveis. O uso integrado de diferentes fontes de energia renováveis minimiza exigência de armazenamento de energia, aumenta a confiabilidade do fornecimento e na qualidade de energia. Para aplicações stand-alone, estes sistemas são sempre incorporados com dispositivos de armazenamento, a fim de gerenciar o comportamento estocástico de fontes de energia renováveis, como solar e eólica.

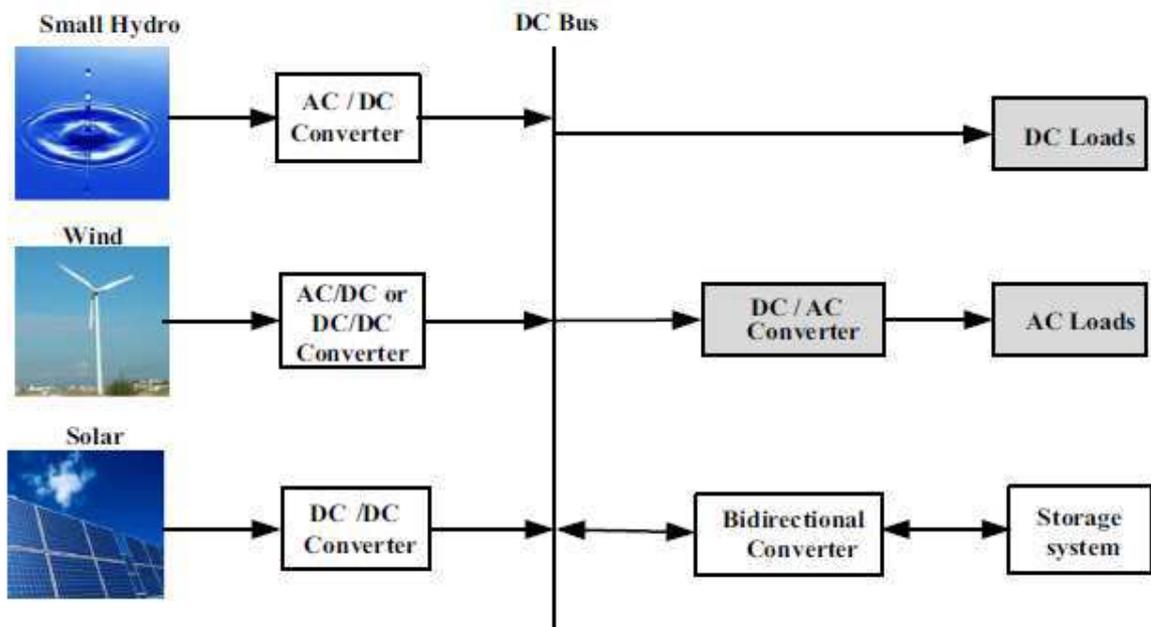
Chauhan e Saini (2014) apresenta o Sistema de Controle como o coração de IRES (Figura 07) que fornece a informação e comunicação entre os vários componentes do sistema. O sistema de controle regula o posto para fora das fontes de energia renovável e também gera os sinais para o agendamento de armazenamento de subsistema. Ele protege o sistema de armazenamento de excesso de carga e ajudar a operar o sistema de armazenamento em limite prescrito.

Figura 07: Esquemática do sistema integrado de vento-solar-MHP base



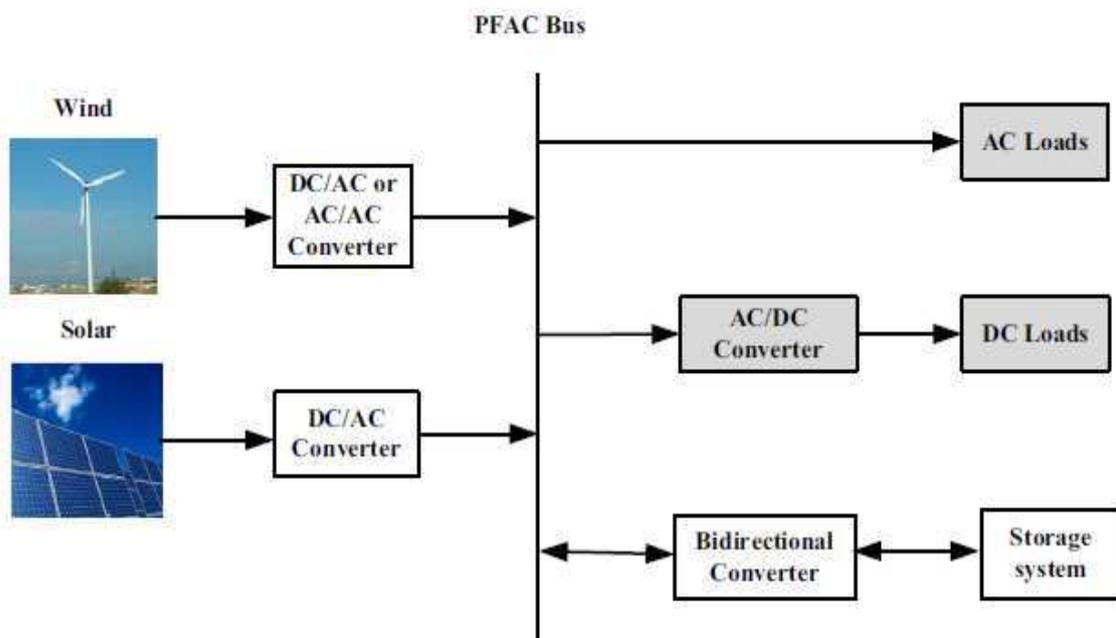
Fonte: CHAUHAN e SAINI (2014).

Figura 08: DC configuração acoplada pequeno sistema integrado baseado hydro-vento-solar



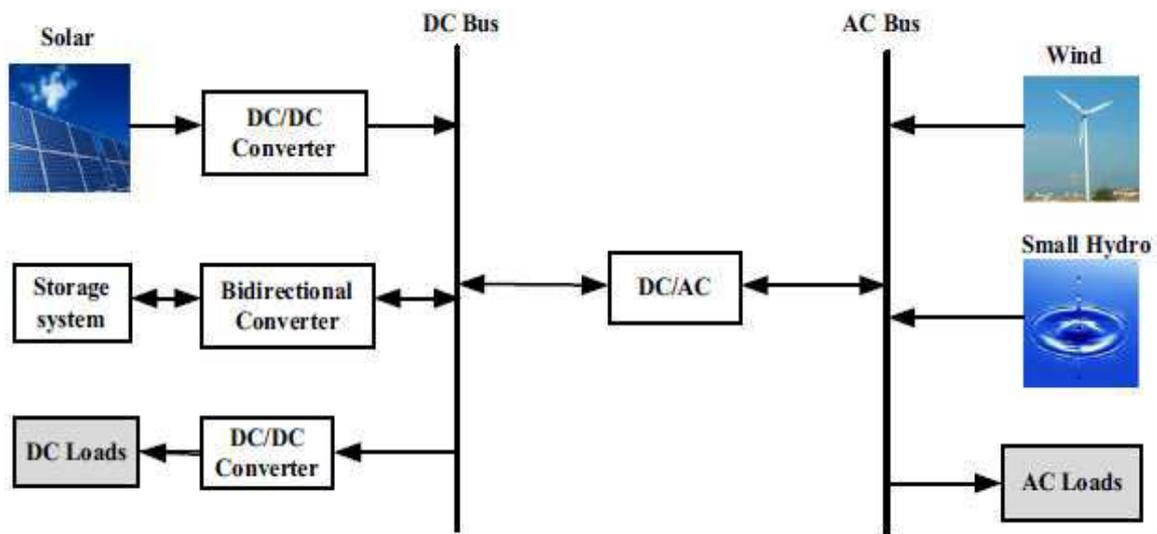
Fonte: CHAUHAN e SAINI (2014).

Figura 09: AC configuração acoplada de vento-solar com base em sistema integrado



Fonte: CHAUHAN e SAINI (2014).

Figura 10: Configuração acoplada híbrida de pequenas hidro-vento-solar com base em sistema integrado



Fonte: CHAUHAN e SAINI (2014).

O Sistema de armazenamento de energia (ESS) é um dos mais importantes componente de sistemas integrados, a fim de compensar a variação imprevisível da energia fornecida por fontes de energia renováveis intermitentes, como níveis de armazenamento de vento etc. Então, algumas opções de tecnologias de armazenamento apresentadas por Chauhan e Saini (2014) seriam: (a) O Sistema de armazenamento de bateria: As pilhas recarregáveis são um dos mais antigos sistemas de armazenamento de eletricidade que armazenam energia elétrica na forma de energia química; (b) Supercondutores de armazenamento de energia magnética do sistema (SMES); (c) Supercapacitores de armazenamento de energia; (d) Armazenamento de energia do volante; (e) Armazenamento bombeado hidrelétrica (PHS); (f) Armazenamento de energia de ar comprimido (CAES) e (g) armazenamento de hidrogênio.

2.11.5 A tecnologia para a contribuição na integração de fontes renováveis

Como contribuição para a integração de fontes renováveis, podemos citar a tecnologia Smart grid, que aborda a integração, o controle, a comunicação e a medição da energia, buscando diminuir a complexidade da rede de maneira a também reduzir as perdas no processo de transmissão, almejando também a

otimização da expansão da capacidade de energia, chamadas então de redes inteligentes de energia, alcançando todos os atributos para argumentar a utilização dos sistemas interligados, sistemas híbridos, ou seja, conexão do tipo heterogêneo de fontes, de modo a extrair a máxima potência a partir das fontes.

Para Reddy et. al. (2014) Smart grid é uma tecnologia para integração de confiança e controle inteligente de geração múltiplas unidades onde as cargas se espalham por uma rede de distribuição uniforme ou não uniforme. A estrutura básica de trabalho de uma rede inteligente é feita para facilitar a complexidade de integração de Distribuição de Fontes de Energia Renováveis (DRES) com maior penetração da rede, a redução das perdas de transmissão, a expansão da capacidade de energia otimizada com melhor gestão da procura e controle hierárquico para a segurança da rede. As redes inteligentes são compostas por quatro características únicas que podem ser dadas como Integração, Controle, Comunicação e Medida (ICCM).

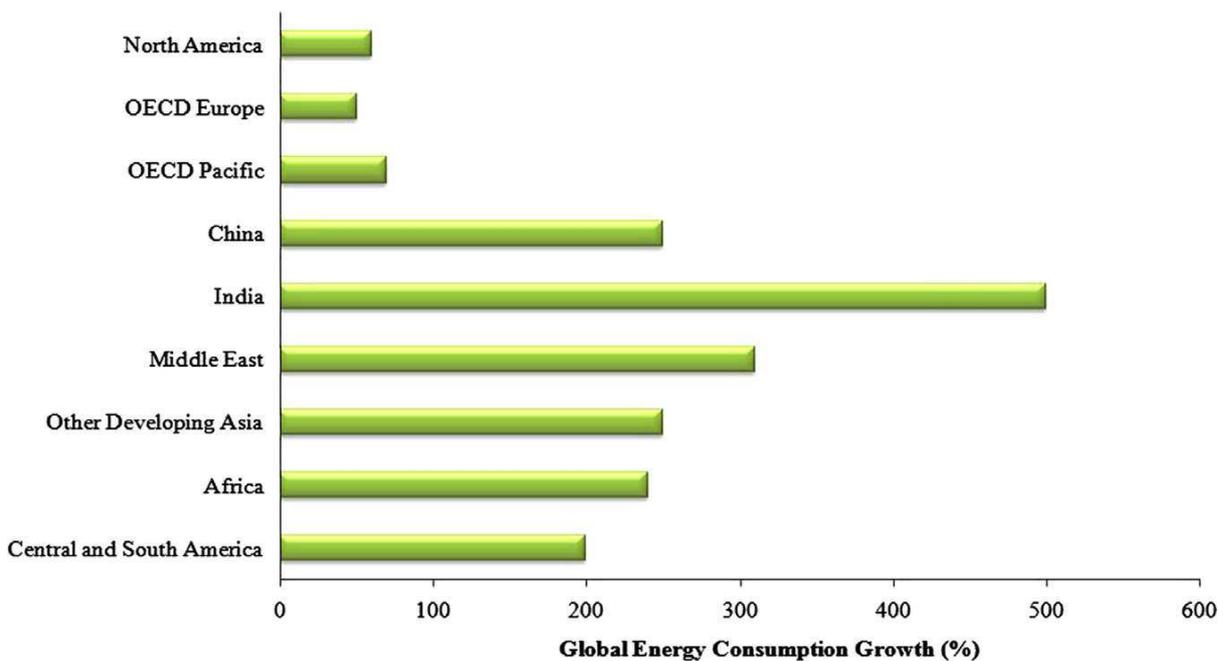
A integração refere-se à conexão do tipo heterogêneo de fontes com grade AC ou DC usando conversores adequados de energia. O poder de saída dos DRES depende das condições climáticas, tais como velocidade do vento e radiação solar. Os controles em redes inteligentes são feitos de modo inteligente para extrair a máxima potência a partir das fontes, programação operacional das fontes de energia e sobrecargas, controle de transientes, potência ativa e reativa. Para um funcionamento eficaz e diversificado do smart grid, a comunicação entre vários nós de controle se faz necessária. Padrões de comunicação para redes inteligentes geralmente são definidos por protocolos, e a maioria deles envolve a interligação da Linha de Comunicação Segura (SCL) para a unidade de controle principal por LAN (Local Area Network), HAN (Home Area Network) e WAN (Wide Area Network) (REDDY et. al., 2014).

A interligação deve ser acompanhada com um firewall em vários níveis para a segurança cibernética do smart grid. Os contadores inteligentes empregados em redes inteligentes fornecem informações adicionais da energia elétrica consumida em comparação aos contadores de energia convencionais. Os contadores inteligentes podem medir os parâmetros de energia da carga remotamente e transferir os dados através da rede de comunicação. Reddy et. al. (2014) apresentam diferentes métodos de ICCM em smart grid.

2.11.6 Convencional Grid e a necessidade de Smart Grid

A rede elétrica convencional é uma rede que atua como um link para a transmissão, distribuição e controle de energia elétrica a partir de produtores de energia para os consumidores (FANG et. al., 2012 apud REDDY et. al., 2014). A industrialização e o aumento da população exigem a procura de uma rede elétrica de recursos e de confiança. Espera-se um aumento da taxa de consumo de energia, como mostrado na Figura 11 o que pode resultar no aumento de falhas da rede durante o horário de pico de carga (NAYAN, ISLAM e MAHMUD, 2013 apud REDDY et. al., 2014). Estes distúrbios de energia vão resultar em despesas adicionais (USD 25-180 milhões) a cada ano (Departamento de Energia dos Estados Unidos, 2003). A rede elétrica existente não atende as necessidades do século XXI por causa de aumento na demanda de energia, da complexidade na gestão das redes de energia, e de limitações na geração da capacidade. Portanto, existe a necessidade imediata e altamente confiável para o desenvolvimento, autorregulação de sistema de rede eficiente, a fim de permitir a distribuição da geração integrada de energia renovável (para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e reduzir as emissões).

Figura 11: Previsão do crescimento do consumo global de energia 2007-2050.



Fonte: NAYAN, ISLAM e MAHMUD (2013) apud REDDY et. al. (2014).

A Figura 11 apresenta uma previsão do aumento do consumo de energia global, entre os anos de 2007 e 2050, em uma média geral de 200%, na qual é evidente a preocupação com a Índia, que teria uma prospecção de 500% no aumento do consumo de Energia, sabendo-se que a fonte de geração de energia da atualidade se dá por meio dos recursos hidroelétricos.

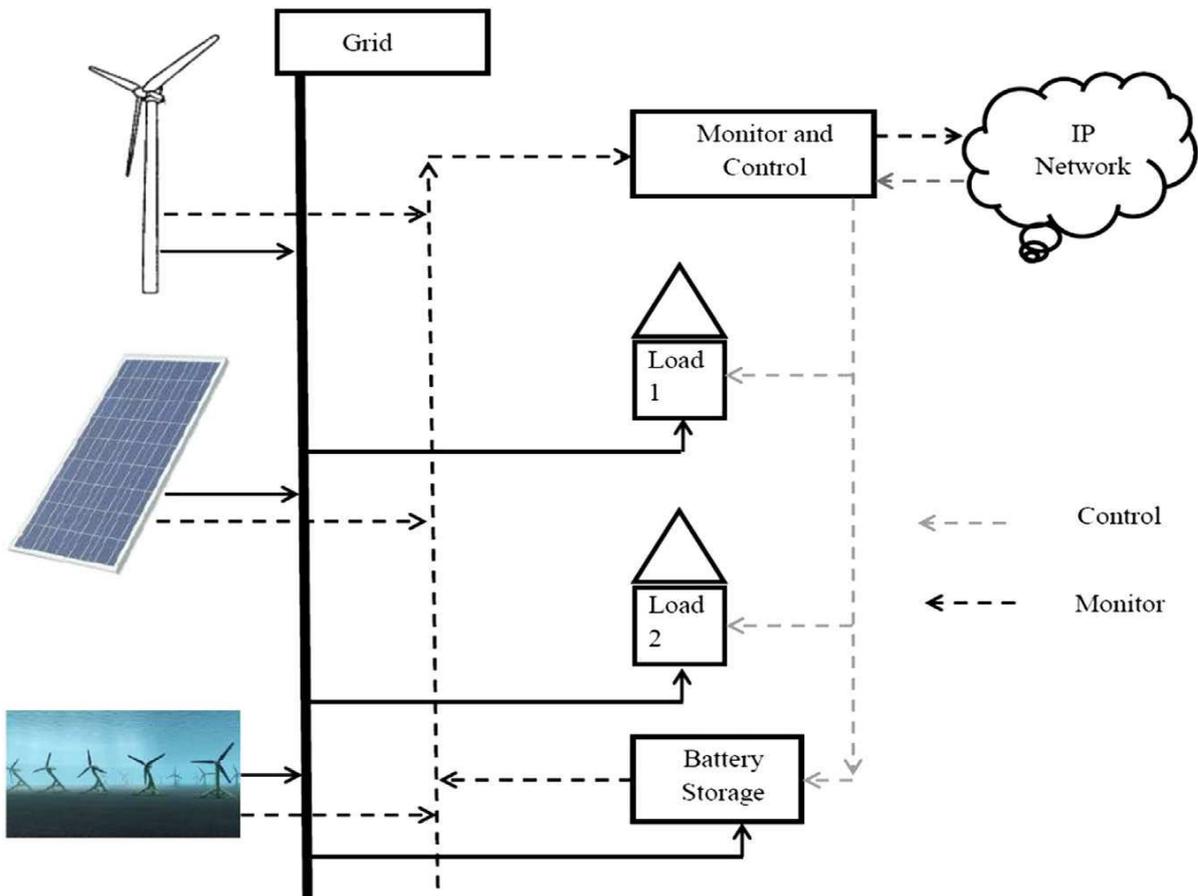
A questão é que a relação de energia e eletricidade com a economia de um país é bem estreita, pois a eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força, fazendo movimentar desde pequenos aparelhos em nossas casas como grandes processos fabris. Neste sentido, parte dos avanços tecnológicos se deve à energia elétrica. Assim, um país que não tem acesso a fontes de energias competitivas e mecanismos de transformação de energias compatíveis, estaria em uma situação bem limitada no que se refere ao seu desenvolvimento, principalmente em termos de competitividade econômica.

2.11.6.1 Smart grid

Para Reddy et al. (2014), Smart grid ajuda as concessionárias de energia e de rede a terem uma inteligência digital para a rede do sistema de energia. Smart grid vem com técnicas de medição inteligentes, sensores digitais, sistemas de controle inteligente com ferramentas analíticas para automatizar, monitorar e controlar o fluxo bidirecional de energia durante a operação do poder de ligar. As redes inteligentes são muitas vezes referidas como 'Internet Energia' ou sistema descentralizado que transforma a infraestrutura de energia elétrica em uma compilação rede caminho em um padrão Internet Protocol (IP) da rede (LOUIE, BURNS e LIMA, 2010 apud REDDY et. al., 2014).

Smart grid utiliza um grande número de plantas distribuídas discretas menores em vez de um único de alta produção da planta, reduzindo o risco de ataques e desastres naturais. Mesmo que isso ocorra, o smart grid por ser uma rede de auto cura vai restaurar-se rapidamente, isolando a linha especial e reenaminhando a fonte de alimentação. Isso será feito por meio de interruptores inteligentes, por exemplo, proteção digital rápida contra os regimes de curto-circuito em enrolamentos do transformador (KHRENNIKOV, 2012 apud REDDY et. al., 2014).

Figura 12: Fonte de alimentação com fornecimento de energia renovável, armazenamento de bateria, um controlador inteligente, capacidades de balanceamento de carga, e uma conexão de laço da grade.



Fonte: DEMEO e PETERSON (2013) apud REDDY et. al. (2014)

A Figura 12 apresenta a descrição de um sistema inteligente de uma fonte de alimentação com fornecimento de energia renovável, utilizando os recursos solar e eólico, através dos painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas, destacando as baterias para armazenamento de energia, com a utilização de um controlador inteligente, possibilitando o balanceamento das capacidades de carga e uma conexão de laço da grade. Neste sentido são notórios os benefícios da aplicabilidade de um sistema integrado.

Os sistemas inteligentes vêm barganhando espaço na Índia, China e Brasil, por prover aumento da eficiência energética. Além do mais, os benefícios da utilização dos sistemas inteligentes estão voltados para a estabilidade, segurança e a indicação de melhorias econômicas, assim como a redução de impactos ambientais. As tecnologias atribuídas a este sistema, viabiliza a utilização das fontes renováveis de energia solar e eólica de maneira integrada através de redes

inteligentes, possibilitando um planejamento energético através de uma melhor utilização da matriz energética brasileira, fomentando o desenvolvimento econômico, tecnológico, ambiental e social de uma região.

Mediante o sistema energético brasileiro, apresentado neste capítulo, no que se fez referencia a comercialização, geração, transmissão e distribuição de energia, esta Tese teve por objetivo fazer uma análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica no nordeste brasileiro, para esta análise se faz necessário apontar primeiramente, como as mudanças climáticas vem causando interferência no cenário energético, apontando principalmente problemas ambientais relacionados com a energia, como poluição do ar, chuvas ácidas, desmatamentos e desertificações.

Para contribuir com o sistema energético brasileiro, o sistema híbrido de energia torna-se uma possibilidade de geração de energia, para provar sua viabilidade, esta Tese se embasa no mapa de complementaridade energética, através da identificação do potencial solar e eólico no nordeste do Brasil, o qual será utilizado o modelo atmosférico BRAMS, *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*.

Para o alcance dos objetivos deste trabalho, analisar a viabilidade da geração híbrida de energia, apresentou-se estudos realizados em nível internacional, apontando primeiramente que a utilização de um sistema como esse viria á ajudar 1,3 bilhão de pessoas que não tem acesso a energia em todo o mundo, principalmente com a eletrificação rural.

Através dos estudos de Mohammed, Mustafa e Bashir, foi possibilitado a apresentação dos benefícios dos sistemas híbridos, através do Diagrama de Blocos de um sistema híbrido PV/vento e por fontes de energia renovável híbrido interligado. Através dos trabalhos de Chauhan e Saini, foi possível apresentar as tecnologias de armazenamento para sistemas integrados, chamadas de IRES, e os sistemas de armazenamento de energia (ESS). Reddy, apresenta o sistema smart grid que é capaz de ajudar as concessionárias de energia a terem uma inteligência digital para a rede do sistema de energia. Estes sistemas vem barganhando espaço em países como China, Índia e Brasil, por prover o aumento da eficiência energética.

CAPÍTULO III - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos que vinculam a fase final de apresentação desta pesquisa. Considerando que já tenha sido apresentado o problema de pesquisa e justificado a motivação da mesma, conseqüentemente ter explanado sobre a fundamentação teórica em que se sustentam os argumentos desta pesquisa, mediante os autores e temas que dão corpo a revisão bibliográfica, chega então o momento de explicar como o problema da pesquisa será abordado empiricamente, sendo assim embasado pelos procedimentos metodológicos.

3.1 Descrição da área de estudo

O Nordeste Brasileiro é composto por nove Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, ocupando uma área de 1.561.177,8 km², que corresponde a 18,26% da área total do Brasil. Esta região é caracterizada por extenso planalto, antigo e aplainado pela erosão e, por apresentar diferentes características, esta região está dividida em quatro sub-regiões: Zona da Mata, Agreste, Sertão e o Polígono das Secas.

Mapa 03: Mapa do Nordeste Brasileiro



Fonte: <http://www.skyscrapercity.com> (2011)

A faixa de transição entre o sertão semiárido e a região Amazônica denomina-se **Meio-Norte**, apresentando clima bem mais úmido e vegetação exuberante à medida que avança para o oeste. A vegetação natural do Meio-Norte é a mata dos cocais (IBGE, 2013). A população da região Nordeste totaliza 44.768.201 habitantes, o que representa 28,9% do total do país. Sua densidade demográfica é de 28,05 habitantes por km² e a maior parte da população se concentra na zona urbana (60,6%). As principais metrópoles regionais são as cidades de Salvador, capital do estado da Bahia, Recife, capital do estado de Pernambuco, e Fortaleza, capital do estado do Ceará. As quatro sub-regiões da região Nordeste do Brasil, Zona da Mata, Agreste, Sertão, Polígono das Secas, estão descritas a seguir:

- **Zona da Mata** - É a mais povoada, a que concentra o maior número de indústrias e a mais urbanizada. Estende-se do estado do Rio Grande do Norte ao sul do estado da Bahia, numa faixa litorânea de até 200 km de largura.

- **Agreste** - É a área de transição entre a Zona da Mata, região úmida e cheia de brejos, e o sertão semiárido.

- **Sertão** – Extensa área de clima semiárido. Nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, o sertão chega até o litoral. Os solos desta sub-região são rasos e pedregosos, as chuvas são escassas e mal distribuídas e as atividades agrícolas sofrem grande limitação. A vegetação típica do sertão é a caatinga. Nas partes mais úmidas existem bosques de palmeiras, especialmente a carnaubeira, também chamada "árvore da providência", que apresenta a característica de ter todas as suas partes aproveitadas. O rio São Francisco é o maior rio da região e única fonte perene de água para as populações que habitam em suas margens. Nele existem várias represas e usinas hidrelétricas, como a de Sobradinho, em Juazeiro, estado da Bahia, e a de Paulo Afonso, na divisa dos estados da Bahia e de Pernambuco. O Sertão apresenta muitos rios temporários e baixo índice pluviométrico, que também tem como característica a irregularidade, pois ocorrem longos períodos sem chuva (estiagem).

- **Polígono das secas** - Delimitada em 1951 para combater as secas do Nordeste, essa área abrange praticamente todos os estados do Nordeste, com exceção do Maranhão e o litoral leste da região. As secas de 1979 a 1984 e 1989 a 1990 atingiram 1.510 municípios do Nordeste brasileiro.

3.1.1 Aspectos socioeconômicos da região nordeste do Brasil

A economia da região Nordeste, fazendo referencia a agroindústria, apresenta um potencial no setor açucareiro e na produção do cacau. O petróleo é explorado no litoral e na plataforma continental e processado na refinaria Landolfo Alves, em Salvador, e no Polo Petroquímico de Camaçari, ambos no estado da Bahia. O setor de turismo, que tem demonstrado grande potencialidade de desenvolvimento na região Nordeste, vem crescendo consideravelmente nos últimos anos e apresenta perspectivas otimistas para o futuro.

A vegetação natural do Meio-Norte é a mata dos cocais, onde se encontra a palmeira babaçu, da qual é extraído o óleo utilizado na fabricação de cosméticos, margarinas, sabões e lubrificantes. A economia local é basicamente agrícola, predominando as plantações de arroz nos vales úmidos do estado do Maranhão. Na década de 80, no entanto, teve início o processo de industrialização da área, com a instalação de indústrias que constituem extensões dos projetos minerais da Amazônia.

Para a descrição dos dados socioeconômicos da região Nordeste do Brasil, serão utilizados dados estatísticos do IBGE e dados do site <http://www.brasilrepublica.com/nordeste.htm> (2013); e para este processo descritivo, será considerado também as quatro divisões do Nordeste, Zona da Mata, Agreste, Sertão e Polígono do Sertão:

- **Zona da Mata** - Possui clima tropical úmido, com chuvas mais frequentes na época do outono e inverno, exceto no sul do estado da Bahia, onde se distribuem uniformemente por todo o ano. O solo dessa área é fértil e a vegetação natural é a mata atlântica, já praticamente extinta e substituída por lavouras de cana-de-açúcar, desde o início da colonização do país.

- **Agreste** - Nesta sub-região os terrenos mais férteis são ocupados por minifúndios, onde predominam as culturas de subsistência e a pecuária leiteira. Seus produtos abastecem o maior mercado consumidor do Nordeste: a Zona da Mata.

- **Sertão** - A economia do sertão nordestino baseia-se na pecuária extensiva e no cultivo de algodão em grandes propriedades de terra, com baixa produtividade.

- **Polígono das Secas** - O combate tradicional às secas vem sendo feito com a construção de açudes e distribuição de verbas aos prefeitos dos municípios

atingidos. No entanto, o governo federal recentemente começou a implementar projetos na região, que visam à solução definitiva do problema de convivência do homem nordestino com a seca. Dentre tais projetos destaca-se o projeto Áridas, financiado pelo Banco Mundial.

3.1.2 Aspectos ambientais

Para abordar os aspectos ambientais da Região Nordeste do Brasil, vale ressaltar a imensidão da região Nordeste e a quantidade populacional, sendo feito um comparativo com a realidade do bioma da região e seu domínio climático.

A região Nordeste brasileira ocupa aproximadamente 1.600.000 km², o equivalente a cerca de 18% da superfície do Brasil, estando inserida a região semiárida, ocupando uma área que abriga 63% da população nordestina, com cerca de 900 mil km², correspondendo a aproximadamente 70% da região Nordeste e 13% do território brasileiro. A importância ecológica dessa região se dá antes de tudo pela existência de um bioma único em sua maior parte. Esse bioma, peculiar e exclusivo, recebeu dos índios locais o nome de Caatinga, “a mata branca”, em virtude do aspecto da vegetação na estação seca, quando as folhas caem, e apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos permanecem (PRADO, 2003).

O bioma caatinga é o maior e mais importante ecossistema da Região Nordeste do Brasil, estendendo-se pelo domínio de climas semiáridos, numa área de quase 100 milhões de hectares, cerca de 11% do território nacional (ANDRADE et al., 2005). Este bioma está compreendido entre os paralelos de 2° 54' S a 17° 21' W e de acordo com Prado (2003), e abrange parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, e Minas Gerais. Apresenta uma variada cobertura vegetal, em grande parte determinada pelo clima, relevo e embasamento geológico, que em suas múltiplas inter-relações, resultam em sistemas ecológicos bastante variados (ANDRADE-LIMA, 1981; SAMPAIO, 1995).

3.2 Métodos e Técnicas da pesquisa

Neste item serão apresentados os instrumentos técnicos e metodológicos utilizados para a realização desta pesquisa.

3.2.1 Métodos de Pesquisa

No que se refere ao Método de pesquisa utilizado, este trabalho emprega o **método dedutivo**, pois parte de teorias existentes sobre o mapa de complementaridade para encontrar respostas a novos problemas;

Segundo Gil (2006, p.27):

O método dedutivo, de acordo com a aceção clássica, é o método que parte do geral e, a seguir, desde ao particular. Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar à conclusão de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica (GIL, 2006, p.27).

Este método torna-se o mais apropriado por levar ao conhecimento verdadeiro, que decorre de princípios considerados como evidentes, que de certa maneira se tornam irrecusáveis.

3.2.2 Técnicas de pesquisa

As técnicas de pesquisa referem-se à classificação correspondente às possibilidades metodológicas, delimitadas de acordo com os objetivos da pesquisa, de maneira que podemos classificá-las mediante a natureza da pesquisa, a abordagem do problema, os objetivos da pesquisa e os procedimentos técnicos.

3.2.2.1 Quanto à natureza da pesquisa

Pesquisa aplicada: necessita de desenvolvimento conseguido pela pesquisa pura; pretende a aplicação prática do conhecimento; aplicação imediata numa realidade conhecida. (MATTAR, 1999, p. 51, grifo nosso).

Gil (2006) reforça essa afirmação, argumentando que:

A pesquisa aplicada, por sua vez, apresenta muitos pontos de contato com a pesquisa pura, pois depende de suas descobertas e se enriquece com o seu desenvolvimento; todavia, tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos (GIL, 2006, p.43).

Esta pesquisa considera-se de natureza aplicada pelo fato de aprimoramento dos conhecimentos adquiridos pela pesquisa básica, conseguindo de tal maneira sugerir aplicações práticas, por meio do poder público ou privado,

mediante conhecimento do mapa de complementaridade energética, para implantação de sistemas híbridos de energia solar e eólica.

3.2.2.2 Quanto à abordagem do problema

Quanto à abordagem deste problema de pesquisa, a mesma pode ser considerada quantitativa e qualitativa;

Pesquisa quantitativa – é aquela que traduz em números as opiniões e informações, utilizando técnicas estatísticas para serem classificadas e analisadas; emprego de quantificação na coleta dos dados; tratamento dos dados através de técnicas estatísticas.

Esta pesquisa tem características quantitativas quando na elaboração dos mapas de complementaridade energética, por utilizar análises estatísticas para obtenção dos dados.

Pesquisa qualitativa – é aquela que faz a compreensão detalhada dos significados e características situacionais apresentadas pelos entrevistados. (RICHARDSON, 1999, p.70).

Esta pesquisa também poderá ser classificada como qualitativa pela descrição dos procedimentos, mesmo se utilizando primeiramente de informações quantificáveis; os dados qualitativos deverão ser avaliados na fase de análise da viabilidade dos sistemas híbridos de energia solar e eólico, através da análise dos mapas de complementaridade solar e eólico.

3.2.2.3 Quanto aos objetivos da pesquisa:

É possível agrupar as pesquisas em três níveis de acordo com o objetivo: exploratórias, descritivas ou explicativas (GIL, 2006, p. 43). Esta pesquisa por sua vez caracteriza-se como exploratória:

A pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar maiores informações sobre determinado assunto, facilitar a delimitação de um tema de trabalho. Desenvolve-se com o objetivo de proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato (GIL, 2006, p. 43). Envolve, habitualmente, levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso.

Este estudo em particular tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, que se faz referência aos mapas de complementaridade, com o intuito torná-lo mais explícito para aprimoramento das ideias.

3.2.2.4 Quanto aos procedimentos técnicos utilizados para desenvolver a pesquisa

Procedimento é a maneira pela qual são obtidos os dados necessários para a elaboração da pesquisa. De acordo com os procedimentos técnicos adotados, classificam-se em pesquisa de campo e pesquisa de fonte.

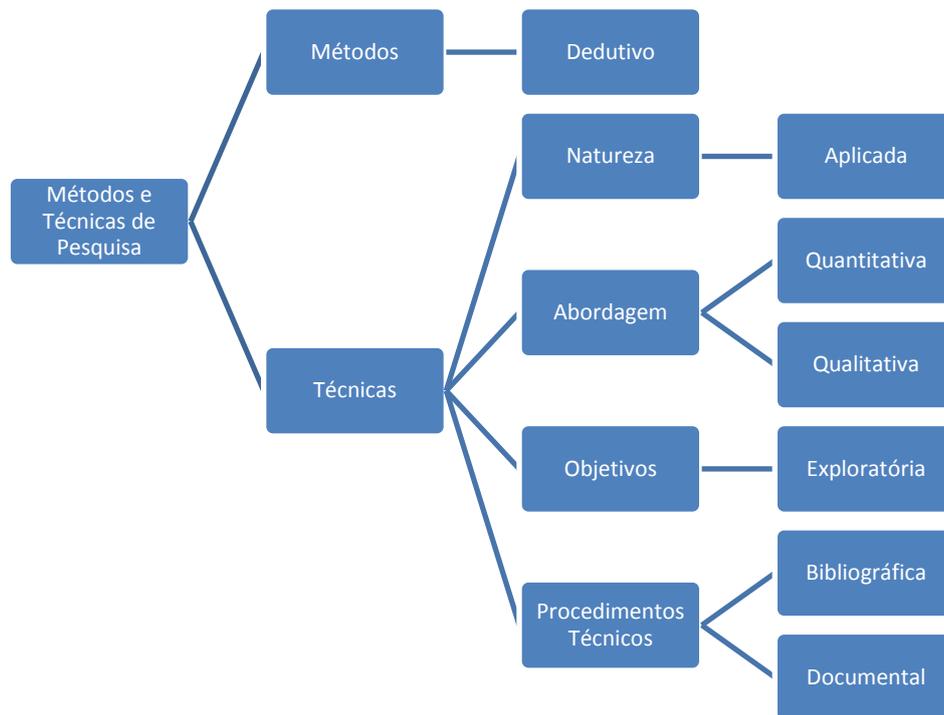
Neste caso específico de pesquisa, a mesma caracteriza-se como pesquisa de fonte, que pode ser subdividida em dois tipos:

Pesquisa bibliográfica - fontes secundárias: livros e outros documentos bibliográficos. Segundo Andrade (2004, p. 21) essas denominações se referem muito mais ao ambiente onde se realizam do que ao tipo ou características da pesquisa. Nesse sentido, a pesquisa bibliográfica pode ser um trabalho independente ou constituir-se no passo inicial de outra pesquisa.

Pesquisa documental - serão utilizados documentos primários, originais, em primeira mão como: dados estatísticos do IBGE, do Ministério de Minas e Energia e EPE, que possibilitaram a análise de viabilidade do sistema híbrido solar e eólico.

Como forma de simplificar os procedimentos metodológicos, sob os métodos e as técnicas utilizadas na pesquisa, será apresentado conforme a Figura 13, um esquema que subdividirá os métodos e as técnicas já descritos.

Figura 13: Esquema do método e técnica utilizados na pesquisa



Fonte: Elaboração Própria (2013).

3.3 Procedimentos de Coleta de dados

Os dados adquiridos para a realização da pesquisa obedecerão três etapas. A primeira delas destina-se à elaboração do Mapa de radiação solar incidente e de velocidade do vento, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera. O modelo atmosférico utilizado será o *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS* na versão 4.2. O BRAMS é um modelo de mesoescala e inclui no seu código várias opções de parametrizações físicas, dentre elas: radiação de onda longa e de onda curta; de turbulência na camada limite planetária; microfísica de nuvens; de convecção rasa; e, convecção profunda.

Na segunda etapa será apresentado o Mapa de complementaridade energética, através da sobreposição do mapa de radiação solar incidente e do mapa de velocidade do vento, sobrepondo um sobre o outro, identificando, áreas com maior potencial solar e eólico, propícias para implantação de um sistema híbrido. Na terceira etapa acontecerá a análise destas áreas propícias aos sistemas híbridos quanto a questões econômicas, sociais e ambientais, apontando assim a análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica.

3.4 Estruturação metodológica da pesquisa – sequência de etapas

Para a realização da análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica no nordeste brasileiro, houve o cumprimento de quatro etapas, incluindo a fase de elaboração dos mapas de complementaridade dos potenciais solar e eólico, desta maneira, se descreve abaixo, estas etapas:

Etapa 1 – Identificar o potencial energético solar e eólico através da radiação solar incidente e velocidade dos ventos na região;

Etapa 2 – Mapa de Complementaridade dos potenciais solar e eólico;

Etapa 3 – Identificação de áreas propícias para sistemas híbridos solar e eólico;

Etapa 4 – análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica.

Com os dados adquiridos com as fases sugeridas obterem-se os dados do potencial solar e os dados do potencial eólico, a análise desta seção será baseada nos resultados do Modelo BRAMS já descrito, onde será formado o mapa de complementaridade, através da sobreposição dos dois dados, identificando as áreas que são favorecidas pelo uso de um sistema híbrido solar e eólico. Em seguida, a cada área identificada como favorável ao sistema híbrido, serão analisadas a viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica.

3.5 O Modelo Atmosférico Utilizado

A identificação das áreas propícias para implantação dos sistemas híbridos, será realizada através da análise dos mapas de radiação solar incidente e de velocidade do vento, identificando assim o potencial solar e eólico da região nordeste do Brasil, para alcançar o desenvolvimento deste mapas, foram realizadas simulações numéricas da atmosfera.

O modelo atmosférico utilizado será o BRAMS - *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* na versão 4.2., que é um modelo de mesoescala e inclui no seu código várias opções de parametrizações físicas, dentre elas:

- Radiação de onda longa e de onda curta (CHEN e COTTON, 1983);

- Turbulência na camada limite planetária (MELLOR e YAMADA, 1982);
- Microfísica de nuvens que segue o esquema descrito por Walko et al. (2000);
- Convecção rasa desenvolvida por Souza (1999); e,
- Convecção profunda do tipo Kuo (1974), modificada por Molinari (1985).

Os dados de entrada do modelo são as reanálises do *National Centers for Environment Prediction* – NCEP e *National Center for Atmospheric Research* – NCAR. A grade utilizada pelo BRAMS foi centralizada nas coordenadas 9°S e 40°W. A resolução espacial da grade utilizada nos experimentos é de 40 km com 60 pontos tanto em x quanto em y. Foram utilizados 42 níveis verticais. As variáveis de saída serão as componente meridional e zonal do vento (u e v) e a radiação solar incidente na superfície R_s . O modelo será integrado para os anos de 2010 e 2011 com saídas a cada hora, isto é: será gerada uma série temporal com dados horários. A partir dessa série, serão calculados valores médios para as quatro estações do ano, definidas da seguinte forma: verão (de janeiro a março - JFM); outono (de abril a junho - AMJ); inverno (de julho a setembro - JAS) e primavera (de outubro a dezembro - OND), feitos em dois formatos, a média da variável e a variável é normalizada.

Logo após desenvolve-se uma sobreposição de mapas de potencial energético, capas de apontar cada área do nordeste que apresenta-se propícia para a implantação de um sistema híbrido de energia solar e eólica.

CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No item apresentação e análise dos resultados serão abordados os resultados e discussões sobre a análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica do nordeste brasileiro. Para esta análise será apresentado o potencial solar e o potencial eólico da região nordeste do Brasil, gerado através do modelo atmosférico *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System - BRAMS* na versão 4.2. Que resultará no mapa de complementaridade solar e eólica através da sobreposição dos mapas destes potenciais.

Desta forma, apresenta-se o Mapa de Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) e o desvio de Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), assim como o Mapa de Velocidade do Vento (m/s) e o Mapa de desvio da Velocidade do Vento (m/s), para assim poder ser gerado o Mapa de complementaridade solar e eólica, é o Mapa da soma das duas fontes de energia, devendo a mesma ser convertida para a mesma unidade, apresentando também a variação de desvio para o Mapa de complementaridade solar e eólico da região nordeste do país, capaz de identificar sob cada intervalo de variação, seria também, o desvio para mais ou para menos, em cada intervalo especificado.

Ainda nesta análise de Mapas, gerou-se também o Diagrama Hovmoller para radiação solar e para o vento, apontando a variação com relação a latitude e o tempo, apresentada trimestralmente, que poderá descrever esta variação a cada estação do ano, outono, primavera, inverno e verão. Antes de seguir com a análise dos mapas referenciados, se faz necessário apresentar a contribuição que os Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável na análise das áreas em condições perfeitas para a implementação dos parques híbridos de energia solar e eólica. Esta apresentação, antes da análise dos respectivos mapas, se fara relevante pelo fato de apresentarmos um modelo genérico, que não teriam todos os indicadores adequados a situação energética das fontes de energia solar e eólicas respectivamente. De maneira à subseqüentemente apontar algumas sugestões de indicadores que poderiam mais especificamente ser utilizado neste contexto em particular.

4.1 A Contribuição dos Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável na análise do Mapa de complementaridade energética solar e eólico

Como a indicação de parques híbridos de energia solar e eólicos não podem ser baseados apenas nas condições perfeitas de radiação solar incidente e velocidade do vento, então tornou-se necessário a indicação de algumas variáveis que poderiam contribuir ou limitar a detecção de alguma área ao processo de implementação do parque híbrido.

Neste desenrolar percebeu-se a contribuição que indicadores de sustentabilidade poderiam estar fazendo na indicação de cada localidade, diante desta percepção, um conjunto de indicadores voltados para o setor energético, seria de grande relevância para este estudo, sendo identificados como **Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável**, buscando-se um modelo capaz de suprir as necessidades deste trabalho, que oferecesse um suporte contributivo para a análise do mapa de complementaridade.

O modelo encontrado foi do IAEA (2005) que utiliza a nomenclatura de Indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável (EISD – *Energy Indicators for Sustainable Development*), considerando que (EISD) são discutidos de acordo com as dimensões, temas e sub-temas seguindo a mesma estrutura conceitual utilizada pela Comissão das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CSD).

Porém sua maior limitação, com referência a este trabalho, seria a generalização de seu modelo, a qualquer tipo de fonte energética sendo elas sustentáveis, porém pode ser percebido suas limitações em se tratando de duas fontes de energia que precisariam de indicadores mais específicos.

Desta maneira, se faz necessário trabalhar com os indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável, de forma que estes representariam um melhor posicionamento na detecção das melhores localizações para implementação de parques híbridos de energia solar e eólico.

No corrente, será apresentado o Modelo do EISD desenvolvido pelo IAEA (2005), identificando como este modelo genérico poderia ser contributivo para esta pesquisa, apontando suas limitações para o sistema híbrido de energia solar e eólico, assim como apresentar como sugestões, indicadores que poderiam ser

desenvolvidos com o intuito de contribuir para a identificação destas áreas perfeitas para implementação dos sistemas híbridos de energia solar e eólicos.

4.1.1 Desenvolvimento Sustentável

A preocupação com desenvolvimento sustentável iniciou-se por volta do ano de 1970, tomando dimensões ainda maiores. O primeiro passo foi a Conferência de Estocolmo (*United Nations Conference on the Human Environment*) que aconteceu no ano de 1972 enfatizando a importância da questão ambiental. Oito anos mais tarde, (1980) aconteceu a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*), documentado no relatório Nosso Futuro Comum (*Our Common Future*).

Sete anos depois, em 1987, tivemos o Tratado de Montreal com diretrizes para substituição dos gases Clorofluorcarbonos (CFC). Em 1992, no Rio de Janeiro, tivemos a *United Nations Conference on Environment and Development* (UnCED) ressaltando a resolução 44/228 da proteção ambiental, onde também foram criados documentos como: A agenda 21, a Convenção do Clima, a Convenção da Biodiversidade, a Declaração do Rio e os Princípios sobre Florestas. Em 1997, no Japão, aconteceram as reuniões relacionadas com as questões energéticas devidas à emissão dos gases de efeito estufa, que deram origem ao Protocolo de *Quioto*. Em 2002, houve a Conferência de *Joannesburgo*, denominada Rio +10 – Cúpula Mundial para o Desenvolvimento Sustentável e, recentemente, em 2012 aconteceu a Rio +20, no Rio de Janeiro.

Figura 14: Evolução Histórica do Desenvolvimento Sustentável

1972	• Conferência de Estocolmo
1980	• Comissão Mundial para Meio Ambiente
1987	• Tratado de Montreal
1992	• Unced - United Nations Conference on Environment and Development - Rio de Janeiro
1997	• Protocolo de Quioto - Japão
2002	• Conference Joannesburgo (denominada Rio +10)
2012	• Rio +20

Fonte: Elaboração Própria (2013).

No relatório *Nosso Futuro Comum*, obtivemos a mais completa conceituação para desenvolvimento sustentável:

Modelo de Desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem afetar a capacidade de geração futura de também satisfazer suas próprias necessidades (*Our Common Future*, 1987 *apud* Reis, Fadigas e Carvalho 2005).

O Desenvolvimento sustentável é capaz de contribuir com a resolução de problemas existentes na atualidade, assim como também pode atuar como um grande colaborador para a sobrevivência humana, oferecendo suporte de proteção aos sistemas naturais. Consequentemente requerem da sociedade mudanças imediatas nos sistemas produtivos sob, principalmente, a utilização dos recursos naturais, e uma boa alternativa para este impasse seria o uso sustentável dos recursos energéticos, possibilitando o uso de energias renováveis e limpas.

A busca de um modelo de desenvolvimento sustentável e de sua sequente implantação já ocorre há algumas décadas, alicerçada na visão crítica da organização da sociedade humana e impulsionada pelos diversos problemas de caráter ambiental e social, tais como o aquecimento global, a ocorrência de grandes

desastres ecológicos, a existência de grandes populações que vivem em condições de profunda pobreza e má distribuição da riqueza natural humana (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2005).

Um resultado importante desta discussão é a crescente conscientização sobre as significantes interferências que sistemas humanos impõem aos sistemas naturais, sobre o desequilíbrio ambiental resultante das mesmas e sobre os impactos irreversíveis que tal desequilíbrio pode ter sobre os referidos sistemas humanos e naturais (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2005).

4.1.2 Indicadores e suas contribuições para o desenvolvimento sustentável

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu em 1980 e foi consagrado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Comissão *Brundtland*, que produziu um relatório considerado básico para a definição desta noção e dos princípios que lhe dão fundamento (WORLD..., 1980 apud IDS Brasil, 2012).

De acordo como Relatório *Brundtland*:

[...] desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforça o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras [...] é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades (NOSSO..., 1988, p. 46).

Com esta explanação entendemos que as contribuições da utilização dos Indicadores para o Desenvolvimento Sustentável, estão atreladas ao fato de poder medir as transformações ocorridas nos processos de exploração dos recursos naturais, e se beneficiar desta mediação direcionando corretamente investimentos e tecnologia, moldando este potencial para satisfazer as necessidades presentes, de maneira que não comprometam as gerações futuras.

Os indicadores permitem acompanhar a sustentabilidade do padrão de desenvolvimento brasileiro nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional, fornecendo um panorama abrangente de informações para subsidiar decisões em políticas para o desenvolvimento sustentável. Em linhas gerais, eles medem a qualidade ambiental, a qualidade de vida da população, o desempenho econômico e a governança para o desenvolvimento sustentável, nos temas

biodiversidade, saneamento, água doce, saúde, educação, segurança, padrões de produção e consumo, e capacidade institucional entre outros aspectos. (IDS Brasil, 2012).

4.1.3 Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável

Esta pesquisa destacou os Indicadores de desenvolvimento Sustentável energéticos, o qual tomou-se por base o trabalho desenvolvido por IAEA (*International Atomic Energy Agency*) e órgãos como UNDESA (*United Nations Department of Economic and Social Affairs*), IEA (*International Energy Agency*) e EEA (*Eurostat and European Environment Agency*) que desenvolveram em 2005: *Energy Indicators for sustainable Development: Guidelines and Methodologies*.

O IAEA (2005) utiliza esta nomenclatura como - Indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável (EISD – *Energy Indicators for Sustainable Development*), considerando que os Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável (EISD) são discutidos de acordo com as dimensões, temas e sub-temas seguindo a mesma estrutura conceitual utilizada pela Comissão das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CSD). Há 30 indicadores, distribuídos em três dimensões (social, econômica e ambiental). Estes são classificados em sete temas e 19 sub-temas. Note que alguns indicadores podem ser classificados em mais de uma dimensão, tema ou subtema, dadas as inúmeras interligações entre essas categorias. Além disso, cada indicador pode representar um conjunto de indicadores relacionados necessários para avaliar uma questão particular (IAEA, 2005).

Foram utilizados três dos quatro indicadores para o referencial teórico deste trabalho, desta forma apresenta-se abaixo a adaptação dos indicadores sociais, econômicos e ambientais.

Quadro 07: Indicadores Sociais, segundo a IAEA

Social				
Tema	Subtema	Indicador de Energia		Componentes
Igualdade	Acessibilidade	SCO1	Proporção de domicílios (ou população), sem eletricidade ou energia comercial, ou fortemente dependentes da energia não-comercial	<ul style="list-style-type: none"> - Famílias (ou população) sem eletricidade ou energia comercial, ou fortemente dependente de energia não-comercial - Número total de famílias ou populações
	Capacidade de produção	SCO2	Compartilhar da renda familiar gasto com combustível e Eletricidade	<ul style="list-style-type: none"> - O rendimento familiar gasto em combustível e eletricidade - A renda das famílias (total e 20% mais pobres da população)
	Disparidades	SCO3	Uso de energia das famílias para cada grupo de renda e correspondente mistura de combustível	<ul style="list-style-type: none"> - O consumo de energia por domicílio para cada grupo de renda (quintos) - A renda familiar para cada grupo de renda (quintos) - Mistura de combustível correspondente para cada grupo de renda (quintos)
Saúde	Segurança	SCO4	Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível	<ul style="list-style-type: none"> - Mortes anuais por cadeia de combustível - A energia anual produzida

Fonte: IAEA et. al. (2005, p.11)

Quadro 08: Indicadores econômicos, segundo IAEA

Econômicos					
Tema	Subtema	Indicador de Energia		Componentes	
Consumo e Produção	Consumo	ECO1	Consumo de energia per capita	- O consumo de energia (oferta total de energia primária, o consumo final total e uso de eletricidade) - População total	
	Produtividade	ECO2	Consumo de Energia/ PIB	- O consumo de energia (oferta total de energia primária, o consumo final total e uso de eletricidade) - PIB	
	Eficiência no suprimento	ECO3	Eficiência na conversão e na distribuição de energia	- Perda em sistemas de transformação, incluindo perdas na geração, transmissão e distribuição	
	Produção	ECO4	Reservas Energéticas produção total de energia	- Comprovadas reservas recuperáveis	
				- A produção total de energia	
	ECO5	Recursos energéticos totais estimados	- O total estimado de recursos		
			- A produção total de energia		
	Uso Final	ECO6	Intensidade Energética Industrial	- O consumo de energia no setor industrial e de fabricação de ramo	
				- Valor correspondente adicionado	
				ECO7	Intensidades energéticas Agrícolas
- Valor correspondente adicionado					
ECO8					
	- Valor correspondente adicionado				
ECO9	Intensidades energéticas residencial	- O consumo de energia nos lares e pelo uso de chave final			
		- Número de famílias, área útil, de pessoas por domicílio, posse de aparelho			
ECO10	Intensidades energéticas no setor de Transportes	- Consumo de energia nos setores de viagens e de passageiros e mercadorias			
			- Viagens passageiros por km e toneladas de mercadorias por km		

	Diversificação (mix de combustíveis)	ECO1 1	Matriz Energética e Elétrica	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecimento de energia primária e de consumo final, geração de eletricidade e capacidade de geração por tipo de combustível - Oferta total de energia primária, o consumo final total, a geração total de eletricidade e capacidade total de geração
		ECO1 2	Participação de combustíveis não fósseis na matriz energética e elétrica	<ul style="list-style-type: none"> - Oferta primária, geração de eletricidade e capacidade de geração de energia sem emissões de carbono - Oferta total de energia primária, a geração total de eletricidade e capacidade total de geração
		ECO1 3	Participação de fontes renováveis na matriz energética e elétrica	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecimento de energia primária, o consumo final e na produção de eletricidade e capacidade de geração de energia renovável - Oferta total de energia primária, o consumo final total, a geração total de eletricidade e capacidade total de geração
	Preços	ECO1 4	Preço final da energia por combustível	<ul style="list-style-type: none"> - Os preços da energia (com e sem imposto / subsídio)
Segurança	Importação	ECO1 5	Percentual de energia importada	<ul style="list-style-type: none"> - As importações de energia - Fornecimento total de energia primária
	Estoque estratégico de combustíveis	ECO1 6	Estoque de combustível (gás, petróleo...)/ consumo total do combustível	<ul style="list-style-type: none"> - Os estoques de combustível crítica (por exemplo, petróleo, gás, etc.) - Consumo crítico de combustível

Fonte: IAEA et. al. (2005, p.12-13)

Quadro 09: Indicadores Ambientais, segundo a IAEA

Ambientais					
Tema	Subtema	Indicador de Energia		Componentes	
Atmosfera	Mudanças climáticas	ENV1	As emissões de gases de efeito estufa provenientes da produção e utilização de energia per capita e por unidade de PIB	- Emissões de GEE (Gases do efeito estufa) provenientes da produção e utilização de energia - População e PIB	
	Qualidade do ar	ENV2	Concentração de poluentes atmosféricos em áreas urbanas	- Concentração de poluentes no ar	
		ENV3	Emissões de poluentes atmosféricos provenientes de sistemas de energia	- Emissões de poluentes atmosféricos	
Água	Qualidade da água	ENV4	Descargas contaminantes nos efluentes líquidos provenientes de sistemas de energia, incluindo as descargas de petróleo	- Descargas contaminantes nos efluentes líquidos	
Solo	Qualidade do solo	ENV5	Áreas de solo com níveis de acidificação acima do crítico	- Área de solo afetada - Acima do crítico	
	Florestas	ENV6	Taxa de desmatamento atribuído ao uso de energia	- Área de floresta em dois momentos diferentes - A utilização da biomassa	
	Geração e Manejo de resíduos sólidos		ENV7	Geração de resíduos sólidos	- Quantidade de resíduos sólidos - A energia produzida
			ENV8	Disposição adequada de resíduos sólidos	- Quantidade de resíduos sólidos descartados adequadamente - A quantidade total de resíduos sólidos
			ENV9	Geração de resíduos sólidos radioativos	- Quantidade de resíduos radioativos (cumulativo, por um período de tempo selecionado) - A energia produzida
			ENV10	Percentual de resíduos sólidos radioativos aguardando disposição adequada	- Quantidade de resíduos radioativos aguardando alienação - O volume total de resíduos radioativos

Fonte: IAEA et. al. (2005, p.14-15).

4.1.4 Dimensões do Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável é, essencialmente para melhorar a qualidade de vida de uma forma que pode ser sustentado, economicamente e ambientalmente, a longo prazo, apoiado por uma estrutura institucional do país. Por esta razão, o desenvolvimento sustentável aborda quatro grandes dimensões: social, econômica, ambiental e institucional. Os indicadores são divididos em três dimensões: social, econômica e ambiental; questões institucionais são largamente consideradas respostas e não prontamente quantificadas como indicadores. Embora uma estrutura institucional sólida é essencial para um sistema de energia eficiente e confiável, indicadores para refletir essa dimensão institucional estão ainda para serem desenvolvidos e podem ser incorporados no EISD numa fase posterior (IAEA, 2005, p.16).

4.1.4.1 Dimensão Social

A dimensão social corresponde, especialmente, aos objetivos ligados à satisfação das necessidades humanas, melhoria de qualidade de vida e justiça social. Os indicadores abrangem os temas população; trabalho e rendimento; saúde; educação; habitação e segurança. Eles procuram retratar o nível educacional, a distribuição da renda, as questões ligadas à equidade e às condições de vida da população, apontando o sentido de sua evolução recente (IBGE, 2012).

Com a finalidade de explicar as desigualdades, no que se refere às questões de equidade, na edição dos indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2012, o mesmo foi desagregado quanto à equidade em sexo, cor e raça.

Disponibilidade de energia tem um impacto direto sobre a pobreza, oportunidades de emprego, educação, transição demográfica, a poluição interior e saúde, e tem implicações relacionadas com a idade e sexo. Nos países ricos, a energia para iluminação, aquecimento e para cozinhar está disponível no toque de um botão. A energia é limpa, segura, confiável e acessível. Nos países pobres, até seis horas por dia é necessário para coletar madeira e esterco para cozinhar e para aquecimento, e esta tarefa é geralmente feita por mulheres, que poderia ser de outra forma envolvidas em atividades mais produtivas. Em áreas onde o carvão vegetal e / ou parafina estão disponíveis comercialmente, esses combustíveis ocupam uma

grande parte da renda familiar mensal. Equipamentos e ventilação inadequados significa que esses combustíveis, queimados dentro de casa, causa um alto número de doenças e mortes por causa da poluição atmosférica e incêndios (IAEA, 2005, p.16).

4.1.4.2 Dimensão Econômica

Para o IBGE (2012), a dimensão econômica trata de questões relacionadas ao uso e esgotamento dos recursos naturais, bem como da produção e gerenciamento de resíduos, uso de energia, e sua ligação com o desempenho macroeconômico e financeiro do país. É a dimensão que se ocupa da eficiência dos processos produtivos e das alterações nas estruturas de consumo orientadas a uma reprodução econômica sustentável de longo prazo.

Os temas trabalhados nesta dimensão estão divididos em quadro econômico e padrões de produção de consumo. Quando fazemos menções ao tema quadro econômico, nos referimos à dinâmica macroeconômica do país, refletidos na trajetória da economia brasileira através do crescimento do PIB, do grau de endividamento, da balança comercial, e da taxa de investimento. Por outro lado, quando abordamos o tema padrões de produção e consumo, temos um reflexo direto nos recursos naturais como petróleo, gás natural e minérios.

As economias modernas dependem de uma fonte de energia confiável e adequada, e os países em desenvolvimento precisam garantir isso como um pré-requisito para a industrialização. Todos os setores da economia - residencial, comercial, transporte, serviços e agricultura - serviços modernos de energia de demanda promovem o desenvolvimento econômico e social a nível local, aumentando a produtividade e possibilitando a geração de renda local. O fornecimento de energia afeta empregos, produtividade e desenvolvimento. A eletricidade é a forma dominante de energia para comunicações, tecnologia da informação, manufatura e serviços (IAEA, 2005, p.18).

4.1.4.3 Dimensão Ambiental

Segundo IBGE (2012), a dimensão ambiental diz respeito ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, e está relacionada aos objetivos de preservação e conservação do meio ambiente, considerado fundamentais para qualidade de vida das gerações atuais e o benefício das gerações futuras. Estas questões aparecem organizadas nos temas atmosfera; terra; água doce; oceanos; mares e áreas costeiras; biodiversidade e saneamento.

A produção, distribuição e uso de energia criam pressões sobre o ambiente da família, local de trabalho e para a cidade, e a nível nacional, regional e global. Os impactos ambientais podem depender muito de como a energia é produzida e utilizada, a mistura de combustível, a estrutura dos sistemas de energia e ações regulatórias relacionadas com a energia e estruturas de preços. Emissões gasosas provenientes da queima de combustíveis fósseis poluem a atmosfera. As grandes barragens hidrelétricas causam assoreamento. Tanto o carvão e os ciclos de combustível nuclear emitem alguma radiação e geram desperdício. As turbinas eólicas podem estragar a paisagem intocada. E a coleta de lenha pode levar ao desmatamento e à desertificação (IAEA, 2005, p.19).

4.1.4.4 Dimensão Institucional

O IBGE (2012) aponta a dimensão institucional no que diz respeito à orientação política, capacidade e esforço despendidos pelo governo e pela sociedade na implantação das mudanças requeridas para uma efetiva implementação do desenvolvimento sustentável. O IBGE apresenta o desdobramento desta dimensão nos temas quadro institucional e capacidade institucional, apresentando nove indicadores.

O EISD ainda não inclui indicadores institucionais. Estes indicadores são os mais difíceis de definir, por duas razões. Primeiro, eles tendem a abordar questões que são, por natureza, difícil de serem medidos em termos quantitativos. Muitas dessas questões relacionam-se com o futuro e precisam de análise dinâmica com base em projeções de produção de energia, uso e investimento. Em segundo lugar, as variáveis medidas por indicadores institucionais tendem a ser estrutural ou

respostas políticas às necessidades de desenvolvimento sustentável (IAEA, 2005, p.20).

4.2 Modelo proposto dos Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável - EISD

Como os EISD será contributivo para estudar a avaliação da sustentabilidade na geração híbrida de energia solar e eólica do nordeste brasileiro, se faz necessário para isso avaliar indicadores apropriados para a referida temática, cuja elaboração torna-se essencial para a implementação de processos de desenvolvimento em bases sustentáveis. Por sua vez, estas informações passam a ter um papel altamente relevante nesse contexto de maneira a traduzir condutas adequadas para questões ambiental, sociais e econômicas coerentes para um processo de desenvolvimento sustentável.

Desta maneira, as três dimensões apresentadas, ambiental, social e econômica, serão pautadas na temática dos Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável, considerando que estes indicadores são discutidos de acordo com as dimensões, temas e subtemas seguindo a mesma estrutura conceitual utilizada pela Comissão das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CSD).

Para a composição do EISD, o IEA apresenta 30 indicadores, distribuídos em três dimensões (social, econômica e ambiental). Estes são classificados em sete temas e 19 subtemas, de modo que um indicador pode ser classificado em mais de uma dimensão, tema ou subtema, dadas as inúmeras interligações entre essas categorias.

Para a composição destes indicadores, será tomado por base o modelo desenvolvido pelo IAEA et. al. (2005, p.14-15), denominando Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável, como alguns indicadores não se adequam a realidade das fontes energéticas solar e eólicas, então será apresentado uma previa seleção do que será estimado nesta pesquisa.

Dentre esta previa, também serão apresentado algumas Sugestões de indicadores que poderiam esta sendo utilizados, assim como também, alguns indicadores apresentados no modelo ainda poderiam ser utilizados, se estivéssemos considerando o processo antes, durante e depois da implementação do parque

híbrido solar e eólico, porém, esta análise limita-se apenas a identificação dos locais de implementação, sendo assim, alguns indicadores não seriam relevantes para este processo de análise, tais como:

Para os indicadores sociais, apenas o indicador referente a Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível, seria utilizado, os demais indicadores como: Proporção de domicílios (ou população), sem eletricidade ou energia comercial, ou fortemente dependentes da energia não-comercial, Compartilhar da renda familiar gasto com combustível e Eletricidade; não teriam representatividade relevante para esta análise em particular.

Sob o aspecto econômico, apenas um indicador será analisado, a eficiência na conversão e na distribuição de energia, pois os demais indicadores como: Consumo de energia per capita, Consumo de Energia/ PIB, Eficiência na conversão e na distribuição de energia, Reservas Energéticas produção total de energia, Recursos energéticos totais estimados, Intensidade Energética Industrial, Intensidades energéticas Agrícolas, Intensidades energéticas no comércio, Intensidades energéticas residencial, Intensidades energéticas no setor de Transportes, Matriz Energética e Elétrica, Participação de fontes renováveis na matriz energética e elétrica, Preço final da energia por combustível e Percentual de energia importada e Estoque de combustível (gás, petróleo...)/ consumo total do combustível. Não seriam relevantes para esta análise específica.

Sob o aspecto ambiental, nenhum dos indicadores apresentados, teriam utilização relevante para esta análise específica porém sugeriu-se a utilização de novo indicador, que seria: Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia. Os demais indicadores como: As emissões de gases de efeito estufa provenientes da produção e utilização de energia per capita e por unidade de PIB, Concentração de poluentes atmosféricos em áreas urbanas, Emissões de poluentes atmosféricos provenientes de sistemas de energia, Descargas contaminantes nos efluentes líquidos provenientes de sistemas de energia, incluindo as descargas de petróleo, Áreas de solo com níveis de acidificação acima do crítico, Taxa de desmatamento atribuído ao uso de energia, Geração de resíduos sólidos, Disposição adequada de resíduos sólidos, Geração de resíduos sólidos radioativos, Percentual de resíduos sólidos radioativos aguardando disposição adequada, não apresentariam importância relevante para esta pesquisa.

Tabela 03: Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável

Social				
Tema	Subtema	Indicador de Energia		Componentes
Saúde	Segurança	SCO1 (4)	Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível	- Mortes anuais por cadeia de combustível - A energia anual produzida
Econômicos				
Tema	Subtema	Indicador de Energia		Componentes
Consumo e Produção	Eficiência no suprimento	ECO1 (3)	Eficiência na conversão e na distribuição de energia	- Perda em sistemas de transformação, incluindo perdas na geração, transmissão e distribuição
Turismo	Turismo e crescimento econômico	ECO2	Preservação do Turismo na Região	- comprometimento turístico da região
Ambientais				
Tema	Subtema	Indicador de Energia		Componentes
Atmosfera	Alterações no meio ambiente	ENV1	Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia	- mudanças ambientais no ecossistema - áreas de preservação de área florestal - Proximidades das áreas urbanas

Fonte: IAEA et. al. (2005, p.14-15)

Para o indicador Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia, devem ser considerados mudanças ambientais no ecossistema, devendo também Considerar áreas de preservação de área florestal e Proximidades das áreas urbanas.

E para o indicador Preservação do Turismo na região, deve ser respeitado e medido o comprometimento turístico da região.

Nos casos dos indicadores sociais, Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível; e indicadores econômicos, Eficiência na conversão e na distribuição de energia, estes serão apresentados de forma mais genérica, sem que haja a necessidade de ser trabalhada em áreas específicas, como as detectadas pelo mapa de complementaridade, mas expresas sob posição gerais.

4.3 Análise do modelo proposto dos Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável – EISD

Na Elaboração das Tabelas de Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável, foram utilizados por base, dados do IAEA: Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies (Indicadores para o Desenvolvimento Sustentável: Diretrizes e Metodologias), que serão associados a dados do IDS Brasil 2012, de maneira que o objetivo deste trabalho não seria desenvolver os Indicadores Energéticos, mas identificar e adaptar um modelo de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável; em seguida aplicar o modelo de indicadores energéticos relacionados aos mapas de complementaridade.

Desta forma, após prévia pesquisa sobre a existência dos indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável, foi identificado um modelo em Viena, com bases muito bem definidas, desenvolvidos por órgãos de competência internacional, como é o caso do International Atomic Energy Agency (Agência Internacional de Energia Atômica), United Nations Department of Economic and Social Affairs (Departamento das Nações Unidas de Assuntos Econômicos e Sociais), International Energy Agency (Agência Internacional de Energia), Eurostat (Eurostat) and European Environment Agency (Agência Ambiental Europeia).

Após validar os indicadores energéticos, vem a fase seguinte, mediante proposto nos objetivos da pesquisa, propor uma adaptação dos Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável (IEDS), sob âmbito internacional com os Indicadores de Desenvolvimentos Sustentável do Brasil (IDS Brasil) em sua última edição, ano base 2012, em conformidade com as particularidades do Nordeste Brasileiro.

As três dimensões apresentadas, social, econômica e ambiental, irão apresentar 30 indicadores, sendo identificado cada indicador sob os aspectos e particularidades do nordeste Brasileiro. Para uma melhor apreciação do modelo proposto, a apresentação será dividida em cada dimensão separadamente. Sendo apresentado apenas os indicadores que poderão ser utilizados na análise do mapa de complementaridade.

4.3.1 Indicadores Energéticos Sociais para Desenvolvimento Sustentável

SCO4: Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível

Este indicador mostra o número de fatalidades por energia produzida em sistemas de energia e atividades correlatas. O indicador é utilizado para avaliar o risco para a saúde humana derivadas de sistemas de energia, e em particular por várias cadeias de combustível por energia produzida.

No uso da energia solar e eólica, não existe este comprometimento, por se tratar de fonte de energia limpa, porém ocorrências são registradas na categoria de construção, montagem e manutenção, riscos correspondentes a qualquer projeto de construção.

Este indicador tem sua importância de aplicação para medir os acidentes produzidos por variados combustíveis, pois temos sistemas energéticos bastante críticas em termos de riscos, como a energia nuclear, porém, no casos de ambas as energias, o risco coletivo praticamente inexistente, temos riscos, não ao ser humano, mas riscos ambientais, como acidentes causados pelo aquecimento de painéis fotovoltaicos, que tornam-se riscos aos pássaros, um ponto forte, que deve ser levado em consideração na escolha deste sistema híbrido de energia é que são advindas de fontes renováveis e inesgotáveis.

Quadro 10: SCO4: Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível

Indicador	Fatalidades em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível
O indicador	Este indicador mostra o número de fatalidades por energia produzida em sistemas de energia e atividades correlatas. O indicador é utilizado para avaliar o risco para a saúde humana derivadas de sistemas de energia, e em particular por várias cadeias de combustível por energia produzida.
Descrição	Número de mortes anuais por energia produzida pela cadeia de combustível
Relevância para o desenvolvimento sustentável	Os sistemas de energia estão associados com uma vasta gama de insultos e impactos, incluindo os riscos de saúde ambiental. Explorar a sustentabilidade nas práticas de fornecimento de corrente de energia indica que a extração, transporte, utilização e gestão de resíduos de opções de energia envolvem perigos importantes à saúde, que em muitos casos resultam em mortes. A operação de um terminal de gás natural liquefeito, transportando petróleo, executando uma mina de carvão ou exploração de uma usina hidrelétrica também exigem que a avaliação consciente de resiliência de todo o sistema em resposta a falha humana ou técnica, a fim de minimizar o risco de acidentes e, conseqüentemente, de mortes. A energia nuclear representa um caso especial, neste contexto, em que o âmbito de um acidente poderia ser potencialmente grande, mas existem grandes esforços para avaliar de forma ativa e gerenciar o risco multidimensional na indústria nuclear. Além disso, o uso de combustível tradicional em muitos países está ligado a mortes resultantes de incêndios e inalação de fumaça.
Limitações deste indicador	Fatalidades sozinha não cobrem todos os tipos de conseqüências dos acidentes. Apesar da importância do acompanhamento de todas as conseqüências, a falta de informação correspondente não permite que esta questão seja totalmente resolvida. Reconhece-se que atrasos no estado atual do conhecimento sobre os efeitos na saúde de acidentes associados a diferentes sistemas de energia é limitado.
Definições Alternativas Indicadores	Número de vítimas mortais em acidentes.

Fonte: Elaboração com base nos dados da IAEA (2005)

Desta maneira, este indicador não será medido nem sofrerá influencia na escolha do ambiente propício para a implementação de parques de energia solar e

eólica, mas deverá ser sempre levado em consideração sob seus riscos, em termos de acidentes de trabalho.

Os Acidentes constatados na região nordeste sobre os Parques Eólicos concentram-se em acidentes em Aerogeradores, queda de aerogeradores vestas e incêndios de Aerogeradores, que são acidentes que estariam propensos a acontecer em qualquer tipo de máquinas e ou equipamentos, considerados acidentes com riscos normais na rotina de trabalho, diferentemente com o que acontece com usinas nucleares.

Porém, no meio desta normalidade e benignidade, Ferreira (2011) apresenta o lado obscuro de projetos de energia solar e eólica apontados principalmente construção e manutenção podem ser perigosas. Os acidentes envolvendo apenas turbinas a vento triplicaram na última década e grupos de fiscalização temem que os incidentes possam disparar ainda mais, colocando no caminho do perigo mais e muitas vezes, de trabalhadores sem experiência.

Ferreira (2011) ainda aponta que a indústria solar cresceu 67% e duplicou o número de trabalhadores nos Estados Unidos para 100.000, de acordo com a *Solar Energy Industries Assn.* A indústria eólica sustenta mais de 75.000 postos de trabalho. Desta maneira, alguns riscos são inevitáveis, como técnicos despencar ou ser esmagados por peças instáveis ou ficaram presos a máquinas em rotação, queimaduras e asfixiar-se no interior das turbinas ou inalar gases e vapores nocivos. Na última década, chegando em 2008 a 128 acidentes pelo mundo, de acordo com o *Caithness Windfarm Information Forum*. Ocorreram 78 mortes desde a década de 70, sendo aproximadamente metade dos casos nos Estados Unidos.

Este ano, a *American Wind Energy Assn.* lançou um programa para reunir dados de segurança para a indústria. Possui também recomendações online que incluem alertas sobre trabalho com ventos fortes, requisitos para proteção contra queda acima de 1,82m, e recomendações para inspeções frequentes em guindastes e planos de segurança contra raios (FERREIRA, 2011). O grupo comercial da indústria solar disse que está trabalhando em seu próprio conjunto de boas práticas. A organização apresentou recomendações de segurança para um padrão internacional de construção a ser delineado para projetos de energia renovável.

4.3.2 Indicadores Energéticos Econômicos para Desenvolvimento Sustentável

ECO3: Eficiência na conversão e distribuição de energia

Este indicador mede a eficiência na conversão de energia e sistemas de distribuição em várias cadeias de fornecimento de energia, incluindo as perdas que ocorrem durante a transmissão e distribuição de eletricidade.

Tabela 04: Capacidade instalada por região e unidade da federação no Brasil (MW): Região Nordeste

	2012	Part. % (2012)
<i>Brasil</i>	<i>120.973</i>	<i>100,0</i>
<i>Regiões</i>		
<i>Nordeste</i>	<i>19.788</i>	<i>16,4</i>
Maranhão	901	4,6
Piauí	251	1,3
Ceará	2.313	11,7
Rio Grande do Norte	889	4,5
Paraíba	665	3,4
Pernambuco	2.124	10,7
Alagoas	3.976	20,1
Sergipe	1.685	8,5
Bahia	6.985	35,3

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Elaboração: EPE (disponível em Anuário estatístico de energia elétrica 2013)

A Tabela 04 apresenta a Capacidade instalada por região e unidade da federação Brasil (MW) que para esta pesquisa tomou-se por base a Região Nordeste, analisando assim os nove Estados da região, com ano Base 2012, dentre eles, o Estado da Bahia, é o que apresenta maior capacidade instalada apresentando um percentual de participação em 2012 de 35,3%, seguido pelo Estado de Alagoas com 20,1% e em terceiro temos o Estado do Ceará com 11,7%, o Estado de Menor participação é o Estado do Piauí com apenas 1,3% de participação no ano de 2012.

Quadro 11: ECO3: Eficiência na conversão e distribuição de energia

Indicador	Eficiência na conversão e distribuição de energia
O indicador	Este indicador mede a eficiência na conversão de energia e sistemas de distribuição em várias cadeias de fornecimento de energia, incluindo as perdas que ocorrem durante a transmissão e distribuição de eletricidade, gás, transporte e distribuição.
Descrição	Eficiência na conversão e distribuição de energia, incluindo a eficiência de combustível fóssil para geração de energia elétrica, a eficiência de refinação de petróleo e perdas ocorrem durante a transmissão e distribuição de eletricidade e distribuição e transporte de gás.
Relevância para o desenvolvimento sustentável	Melhorar a eficiência de fornecimento de energia e redução de perdas durante os processos de conversão de energia e de transporte são importantes objetivos de desenvolvimento sustentável para os países em todo o mundo. Melhorias na eficiência dos sistemas de fornecimento de energia traduzir-se em utilização mais eficaz dos recursos energéticos e em redução de impactos ambientais negativos.
Limitações deste indicador	Os dados sobre a eficiência de conversão de energia e distribuição não estão prontamente disponíveis para alguns países.
Definições Alternativas Indicadores	Nenhum

Fonte: Elaboração com base nos dados da IAEA (2005)

Segundo análise dos Mapas de complementaridade solar e eólico, os maiores potenciais energéticos, concentram-se em toda costa litorânea da região nordeste. Apesar de no Estado de Pernambuco, ter se instalado a maior usina híbrida do país no interior do Estado de Pernambuco.

Analisando a Eficiência na conversão e distribuição de energia da usina híbrida de Tacaratu, formado por duas usinas fotovoltaicas com potência instalada de 11 megawatts, é considerada o maior parque fotovoltaico em operação no País, em conjunto há um parque eólico de 80 megawatts, que juntos, são capazes de gerar 340 gigawatt-hora por ano, volume suficiente para abastecer 250 mil residências. O investimento total foi de cerca de R\$ 660 milhões, que resultou no aumento em mais de 30% da capacidade instalada de geração de energia solar no País. O modelo híbrido se mostra viável em 60% do território pernambucano. Estão

mapeados 762 gigawatts com potencial competitivo no Estado, como aponta o Atlas Eólico e Solar de Pernambuco (G1, 2015).

Para representar o maior impasse do uso destas duas fontes energéticas, a revisão de literatura desta Tese, apresentou bibliografia, sobre os benefícios dos sistemas híbridos solar e eólicos apresentados por MOHAMMED, MUSTAFA e BASHIR (2014), assim como as Tecnologias de Armazenamento para Sistemas Integrados, apresentadas por RAMAKUMAR (1995) e CHAUHAN e SAINI (2014). **O Convencional Grid e a necessidade de Smart Grid, também foram apresentadas o qual** FANG et. al. (2012) e REDDY et. al. (2014), apresentaram a rede elétrica convencional como uma rede que atua como um link para a transmissão, distribuição e controle de energia elétrica a partir de produtores de energia para os consumidores.

Desta forma, este indicador não deverá ser medido ou utilizado no momento da escolha da região mais adequada, mas sim, apresentado de forma generalizada para sanar um dos maiores problemas do uso de energias solar e eólica, que seria a conversão, armazenamento e distribuição da mesma.

ECO2: Preservação do Turismo na Região

Este indicador será capaz de isolar áreas de forte potencial turístico, para que não sejam comprometidas com a implantação de parques de energia solar e eólica, como o caso acontecido em Galinhos no litoral do Rio Grande do Norte, cuja paisagem ficou comprometida pelas torres eólicas, se tornando maior crítica dos turistas que visitam a região.

Quadro 12: ECO2: Preservação do Turismo na Região

Indicador	Preservação do Turismo na Região
O indicador	Este indicador mede a preservação do turismo na região, analisando impactos provenientes da produção e utilização de energia.
Descrição	Como a utilização de parques de energia eólica e solar podem comprometer o desenvolvimento turístico de determinada região.
Relevância para o desenvolvimento sustentável	O efeito resultante é previsto para apresentar o comprometimento do desenvolvimento turístico de determinada região. Podendo gerar danos irreversíveis para o turismo de determinada região, comprometendo o crescimento econômico da região.
Limitações deste indicador	Este indicador mostra as áreas que teriam comprometimento no desenvolvimento turístico mediante implantação de parques de energia eólica e solar em seu entorno.
Definições Alternativas Indicadores	Quantidade total de potencial turístico comprometido pela implantação de parques de energia solar e eólica. Uma alternativa seria à detecção do nível de comprometimento com o potencial turístico, forçando a inviabilização da implantação de parques de energia solar e eólica. Essa análise forneceria uma indicação da tendência de aumento de comprometimento turístico causado por um sistema energético solar e eólico.

Fonte: Elaboração Própria, (2016).

A invasão de áreas fortes em potencial turístico, além de privar e comprometer esta atividade também contribuirá com o comprometimento do crescimento econômico da região. O turismo que se desenvolve em uma cidade está associado basicamente ao lazer, por sua vez, os parques de energia solar e eólico influenciariam uma categoria do turismo, chamada de turismo de negócios, que ainda seria irrelevante e inviável diante do impacto causado na categoria lazer.

4.3.3 Indicadores energéticos ambientais para desenvolvimento sustentável

ENV1: Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia

Como indicador ambiental o desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia solar e eólica seria o fator mais relevante a ser trabalhado, no

sentido de ser controlado, minimizado ou até mesmo disseminado, devido à suas consequências no entorno.

Este indicador precisa ser levado em consideração na escolha das regiões consideradas propícias para implantação dos parques de energia solar e eólicos, pois, dentre as medidas preventivas, o isolamento de regiões que poderiam sofrer a interferência dos desequilíbrios ambientais, seria uma medida de maior resultado.

Quadro 13: ENV1: Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia

Indicador	Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia
O indicador	Este indicador mede o Desequilíbrio ambiental proveniente da geração e utilização de energia, especificamente energia solar e eólica.
Descrição	A geração e utilização de energia, como a energia eólica e a solar podem causar desequilíbrio ambiental, nos locais onde são instalados os parques eólico e solar, podendo acarretar mudanças ambientais no ecossistema, comprometendo áreas de preservação de área florestal, devendo de certa maneira analisar a proximidades das áreas urbanas.
Relevância para o desenvolvimento sustentável	O efeito resultante é previsto para desequilíbrio ambiental, com algumas zonas sofrendo aumento deste desequilíbrio, proveniente da geração e utilização de energia eólica e solar. Quanto rápido e onde essas mudanças vão acontecer ainda é incerto, mas as consequências podem ser graves, especialmente nos países em desenvolvimento, que são os menos capazes de preparar e lidar com os efeitos dos desequilíbrios ambientais.
Limitações deste indicador	Este indicador não mostra a quantidade de áreas provenientes de desequilíbrio ambiental. Este indicador não apresenta quanto à área será afetada pelo aumento do desequilíbrio ambiental proveniente da implantação de parques de energia eólica e solar, mas apresentará indicações de comprometimento.
Definições Alternativas Indicadores	Quantidade total de áreas comprometidas pelos desequilíbrios ambientais causados pela implantação de parques de energia solar e eólica. Uma alternativa seria à detecção de ambiente propício, sem comprometimento ambiental. Essa análise forneceria uma indicação da tendência de aumento de desequilíbrio ambiental causado por um sistema energético solar e eólico.

Fonte: Elaboração própria, (2016)

Para acertar na escolha das áreas de condições propícias, deve ser levado em consideração, áreas distantes de regiões de reservas florestais e de preservação ambiental, distante de conglomeração populacional, com estes simples cuidados já se reduz consideravelmente a possibilidade de desequilíbrio ambiental.

4.4 considerações sobre a escolha e utilização dos indicadores

A escolha destes indicadores serão parâmetros que facilitaram a indicação de áreas e regiões que seriam mais indicadas para implantação de parques de energia solar e eólicos, devendo sempre ser considerado que o processo de implementação e manutenção não estará livre de fatalidades em acidentes por energia produzida.

Este sistema híbrido de energia solar e eólico, vem apresentando Eficiência na conversão e na distribuição de energia, tornando-se um sistema compatível com nossa realidade, capaz de solucionar problemas de várias ordens.

Na escolha destas regiões, deve ser resguardado as condições turísticas, preservando o que a natureza possa oferecer em seu benefício, e por fim, sob a ótica dos indicadores ambientais, a implantação de parques de energia solar e eólicos, não podem contribuir para o desequilíbrio ambiental, merecendo ser bem trabalhado evitando estas condições.

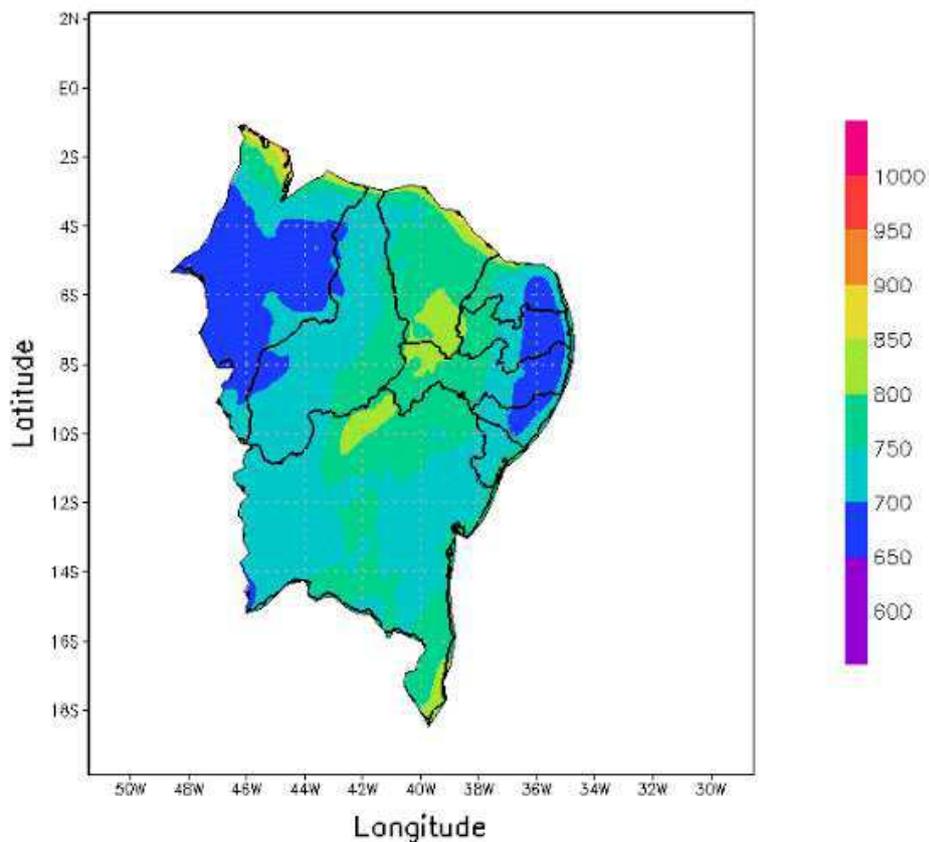
4.5 Análises dos Mapas de Radiação Solar e Velocidade do Vento para elaboração do Mapa de complementaridade

A análise desta seção será baseada nos resultados do Modelo BRAMS, nesta representatividade, o termo **r-short** representa a radiação solar que chega à superfície, **vento**, representa o valor do vento a 100 m, **des-rshort** e **des-vento** são os desvios normalizados pela média. Neste sentido, os referidos Mapas vão mostrar onde cada variável é maior ou menor em relação à média normal da região. Assim, 0.3 significa um valor 30% maior que a média e -0.5 significa um valor 50% menor que a média da região. A princípio, foi trabalhado estes Mapas trimestralmente, obedecendo as estações do ano, porém, percebeu-se que esta análise detalhada trimestralmente, não apresentaria relevância expressiva, de forma que mesmo sendo gerado potencial energético diariamente, os mesmos são usados o ano

inteiro, sendo assim optou-se por gerar os Mapas de maneira que apresenta-se esta evolução acumulativa o ano inteiro. Ainda para a geração destes Mapas, tomou-se por base uma representação média entre 2011 e 2012, sendo este o intervalo também utilizado no IDS Brasil.

Para um melhor entendimento desta dinâmica, será feito uma avaliação, separada da radiação solar e velocidade do vento, apontando o desvio padrão, na sequencia tem-se o desenvolvimento do Mapa de Complementaridade. Também tentou-se converter os potenciais energéticos solar e eólico, considerando o potencial perdido de radiação solar no processo de conversão de energia e considerando as perdas no espaço territorial referentes à distancia entre uma turbina e outra e a altura de cada turbina eólica.

Mapa 04: Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$)



Fonte: Elaboração Própria, (2016).

Percebe-se que a Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), através do Mapa 04, em uma variação de escala de 600 à 1000 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), concentra-se seu potencial solar na margem dos 700 à 900 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), apresentando uma maior intensidade no litoral do Estado do Maranhão e Piauí, comprometida pelo potencial turístico.

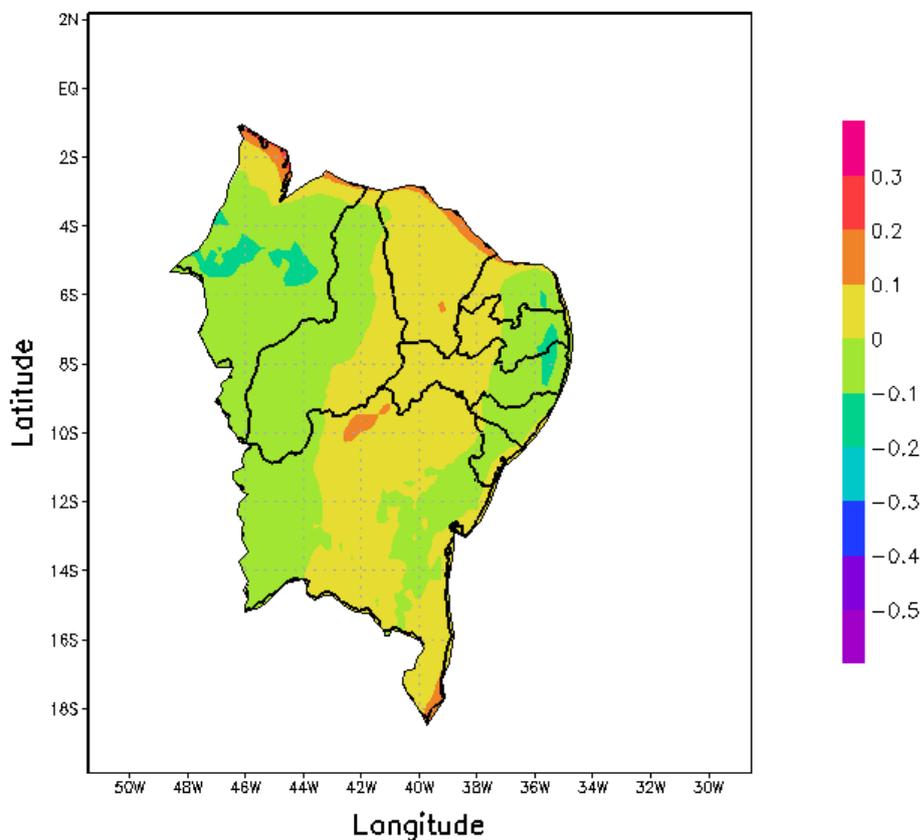
No litoral do Estado do Ceará, a área mais propícia seria a região de Fortaleza, inviável pelo potencial turístico e populacional, que vai se estendendo até o Estado do Rio Grande do Norte, porém, no sul do Estado do Ceará, teríamos uma região bastante favorável, nas cidades do Crato, Iguatu, Icó e Juazeiro do Norte, caracterizado por um clima quente com média maior que 18°C em todos os meses do ano, considerado como semiárido, com 6 a 8 meses secos, como mostra a Figura representada pelo clima do Nordeste, considerada como região do Planalto Sertanejo.

Ainda nesta mesma região descendo para Pernambuco, também considerada de médio potencial agrícola, porém afastada do potencial turístico do litoral.

Assim como o Litoral Sul da Bahia, na região de Ilhéus, Porto Seguro e Teixeira de Freitas, que seriam absolutamente inviáveis devido ao alto potencial turístico desta região, também considerada uma região de médio potencial agrícola, conforme mapa respectivo, conhecida no relevo como tabuleiros costeiros. Porém na região norte da Bahia nas proximidades do Rio São Francisco, as situações são as melhores, porém, uma região toda banhada pelo Rio, sendo uma área de médio potencial agrícola e com turismo concentrado, devido a Represa de Sobradinho, região conhecida como Sertão, Semiárido e marcado pelo clima tropical semiárido, com uma variação de 9 a 11 meses secos.

Porém, abaixo deste índice de radiação solar considerado perfeito para esta região, que vai de 850 a 900 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), pode ser destacado também uma variação de 800 a 850 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), situada em áreas menos comprometedoras, marcado por um clima semiárido, predominando na região do sertão. Marcado pelo clima tropical, tropical litorâneo e tropical semiárido. Encontrado principalmente logo após a costa litorânea do Maranhão e Piauí; já na região do Estado do Ceará ela predomina quase toda região central do Estado, tornando-o perfeito com relação ao potencial solar do nordeste, se espalhando no leste do Estado do Piauí, e oeste dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, assim como no norte da Bahia. Marcando um pouco de sua região central até o sul do Estado.

Mapa 05: Desvio da Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$)



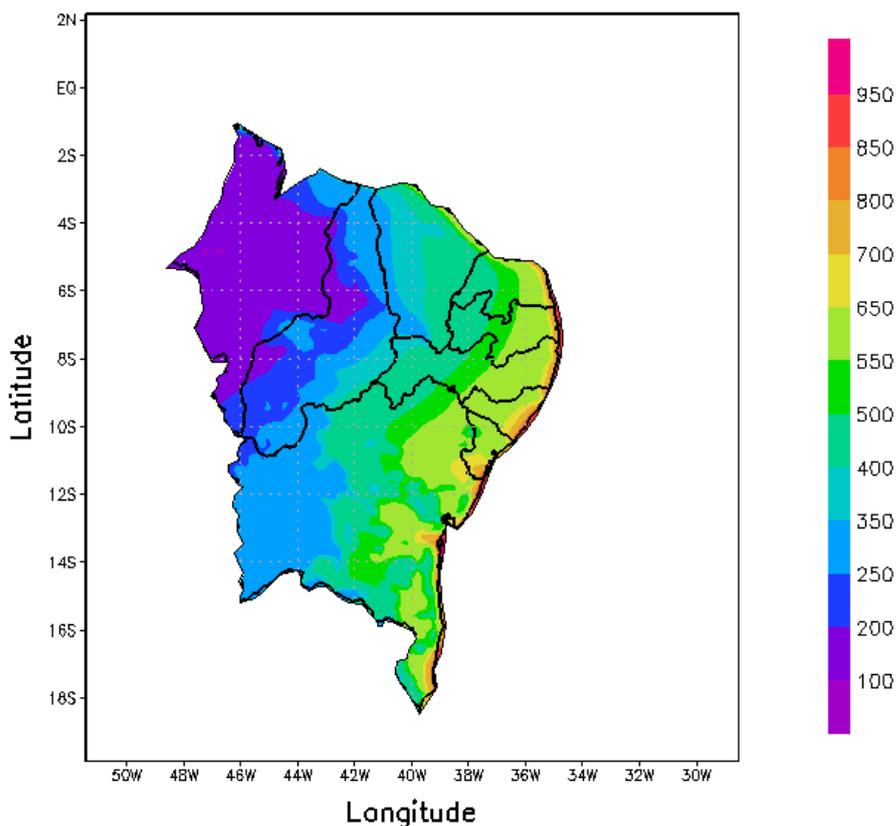
Fonte: Elaboração Própria, (2016).

Para se ter noção do desvio de Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) na região Nordeste do Brasil, pode ser analisado o Mapa 05 que apresenta uma variação de -0.3 à 0.2, o que representa que a região norte do Estado da Bahia nas proximidades do Rio São Francisco apresentam a maior variação mesmo apresentando a maior temperatura, assim como na costa litorânea do Maranhão e Ceará, também apontada no mapa da Radiação Solar Incidente no sul da Bahia no Ceará na região de Iguatu e Icó.

Considerando uma variação até 1% temos toda a faixa vertical central da Região nordestina, além da faixa litorânea do Estado de Sergipe e Bahia, e no norte do Nordeste, uma considerável faixa que cobre todo o litoral do Estado do Maranhão, Piauí e todo o Estado do Ceará. E nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, a metade oeste de cada Estado vem sendo favorecidos com esta variação para 1%.

Nas demais áreas esta variação chega em sua maioria à 1% para menos, demonstrando um padrão normal de variação, ou seja, um clima bastante equilibrado, tendo uma pequena mancha de variação de 2% para menos no Estado do Maranhão e 3% para menos no Estado do Rio Grande do Norte nas cidades de Passa e Fica Santo Antônio e Santa cruz. No Estado da Paraíba uma faixa que preenche a Longitude de 35w a 36W e a Latitude de 75 a 85.

Mapa 06: Velocidade do Vento (m/s)



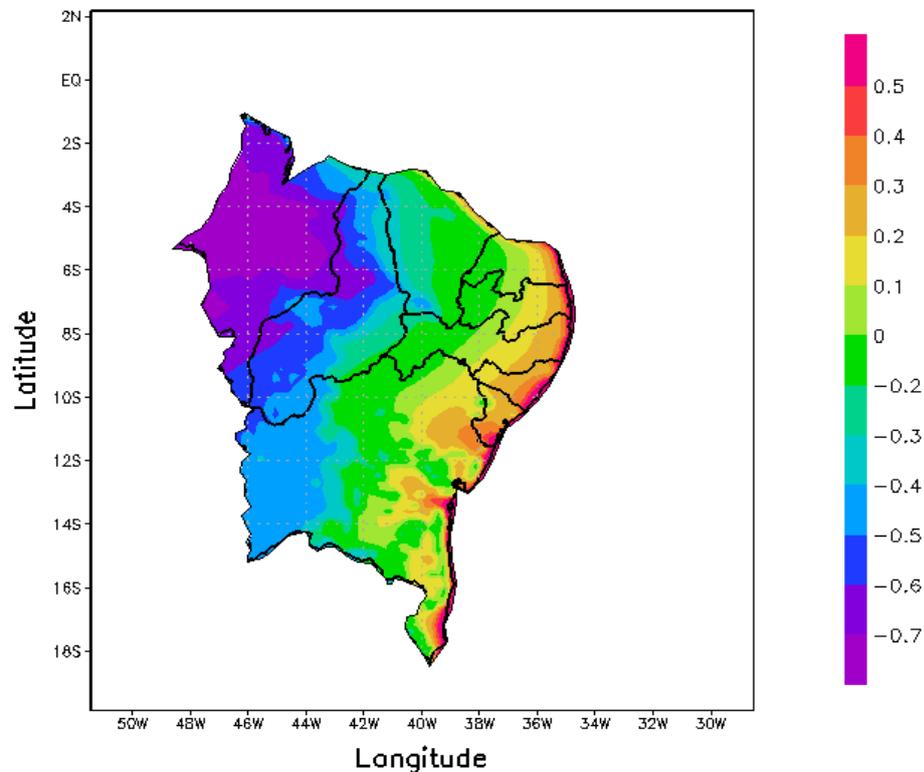
Fonte: Elaboração Própria, (2016).

O Mapa 06 nos revela a velocidade do vento (m/s), que apresenta uma regressão de leste a oeste variando a pouco mais de 950 m/s à menos de 100 m/s. Neste sentido, a parte do litoral que vai do Rio Grande do Norte até a Bahia, apresentam uma maior velocidade do vento, e vai diminuindo a medida que se afasta do litoral, essa faixa seria bastante propícia, porém seria ambientalmente

evasivo, comprometeria áreas de preservação ambiental e o turismo da região, causando assim uma série de consequências, como desequilíbrio ambiental, social e econômico.

Porém, afastando-se do litoral, observa-se condições equivalentes, mais distante da região litorânea, na faixa correspondente a cor verde claro, apresentando uma variação de 550 à 650 m/s, que se estende do Rio Grande do Norte à Bahia. Neste contexto, o Estado menos prevaletido de condições favoráveis de velocidade de vento seria o Estado do Maranhão, onde a velocidade do vento pode cair até 200 ou 100 m/s. Os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, são melhor contemplados com a velocidade do vento, cabendo escolher localidades que favoreçam em relação a relevo, locais mais desprovidos de população e vegetação. Pois todos estes Estados apresentam-se circunstancialmente em condições relevantes de velocidade do vento.

Mapa 07: Desvio da Velocidade do Vento (m/s)



Fonte: Elaboração Própria, (2016).

O Mapa de desvio da velocidade do vento segue um fluxo de variação similar ao mapa da variação da velocidade do vento, ou seja, decresce no sentido leste oeste, sob a forma de faixas decrescentes, apresentando um desvio de -8% à 6%, seu maior percentual para mais localiza-se no litoral leste, o que significa que a velocidade que já era maior no litoral, tende a ter uma variação de 6% a mais na faixa do desvio padrão, como ela decresce, centraliza seu maior percentual de desvio de variação no Estado do Maranhão, chegando a - 8%, isso significa que além de ter os menores níveis de velocidade do vento, eles ainda podem ter uma redução de 8% em sua velocidade.

Na escolha do local ideal de velocidade do vento, algumas circunstâncias devem ser observadas, como por exemplo, localidades próximas à costa apresentam tendência de velocidades do vento maiores do que as regiões mais centrais. Porém regiões litorâneas são comprometidas pelo potencial turístico e ambiental da região, devendo ser observado às áreas escolhidas, principalmente quando se faz referencia a interferências ambientais, nesta mesma linha de pensamento também deve ser observado questões relacionadas a terreno, dando atenção a obstáculos como regiões montanhosas, moitas, cerras, vegetação, árvores e construções, itens capazes de limitar a velocidade do vento, além do mais, outros problemas podem também fazer interferência como ventos turbulentos gerados em regiões montanhosas.

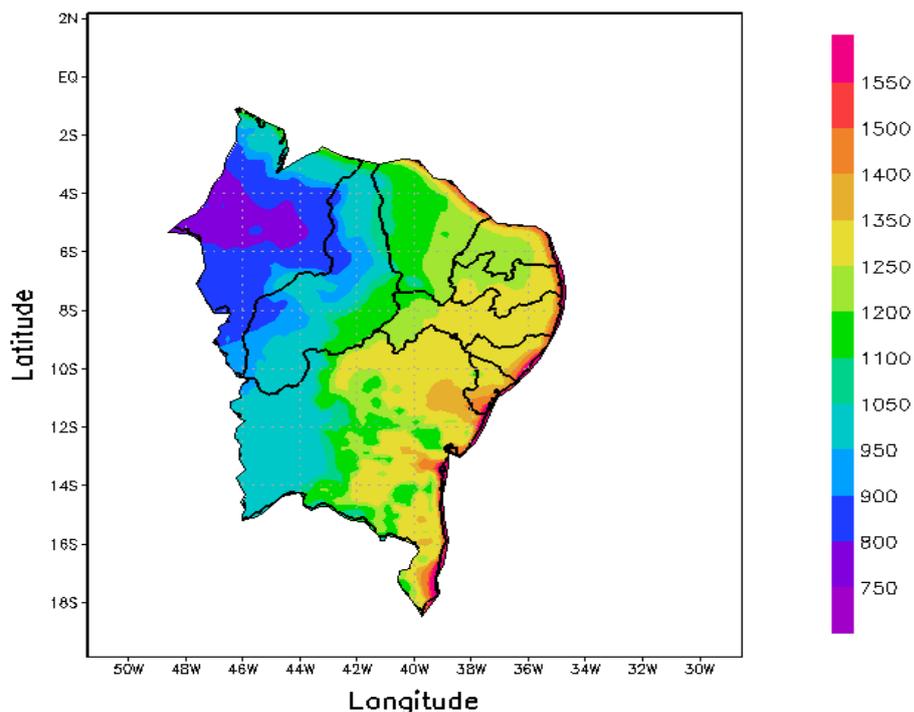
Desta maneira, os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, encontram-se todos em condições extremamente perfeitas em relação a velocidade do vento em m/s, devendo ser observado regiões com as especificações acima citadas. Os Estados do Ceará e da Bahia, apresentam mais de 50% de seu território com uma considerável velocidade do vento e variação positiva desta velocidade, que tendê a cair na metade do Estado para o sentido oeste, se afastando do litoral. De maneira geral, a metades oeste da região nordeste além de apresenta uma baixa na velocidade do vento, ainda apresenta uma variação para menos, significando que esta velocidade pode diminuir 8% principalmente no Estado do Maranhão.

4.6 Elaboração e análises do Mapa de complementaridade

Após análise dos Mapas de radiação solar incidente e velocidade do vento, e desvio da radiação solar e desvio da velocidade do vento, possibilitou-se o desenvolvimento da sobreposição destes mapas, gerando assim o mapa de complementaridade solar e eólica. Para a geração deste mapa foi preciso equiparar as unidades matemáticas representativas, de forma que a unidade da radiação solar encontra-se em ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) e a velocidade do vento em (m/s), tendo sido convertido tudo para a unidade de h.

Considerando que sob a capacidade de radiação solar incidente é perdida em torno de 10% no processo de conversão, e que deve ser considerado uma distância mínima de uma turbina para outra. Levando em consideração a estes itens, tentou-se ainda fazer uma conversão mais apropriada, levando em consideração ambas as situações, porém, este cálculo não apresentou variação considerável, retomando os valores iniciais desconsiderando o percentual de perdas de conversão e de espaço físico.

Mapa 08: Complementaridade da Radiação Solar Incidente e da Velocidade do Vento ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$)



Fonte: Elaboração Própria, (2016).

O objetivo principal deste trabalho é apresentar o mapa de complementaridade energética solar e eólico do nordeste, identificando áreas propícias para implementação de parques híbridos, desta maneira, foi gerado através do BRAMS o Mapa 08 que apresenta a Complementaridade da Radiação Solar Incidente ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) e da Velocidade do Vento, ou seja, o Mapa apontará áreas propícias em comum de radiação solar e velocidade do vento, desta maneira, será apontada estas áreas mais convenientes, não apenas sob as condições de climatológicas mas as condições em um contexto mais amplo.

Sendo assim o Mapa nos revela estas condições climatológicas ideais, através de uma análise que vai variar de 750 até um valor acima de 1550 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$). As condições acima de 1550 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), apresentam-se em pequenas extensões, apenas em pequenos pontos do litoral Alagoano que se estende da costa de Maceió até Piaçabuçú, turisticamente conhecida como a capital Alagoana das Palmeiras, sua economia esta voltada para o plantio de coco, arroz e a cana-de-açúcar, além da atividades pesqueira, tendo o maior banco de camarão da região Nordeste. Grande parte da sua economia esta dedicada ao turismo, por ser banhada pelo Rio São Francisco cenário de encontro de suas águas com o mar, ainda marcado por dunas de areias e lagoas de águas mornas.

No Estado Sergipano, esta área corresponde aos municípios de Estância e Indiaroba, que se estende até o município de Alagoinhas no Estado da Bahia, ainda neste último, temos a região pertencente ao município de Valença no litoral central no estado e Caravela no litoral Sul, mas em se tratando de litoral, vimos algumas limitações genéricas citadas anteriormente, e fazendo referencia ao município de Valença, trata-se de um ponto turístico bastante considerável do litoral Baiano por ser acesso principal a Ilha de Tinharé, e com referencia a economia da região, merece destaque a produção de camarão, conhecida como a capital do camarão, por ser o principal produtor do Estado e a cultura e beneficiamento de cravo da Índia, pimenta do reino e de azeite de dendê.

Ao visualizar a segunda faixa, que varia de 1500 à 1550 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), torna-se irrelevante sua análise pois a mesma segue as mesmas regiões citadas acima dos 1550 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) sob uma linha muito estreita ainda em torno do litoral.

Como todas estas áreas citadas até agora fazem referencia a pontos litorâneos e turísticos, inviabiliza-se esta estimativa de utilizar-se da mais perfeita situação apresentada pelo mapa de complementaridade energética solar e eólico,

desta maneira, será analisada a faixa que varia de 1400 à 1500 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) que se aproxima muito da faixa que varia de 1350 à 1400 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) que vai desde a Região Metropolitana de Fortaleza até o sul da Bahia, que mesmo sendo uma faixa fina, se expande nos Estados de Sergipe e Bahia. No Estado do Sergipe, esta faixa preenche quase toda a região correspondente ao centro sul Sergipano, metade do agreste central Sergipano, percorrendo ainda o Leste Sergipano e a Baixa do São Francisco. No Estado da Bahia, se estende ao Litoral norte agreste de Alagoinhas e vai até a região do Sisal, pegando parte da região do Portal do Sertão e da Bacia do Jacuípe.

Esta seria a faixa com as melhores condições de velocidade do vento atrelada a radiação solar incidente, considerando uma análise de extensão territorial bastante considerável que se afasta da costa litorânea. Apresentando uma variação de 1250 à 1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), se estende do Ceará à Bahia.

Esta faixa marca todo litoral cearense, uma extensão que se adentra do litoral para o interior no Estado do Rio Grande do Norte, a partir do Estado da Paraíba esta faixa se intensifica de maneira mais intensa, abrangendo toda a região litorânea e toda a parte sul do Estado, totalizando em média uns 60% do território Paraibano. No Estado de Pernambuco, este percentual torna-se muito mais animador, pois abrange de leste a oeste 70% do território pernambucano, diminuindo esta incidência apenas na ponta oeste do Estado, onde se afasta mais do litoral. Este contexto no cenário pernambucano propiciou a criação do primeiro parque híbrido de energia solar e eólico do país.

Em 25 de setembro de 2015 foi inaugurado o primeiro parque híbrido de energia renovável do país em Tacaratu, na Região do São Francisco de Pernambuco. Segundo publicação do Portal G1 (2015) Para o Governo do Estado, o empreendimento é pioneiro no Brasil. Pois no local já foram iniciadas as atividades e o mesmo une a geração de energia solar com a eólica, como pode ser percebido na Foto 01:

Foto 01: Parque Híbrido de Energia Renovável em Tacaratu - PE



Foto: Reprodução/ TV Asa Branca (Portal G1)

De acordo com a assessoria de imprensa do governo do Estado o empreendimento é formado por duas usinas fotovoltaicas com potência instalada de 11 megawatts, sendo considerado, desde sua inauguração, o maior parque fotovoltaico em operação no país. Além das usinas, há um parque eólico de 80 megawatts. Juntos, são capazes de gerar 340 gigawatt-hora por ano, volume suficiente para abastecer 250 mil residências. O investimento total no Complexo Fontes foi de em média R\$ 660 milhões. Que rendeu a Pernambuco e Tacaratu um aumentam em mais de 30% a capacidade instalada de geração de energia solar no país",

O modelo híbrido se mostra viável em 60% do território pernambucano. Estão mapeados 762 gigawatts com potencial competitivo no estado, como aponta o Atlas Eólico e Solar de Pernambuco. Esta Usina Híbrida constata os resultados positivos em capacidade produtiva da implementação de Usinas Híbridas.

Nos Estados de Alagoas e Sergipe, a faixa dos 1250 à 1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) se estende até o final do Estado no sentido oeste, adentrando toda região interiorana, resultado muito favorável mesmo considerando dois Estados muito pequenos em

termos de extensão territorial. O contrario do Estado baiano, considerando ser o Maior Estado nordestino, e ainda é marcado por 50% de seu território, ultrapassando 2/3 do seu território no sentido longitudinal, resultando em uma área extremamente extensa a ser analisada sobre as demais vertentes, seja elas geográficas, sociais, ambientais ou econômicas.

A faixa que abrange a variação de 1200 à 1250 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) se destoa um pouco das condições ideais de velocidade do vento e radiação solar incidente, mas fazendo referencia ao Estado do Ceará em particular, esta faixa representa as melhores condições climatológicas para o Estado, mesmo sendo inferior aos demais Estados, está área situa-se na metade leste do Estado, apesar de ser inferior as condições ideais da região nordeste do País, esta seria as condições ideais para o referido Estado.

Fazendo referencia aos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, esta faixa não apresentaria condições favoráveis devido as perfeitas condições da faixa anterior (1250 à 1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$)), se localizando na ponta inferior oeste do Estado do Rio Grande do Norte e na ponta superior oeste do Estado da Paraíba.

No Estado de Pernambuco esta faixa abrange apenas 30% da ponta oeste do Estado, ainda dividida com a variação de 1100 à 1200 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), mas já em uma região de extremo interior do Estado. No Estado da Bahia, estas duas variações de 1200 à 1250 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) e 1100 à 1200 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), se misturam em uma faixa longitudinal, com a presença de pontos do lodo leste.

Adentrando-se na faixa longitudinal paralela a variação de 1100 à 1200 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), que percorre todo a região Nordeste, segue também a variação de 1050 à 1100 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), em uma faixa estreitamente fina, que será o divisor para as variações abaixo de 1050 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) praticamente inviáveis para implementação de sistemas híbridos de energia solar e eólica, que se estende no Estado do Maranhão, com variações que podem chegar a mínima de 750($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), não se caracterizando um Estado que apresente condições considerações, assim como o Estado do Piauí, que mesmo apresentado variações maiores que as apresentadas no Estado do Maranhão, ainda não merece destaque, e por fim, o Oeste da Bahia, também não apresentam condições tão favoráveis.

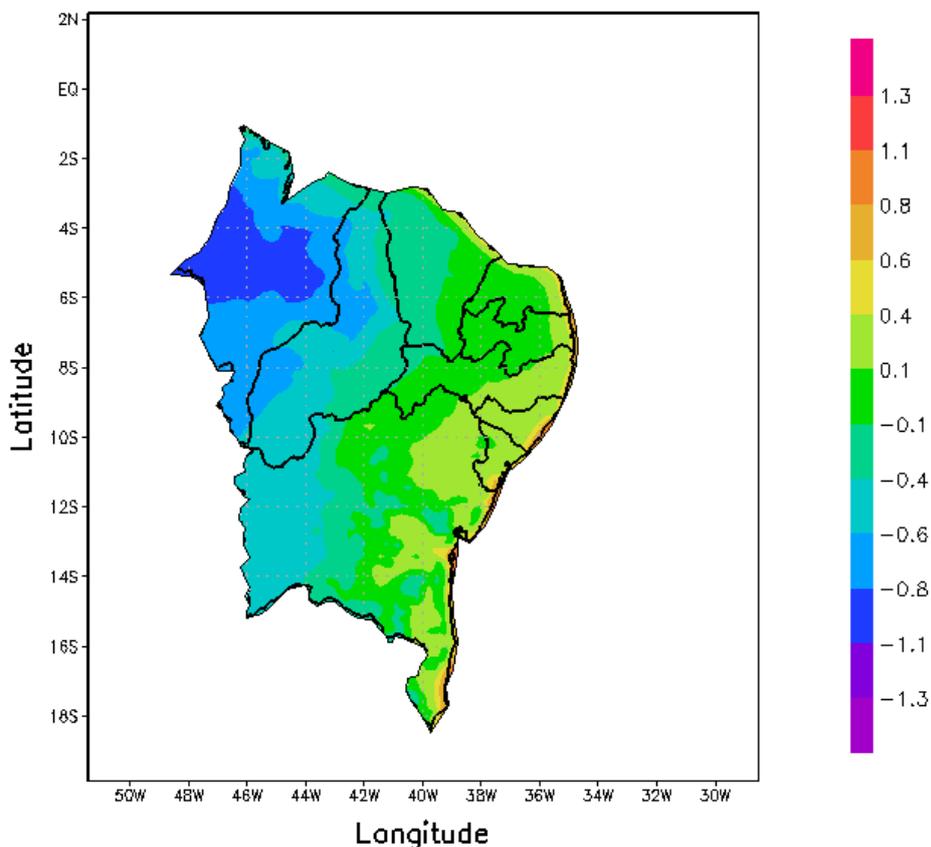
Como este mapa de complementaridade energética solar e eólico, apresenta os melhores intervalos de variações no ambiente da região nordeste do país, ele apresentará um intervalo de regiões, que merecem ser profundamente analisadas

pela vertente territorial, principalmente a questões envolvendo relevo, hidrografia, vegetação, assim como questões ambientais, sociais e econômicas de cada região previamente escolhidas, por este motivo se sugere a apreciação dos indicadores de sustentabilidade para as regiões pré-selecionadas.

Sob uma visão geral apresentada através do mapa de complementaridade solar e eólica, pode ser percebido que os Estados nordestinos que melhor apresentam condições favoráveis seriam os Estados do Rio grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, por sua vez, as Estados do Maranhão, Piauí e Ceará, não apresentaram padrões tão perfeitos de variação. E a faixa longitudinal que se encaixa na variação de 36w a 44w, encontra-se os melhores resultados, devendo ser descartados, os intervalos correspondentes a faixa litorânea, que como discutido anteriormente, é uma região turística, que deve ser resguardada pela costa litorânea nordestina. Desta forma as condições ideais de intervalo de variação solar e eólica encontram-se na variação de 1250 à 1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$).

Como estamos se referindo a variações climatológicas, cabe principalmente analisar o desvio desta variação, em relação a média padrão, para que possa ser identificado, as localizações que estas variações podem sofrer para mais e para menos, conforme desvio padrão apresentado no Mapa 09 a seguir.

Mapa 09: Desvio da Complementaridade da Radiação Solar Incidente e da Velocidade do Vento ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$)

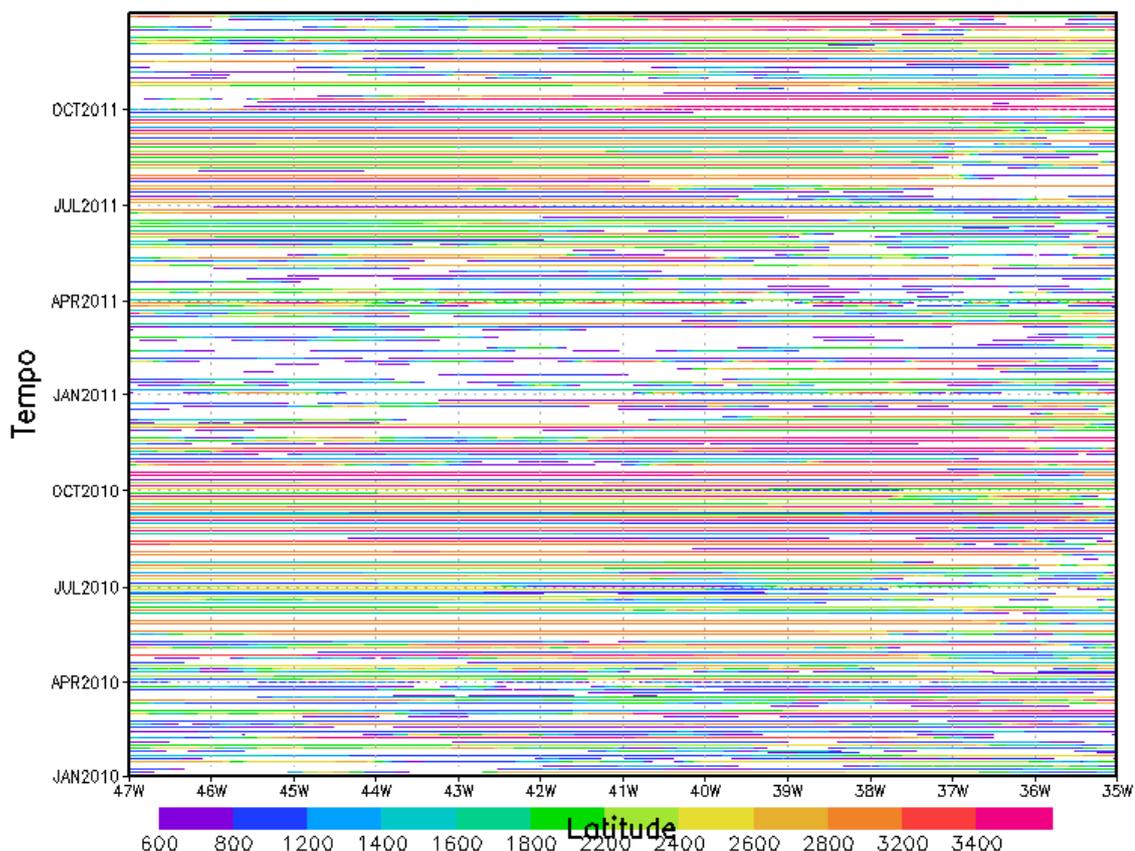


Fonte: Elaboração Própria, (2016).

O Desvio da Complementaridade da Radiação Solar Incidente e da Velocidade do Vento ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) esta representado pelo Mapa 09, que vai indicar o percentual do desvio padrão, para mais ou para menos, conforme a variação normal, esta variação de desvio se dá em um percentual de -1.1 à 0.6, isto significa que, pode ocorrer um aumento na região litorânea até 0,6 positivo com relação à incidência de radiação solar e velocidade do vento, devendo ser considerado, que estas condições, já apresentam-se perfeitas, e quanto mais se aproximamos do lado oeste do nordeste, adentrando-se muito mais para o interior, percebe-se que este desvio diminui, chegando a 1.1 para menos, que representa que esta variação tenderá a cair até 1.1, baixando o percentual de uma situação que já não apresentava-se perfeita.

O Desvio da Complementaridade da Radiação Solar Incidente e da Velocidade do Vento ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$) que as regiões que apresentam as melhores condições referentes a dualidade energética solar e eólico, também apresentam as melhores condições de desvio padrão, podendo se tornarem ainda melhores, sobe o aspecto de radiação solar incidente e velocidade do vento.

Diagrama 01: Hovmoller para radiação solar



Fonte: Elaboração Própria, (2016)

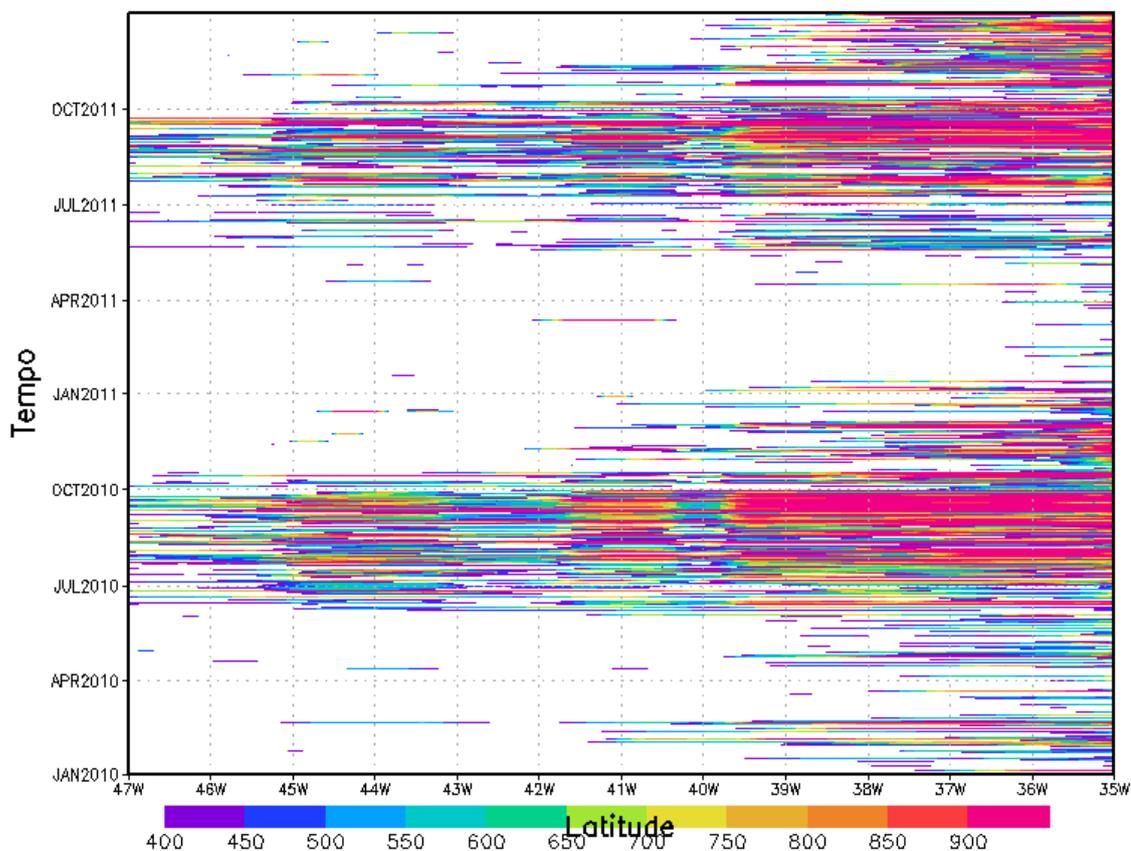
O Diagrama 01 apresenta o Hovmoller para radiação solar, este diagrama irá traçar a evolução temporal do perfil vertical de quantidades escalares, neste caso, a radiação solar incidente, o tempo será traçado ao longo da abcissa e posição vertical ao longo do eixo das coordenadas, sendo apresentado trimestralmente, em um intervalo de 2 (dois) anos, referente aos anos de 2010 e 2011, esta trimestralidade

expressará às 4 (quatro) estações do ano, verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Na posição horizontal, a latitude será representada de 35W a 47W, sentido leste oeste. A variação da radiação solar incidente apresenta uma variação de 600 a 3400 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), enquanto o Mapa 04: Radiação Solar Incidente apresenta uma variação de 600 a 1000 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), apresentando-se mais suavizada por esta representado por uma média diária, o que suaviza os resultados.

Através desta análise, pode ser percebido uma maior incidência no terceiro trimestre tanto referente ao ano de 2010 quanto ao ano de 2011, que teoricamente seria representado pelo inverno, devendo ser considerado as devidas variações climáticas ocorridas nos últimos anos, marcadas por períodos de estiagem.

Diagrama 02: Hovmoller para o vento



Fonte: Elaboração Própria, (2016)

O Diagrama 02 apresenta o Hovmoller para o vento, este diagrama irá traçar a evolução temporal do perfil vertical de quantidades escalares, neste caso, a velocidade do vento, o tempo será traçado ao longo da abcissa e posição vertical ao longo do eixo das coordenadas, sendo apresentado trimestralmente, em um intervalo de 2 (dois) anos, referente aos anos de 2010 e 2011, seguindo os mesmos critérios temporais estabelecidos no Diagrama 01 Havmoller para radiação solar.

Na posição horizontal, a latitude será representada de 35W à 47W, sentido leste oeste. A variação da velocidade do vento apresenta uma variação de 600 a 3400 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$), enquanto o Mapa 06 nos revela a velocidade do vento (m/s), que apresenta uma regressão de leste a oeste variando a pouco mais de 950 m/s à menos de 100 m/s., apresentando a mesma justificativa da disparidade apresentada entre o mapa e diagrama da radiação solar incidente, o qual justificou uma posição mais suavizada por esta representado por uma média diária, o que suaviza os resultados, critério este também apresentado pelo velocidade do vento.

O Diagrama Hovmoller para o vento possibilita identificar a variação de velocidade do vento no decorrer do ano, ou nas estações do ano, que é percebido, uma explícita incidência no terceiro trimestre do ano, o que também aconteceu referente a radiação solar incidente, estando o trimestre representado pela estação de inverno. Concentrando-se nitidamente com a latitude entre 40W e 35W, mais para o leste, sentido mais próximo do litoral, diminuindo consideravelmente no sentido oposto, oeste, chegando aos 47W de latitude, principalmente nos primeiros, segundos e quartos trimestres do ano.

Os Diagramas de Hovmoller para radiação solar e para o vento foram apresentados para expor um dimensionamento de variação no decorrer do ano, porém, para os empreendimentos sugeridos, implementação de usinas híbridas solar e eólica, não seria cabível utilizar apenas nos períodos mais intensos de variação, desprezando os demais intervalos, até mesmo porque mesmo as mais baixas concentrações apresentadas no panorama nordestino, torna-se viável, e também não seria viável, utilizar uma capacidade parcial de um tipo de empreendimento deste, mas se torna essencial, entender esta variação por estações do ano, até mesmo para entender sobre o processo de variação climática, que vem apresentando situações atípicas.

CAPÍTULO V - CONCLUSÃO

O Presente trabalho analisou a viabilidade da geração híbrida solar e eólica de maneira a contribuir para o desenvolvimento sustentável do nordeste brasileiro, de maneira a apresentar os potenciais energéticos solar e eólicos para os períodos de 2010 e 2011, construindo um mapa de complementaridade energética, cruzando os resultados dos potenciais de radiação solar e velocidade do vento, identificando as áreas mais propícias para a aplicação de um sistema híbrido, e para apresentar a viabilidade deste sistema sob um cenário de crise energética, apresentou-se na revisão de literatura, os desafios apresentados nos sistemas de Energia para os países desenvolvidos, que foi apontado por PALETA, PINA E SILVA (2012) esta necessidade, devido a oferta insuficiente de energia em países subdesenvolvidos, totalizados por 1,3 bilhões de pessoas em todo o mundo, por sua maioria viver em áreas rurais.

Ainda sustentando a ideia da viabilidade dos sistemas híbridos de energia solar e eólico, MOHAMMED, MUSTAFA E BASHIR (2014), apresentam seus benefícios através da utilização de um sistema de carregador de bateria para ambos os sistemas, demonstrados por meio de um banco de baterias e um inversor capaz de padronizar os watts de potencia de ambas as fontes energéticas. Através de RAMAKUMAR (1995) apud CHAUHAN e SAINI (2014) foi conseguido apresentar as tecnologias de armazenamento para os sistemas integrados, apresentando o sistema de armazenamento de energia como o componente mais importante de um sistema integrado a fim de compensar a variação imprevisível da energia. FANG et. al. (2012) apud REDDY et. al. (2014), discorrem sobre o convencional grid e a necessidade do smart grid.

Com a construção do mapa de complementaridade de energia solar e eólica, pode ser percebido que dentre os Estados nordestinos, os que melhor apresentam condições favoráveis, são os Estados do Rio grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, os demais, não apresentaram padrões tão perfeitos de variação. E a faixa longitudinal de variação entre 36w a 44w, encontram-se os melhores resultados, devendo ser descartados, os intervalos correspondentes a faixa litorânea, que tratasse de uma região turística, que deve ser resguardada

pela costa litorânea nordestina. Desta forma as condições ideais de intervalo de variação solar e eólica encontram-se na variação de 1250 à 1350 ($\text{kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$).

Para apontar as áreas mais propícias, não bastariam apenas encontrar no mapa de complementaridade de energia solar e eólica os melhores potenciais, mas também as áreas em condições de implementação, observando desde a hidrografia ao relevo, assim como questões envolvendo risco de comprometimento ambiental e turístico, onde se fez necessário utilizar-se de alguns indicadores de desenvolvimento energético apresentados pelo IAEA, assim como também sugerir outros que não se faziam presentes no IAEA, por se tratar nesta pesquisa de energias renováveis e limpas.

5.1 Recomendações

Recomenda-se que órgãos públicos e particulares, se utilizem dos resultados desta pesquisa, para poderem desenvolver estratégias e planos de ação que contribuam para a matriz energética brasileira no que tange o plano de desenvolvimento energético nacional.

5.2 Limitações

Esta Tese apresentou algumas limitações, dentre elas, a mais relevante foi a generalização dos Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável, já que o mesmo apresentava-se genérico para aplicação à qualquer fonte energética, mas como os objetivos desta tese se referiam apenas a fonte de energia solar e eólica, ambas consideradas renováveis e limpas, características essa que tornaram vários indicadores irrelevantes para esta análise.

Uma segunda limitação seria a aplicação destes indicadores, pois, para esta pesquisa considera-se apenas a situação de conforto territorial, com condições favoráveis propícias para a implementação dos parques de energia solar e eólico, devendo ser considerado se o indicador interfere ou não, não se tornando relevante sua medição.

A terceira limitação estaria na condição de identificar novos indicadores para a identificação do contexto para a escolha da área perfeita para a implementação

dos parques de energia solar e eólicos, para este trabalho foram gerados dois novos indicadores, referentes ao comprometimento turístico da região e referente ao comprometimento ambiental.

Mesmo com as referidas limitações, dois indicadores propostos pelo IAEA, foram utilizados, e também foram gerados dois indicadores, para que fossem utilizados nos resultados da pesquisa, mesmo não tendo sido referenciados nos objetivos desta tese, mas que sua utilização tornaria contributiva para os resultados finais.

5.3 Sugestão para futura pesquisa

Mesmo apresentando-se limitações para o desenvolvimento desta Tese, referente a disponibilidade de literatura com **Indicadores Energéticos para Desenvolvimento Sustentável, tratando-se especificamente de fontes de energia solar e eólica**, estas limitações não foram capazes de comprometer o resultado da pesquisa, por isso se sugere para uma futura pesquisa o desenvolvimento e aplicação de indicadores específicos para fontes energéticas solar e eólicas, de maneira que trata-se de fontes energéticas limpas e renováveis, além de estar sendo tratado uma condição de sistema híbrido solar e eólico.

Uma segunda sugestão que poderiam ser levadas em consideração para futuras pesquisas, seriam identificadas no aperfeiçoamento das tecnologias de conversão, armazenamento e distribuição de energia solar e eólica. Além da ampliação deste estudo referente aos mapas de complementaridade de energia solar e eólicos para o restante das regiões do país, possibilitando identificar áreas propícias para implementação destes parques em todo o território nacional.

Se tornaria também relevante este mesmo estudo considerando espaços territoriais menores, resultando em maior precisão territorial, podendo ser capaz de identificar as coordenadas específicas dos terrenos e não apenas de regiões. Outro apontamento importante, que não foi mencionado neste trabalho, seria as condições de custos de desenvolvimento de um projeto de implementação dos parques de energia solar e eólico, analisando todos os custos e benefícios envolvidos no processo, principalmente referenciando seus resultados potenciais em relação a capacidade de geração energética e o que este resultado representaria em relação

ao contexto nacional, tendo também seus objetivos voltados para a eficiência energética.

Uma ultima sugestão de pesquisa estaria na contribuição destes parques de energia solar e eólico no sistema elétrico brasileiro, principalmente nos leilões de energia, tratando apenas em questões econômicas, sobre outra ótica poderia também ser levado em consideração apenas as vertentes turísticas e as vertentes ambientais, ou seja, estudos específicos do comprometimento turístico ou do comprometimento ambiental no desenvolvimento de parques de energia solar e eólicos, assim como também poderiam se dedicar a estudos envolvendo a contribuição econômica e social no estudo e implementação destes parques. E por fim, um estudo de alterações climáticas e ambientais ocorridas no cenário nacional, devem ser levadas sempre em consideração, para que se tenha uma medição deste potencial energético.

Estas sugestões poderiam ser trabalhadas paralelamente em projetos financiados por empresas estatais ou privadas, mediante interesse publico ou privado, resultando em diagnósticos completos, capazes de contribuir coma matriz energética nacional, fortalecendo-a sob todos os ângulos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Atlas brasileiro de emissões de GEE e potencial energético na destinação de resíduos sólidos** (abrelpe 2013).

ANDI, Disponível em: <http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/content/ipcc-painel-intergovernamental-sobre-mudanca-do-clima-intergovernamental-panel-climate-change> Em: 01 de julho de 2013 às 12:20hs.

ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I.M.; LEITE, U.T.; BARBOSA, M.R.V. **Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba**. Revista Cerne, v.11, n.3, p. 253-262. 2005.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 4 ed. São Paulo: Atlas, p. 21. 2004.

ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v.4, n.2, p.149-153, 1981.

Anuário estatístico [do] setor de fertilizantes 1992-2010. São Paulo: **Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA**, 1993-2011; Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil 2000-2007. Rio de Janeiro: IBGE, v. 12-19, 2000-2007. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo. Acesso em: maio 2010; e Produção agrícola municipal 2008-2010. In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>. Acesso em: out. 2011.

Anuário estatístico [do] setor de fertilizantes 2010. São Paulo: **Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA**, 2011; e Produção agrícola municipal 2010. In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>. Acesso em: out. 2011.

ARAKAWA, A., JUNG, J.-H.; WU, C.-M.: Toward unification of the multiscale modeling of the atmosphere. **Atmospheric Chemistry Physics**, 11, 3731, 2011. ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a Cumulus Cloud Ensemble with the Large-Scale Environment, Part I. **Journal of Atmospheric Sciences**, 31, 674-701, 1974.

BANOS R, MANZONO-AGUGLIARO F, MONTOYA FG, GIL C, ALCAYDEB A, GOMEZ J. **Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review**. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:1753–66.

BARBOSA, Claudomiro Fábio de Oliveira; PINHO, João Tavares; PEREIRA, Edinaldo José da Silva; GALHARDO, Marcos André Barros; VALE, Silvio Bispo do; MARANHÃO, Wilson Monteiro de Albuquerque. **Situação da Geração Elétrica através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Elétrica**. Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE). Universidade Federal do Pará (UFPA). an. 5. *Enc. Energ. Meio Rural* 2004.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2012/ Ano base 2011**(Pág.144 e 145) Capítulo 8 - Dados Energéticos Estaduais. Ministério de Minas e Energia MME. Disponível em: http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html. Em 25 de junho de 2013.

CHANGLIANG X, ZHANFENG S. **Wind energy in China: current scenario and future perspectives**. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:1966–74.

CHAUHAN, Anurag; SAINI, R.P.; **A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control**. Alternate Hydro Energy Center, Indian Institute of Technology Roorkee, Uttarakhand 247667, India. Contents lists available at Science Direct journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38(2014)99–120.

CHEN, C.; COTTON, W. R. A One-dimensional simulation of the stratocumulus capped mixed layer. **Boundary-Layer Meteorology**: v.25, p.289-321, 1983.

CPDS. **Agenda 21 brasileira – ações prioritárias**. 2002. Disponível em: www.cprh.pe.gov.br/educacao_ambiental/agenda_21/39744%3B59261%3B0401%3B0%3B0.asp. Acessado em 20/11/2009.

DEMEO A, PETERSON ML. **Community smart grid utilizing dynamic demand response and tidal power for grid stabilization**. *Smart Grid Renew Energy* 2013; 4:465–72.

DVORAK MJ, ARCHER CL, JACOBSON MZ. **California offshore Wind energy potential**. *Renew Energy* 2010; 35:1244–54.

EPE. **Série Estudos da Eficiência Energética Nota Técnica DEA 10/14 Consumo de Energia no Brasil Análises Setoriais**. Rio de Janeiro Junho de 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2010-14%20Consumo%20de%20Energia%20no%20Brasil.pdf>

FANG X, MISRA S, XUE G, YANG D. **Smart grid — the new and improved Power grid: a survey**. IEEE Commun Surv Tutor 2012; 14(4):944–80, <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2011.101911.00087>.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. **Interdisciplinaridade: qual o sentido**. São Paulo: Paulus, 2003.

FERREIRA, Carlos. **O lado obscuro de projetos de energia solar e eólica** Disponível em: <http://www.desenvolvimentistas.com.br/blog/carlosferreira/2011/11/01/lado-obscuro-de-projetos-de-energia-solar-eolica/> August 03, 2011|By Tiffany Hsu, Los Angeles Times disponível em: <http://www.latimes.com/>

FIOCRUZ & UFMG. **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste, 2000-2050**. 2009. Disponível em: www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes_saude/MIGRACAO_E_SAUDE_NORDESTE.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

FREIRE, Julliana Larise M.; FREITAS, Saulo Ribeiro de; COELHO, Caio Augusto dos Santos. **Calibração do modelo regional Brams para a previsão de eventos climáticos extremos**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.30, n.2, 158 - 170, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140034>

Freitas, S. R., Longo, K. M., Silva Dias, M. A. F., Chatfield, R., Silva Dias, P., Artaxo, P., Andreae, M. O., Grell, G., Rodrigues, L. F., Fazenda, A., and Panetta, J.: **The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 1: Model description and evaluation**, Atmos. Chem. Phys., 9, 2843– 2861, doi:10.5194/acp-9-2843-2009, 2009.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F. et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 1: Model description and evaluation. **Atmospheric Chemistry Physics**, v. 9, p. 2843-2861, 2009.

FREITAS, S. R.; RODRIGUES, L.F.; LONGO, K.M.; PANETTA, J. Impact of a monotonic advection scheme with low numerical diffusion on transport modeling of emissions from biomass burning. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 4, p. M01001, 2012.

G1. <http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2015/09/primeiro-parque-hibrido-de-energia-renovavel-do-pais-e-inaugurado-em-pe.html> 25/09/2015 19h38 - Atualizado em 26/09/2015 09h35

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social** 5. ed. São Paulo:Atlas, 2006.

GIPE P. **Wind energy comes of age California and Denmark energy policy** 1991;19:756–67.

GRELL, G. A.; DÉVÉNYI, D. A new approach to parameterizing convection using ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**.v.29, p.1693, 2002.

GRELL, G. A.; FREITAS, S. R. A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling. **Atmospheric Chemistry Physics**, 14, 5233-5250, 2014.

GTES – Grupo de trabalho de Energia Solar. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. 1999. “**Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**”. CRESESB, Rio de Janeiro.

HALLETT Michael. **Distributed power in Afghanistan: the Padisaw micro-hydro project**. *Renew Energy* 2009; 34:2847–51.

<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>

IAEA, **Indicators for sustainable development: guidelines and methodologies**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. P.; 24 cm. ISBN 92-0-116204-9.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2012. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/default_2012.shtm. Acesso em: 04.07.2013 às 13: 53 hs.

IDS Brasil. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. IBGE- Instituto de Geografia e Estatística, 2012.

IEA **International Energy Agency**. WEO2011-Newelectricityaccess database. Available://(http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energydevelopment/WEO2011_new_Electricity_access_Database.xlsSS); 2011[accessed].

International Energy Agency (IEA). WEO 2011- **New electricity access database**. Available: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energydevelopment/WEO2011_new_Electricity_access_Database.xlsSS); 2011[accessed].

IPCC. Climate change 2007: **synthesis report**. Valência: 2007a. Disponível em: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

KAABECHE A, BELHAMEL M, IBTIOUEN R. **Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/Wind power generation system**. *Energy* 2011; 36:1214–22.

KHRENNIKOV YuA. **New Intellectual Networks (Smart Grid) for detecting electrical equipment faults, defects and weaknesses.** Smart Grid Renew Energy 2012; 3:159–64.

KUO, H. L. Further studies of the parameterizations of the influence of cumulus convective on large-scale flow. **Journal of the Atmospheric Sciences:** v.31, p.1232-1240, 1974.

LIMA, FRANCISCO JOSÉ LOPES DE ; CAVALCANTI, ENILSON PALMEIRA ; Souza, Enio Pereira de ; SILVA, EMERSON MARIANO DA . **Evaluation of the Wind Power in the State of Paraíba Using the Mesoscale Atmospheric Model Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modelling System.** ISRN Renewable Energy, v. 2012, p. 1-16, 2012.

LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; DIAS, M. A. S.; DIAS, P. L.S. Numerical modeling of the biomass-burning aerosol direct radiative effects on the thermodynamics structure of the atmosphere and convective precipitation. In: **International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO)**, p. 283-289, 2006.

LOUIE H, BURNS M, LIMA C. **An introduction and user's guide to the IEEE smart grid web portal.** IEEE PES innovative smart grid Technologies conference Europe (ISGT Europe); 2010. p.1–5.

MARENGO, J. A. et al. **Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil para o século XXI derivados dos modelos do clima do IPCC.** São Paulo: CPTEC/INPE, 2007.

MARIANO, Everson Batista; CAVALCANTI, Enilson Palmeira; SOARES, José Flávio Portela; RODRIGUES, Herika Pereira. **Uso do Modelo Brams na Obtenção da Precipitação para Entrada em Modelo Hidrológico Concentrado.** Revista Brasileira de Geografia Física 04 (2012) 890-906. 2012 Disponível em: Homepage: www.ufpe.br/rbgfe.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing.** São Paulo: Atlas, 1999. v.1.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Reviews of Geophysics and Space Physics: v.20, p.851-857, 1986.

MESINGER, F.; ARAKAWA, A. Numerical Methods Used in Atmospheric Models. **GARP Publications Series**, N° 17, Volume I, 62p, 1976.

MME, **Ministério de Minas e Energia.** Disponível em: www.mme.gov.br, acesso em: 03.08.13.

MME, **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: www.mme.gov.br, acesso em: 20.03.2015.

MOHAMMED, Y.S.; MUSTAFA, M.W.; BASHIR, N. **Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser. Renewable and Sustainable Energy Reviews 35(2014)527–539, 2014.

MOLINARI, J. **A general form of Kuo's cumulus parameterization**. Monthly Weather Review. v. 113, p.1411-1416, 1985.

MONTEIRO, Eduardo Müller. **Teoria de Grupos de Pressão e Uso Político do Setor Elétrico Brasileiro**. orientador Edmilson Moutinho dos Santos – São Paulo, 2007. 140 p.: il.; 30 cm. Dissertação (Mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

NAYAN F, ISLAM MA, MAHMUD S. **Feasibility Study of Smart Grid in Bangladesh**. Energy Power Eng 2013; 5:1531–5.

PALETA, Rita; PINA, André; SILVA, Carlos A. **Remote Autonomous Energy Systems Project: Towards sustainability in developing countries**. Energy. journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy. Energy 48 (2012) 431 e 439.

PIANEZZOLA, Gilberto. **Mapa de Complementaridade dos potenciais solar e eólico no Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Porto Alegre, julho de 2006.

PRADO, D.E. **As caatingas da América do Sul**. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (Eds.) **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE. p.3-74, 2003.

RAMAKUMAR R, ABOUZAH R I, ASHENAY KA. **Knowledge-based approach to the design of integrated renewable energy systems**. IEEE Trans Energy Convers 1995; 10:736–46.

RAMAKUMAR R, ABOUZAH R I, KRISHNAN K, ASHENAYI K. **Designs cenários for integrated renewable energy systems**. IEEE Trans Energy Convers 1995; 10: 736–46.

RAMAKUMAR R. **Integrated renewable energy systems: power engineering review**. IEEE 1995; 15(2):10–3.

REDDY, K.S.; KUMAR, Madhusudan; MALLICK, T.K.; SHARON, H.; LOKESWARAN, S.. **A review of Integration, Control, Communication and Metering (ICCM) of renewable energy based smart grid**. Renewable and

Sustainable Energy Reviews. journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser. Renewable and Sustainable Energy Reviews 38 (2014) 180–192.

REIS, Lineu Belico dos; FADIGAS, Eliane A. Amaral; CARVALHO, Claudio Elias. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. ISBN 85-204-2080-X.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROSÁRIO, N. E.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; YAMASOE, M. A.; FONSECA, R. M. Modeling South America regional smoke plume: aerosol optical depth variability and shortwave surface forcing. **Atmospheric Chemistry Physics Discuss**, v. 12, p. 17465-17501, 2012.

RUIJVEN, Bas J. Van; SCHERS, Jules; VUUREN, Detlef P. Van. **Model-based scenarios for rural electrification in developing countries**. Contents lists available at SciVerse ScienceDirect. Energy. journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy. Energy 38 (2012) 386 e 397.

SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of Brazilian Caatinga. In: Bullock, S.H.; Money, H.A; Medina, E. (eds.). **Seasonally dry tropical forests**. New York: Cambridge University Press, 1995. p. 35-63.

SCHAEFFER et al. **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Brasileira, 2008.

SKYSCRAPERCITY . 2011. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com>, em 04.03.2015 às 15:50 hs.

SOUZA, André Delgado de, **Avaliação da Energia Eólica para o Desenvolvimento Sustentável das Mudanças Climáticas no Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. UFPE-Centro de Tecnologia e Geociências – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recife, 2010.

SOUZA, E. P. **Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica**. 1999. 121 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Tripoli, G. J. and Cotton, W. R.: The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model, Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments, J. de Rech. Atmos., 16, 185–220, 1982.

UNDP et al. **World energy assessment – energy and the challenge of sustainability**. Coordenação: José Goldemberg. Nova Iorque: Communications Development Incorporated, 2000.

Walko, R. L., Band, L. E., Baron, J., Kittel, T. G. F., Lammers, R., Lee, T. J., Ojima, D., Pielke, R. A., Taylor, C., Tague, C., Tremback, C. J., and Vidale, P. L.: Coupled Atmosphere-BiophysicsHydrology Models for Environmental Modeling, *J. Appl. Meteorol.*, 39, 931–944, 2000. SANTOS, A. F. dos; FREITAS, S. R.;MATTOS, J. G. Z. de; CAMPOS VELHO, H. F. de; GAN, M. A.; DA LUZ, E. F. P. and GRELL, G. A. **Using the Firefly optimization method to weight an ensemble of Discussions rainfall forecasts from the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS)**. *Advances in Geosciences.*, 35, 123–136, 2013.

WALKO, R. L.; TREMBACK, J. C.; HERTENSTEIN, R. F. A. RAMS–The regional atmospheric modeling system, version 3b, user’s guide. **ASTER Division, Mission Research Corporation, Fort Collins, CO**, 1995.

WILLIAMS, P. D. A proposed modification to the Robert-Asselin time filter. **Monthly Weather Review**,v. 137, p. 2538-2546, 2009.

YUSAF, Talal;GOH, Steven; BORSERIO, J.A. **Potential of renewable energy alternatives in Australia**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 2214–2221. Contents lists available at Science Direct *Renewable and Sustainable Energy Reviews* journal home page: www.elsevier.com/locate/rser University of Southern Queensl and , Australia (2011).

ZAWILSKA E, BROOKS MJ. **An assessment of the solar resource for Durban, South Africa**. *Renew Energy* 2011;36:3433–8.