INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ CAMPUS MARACANAÚ PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

FRANCISCO RAFAEL DE ARAÚJO OLIVEIRA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA – CE

FRANCISCO RAFAEL DE ARAÚJO OLIVEIRA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA – CE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Erika da Justa Teixeira Rocha

Catalogação na Fonte

048 Oliveira, Francisco Rafael de Araújo.

Geotecnologias aplicadas ao diagnóstico do potencial de geração de energias renováveis no município de Morada Nova-CE / Francisco Rafael de Araújo Oliveira -- 2017.

87 f.

Dissertação (Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis) -- Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Maracanaú, 2017.

Orientadora: $Prof^a.Dr^a$. Erika da Justa Teixeira Rocha.

1.GEOTECNOLOGIA. 2.ENERGIAS RENOVÁVEIS - ANÁLISE. 3.GERAÇÃO DE ENERGIA. I.Título.

621.3121

Sistema AutoCata(Desenvolvido por Cledson Oliveira) SIBI/PROEN - Biblioteca Rachel de Queiroz - IFCE-Maracanaú

FRANCISCO RAFAEL DE ARAÚJO OLIVEIRA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA - CE

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em $0 \neq 10 \neq 14 \neq 1$.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Erika da Justa Teixeira Rocha (Orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Profa. Dra. Marlene Pinheiro Gonçalves Faculdade Ari de Sá- EAS

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Dedico este trabalho aos meus pais Jaca e Nilce, meu irmão Roberto e minha sobrinha Yasmim, sempre vibradores com meu desempenho acadêmico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu a oportunidade de participar de um mestrado que tem como um dos objetivos a convivência sustentável do homem com a natureza.

Aos meus pais que me ensinaram a não desistir diante dos obstáculos da vida, a ter humildade em busca de um aprendizado contínuo e a ter fé diante das adversidades da vida.

A minha orientadora Prof^a Dr^a. Erika da Justa Teixeira Rocha, grande mulher, mãe e profissional, sempre disponível, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional. Muito obrigado por prontamente aceitar este desafio.

À Prof^a. Dr^a. Marlene Pinheiro Gonçalves que aceitou cordialmente coorientar-me e abriu as portas do panorama internacional de energias renováveis.

Aos demais professores participantes da minha vida acadêmica no PPGER, Prof. Dr. João Carlos da Costa Assunção, Prof. Dr. Pedro Pedrosa Rebolças Filho, Prof. Dr. Francisco Nélio Costa Freitas, Prof. Dr. Rodrigo Freitas Guimarães e Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros.

Às secretárias do PPGER, Danúbia Durand, Iassodora Farias e Rafaely Alcântara, sempre atenciosas e solícitas em ajudar e facilitar ao atendimento das minhas necessidades.

Aos amigos e companheiros de estudo Jonas Platini, Luana Amaral, Marcos Cunha, André Luis, Francisco Holanda, Maurício Kleinberg, Gilnarísia Silva, Reully Aguiar e Marcelo Melo, todos muito importantes nesta caminhada.

A todos os amigos do IFCE – *campus* Morada Nova, saudando-os na pessoa da Diretora Geral Maria Beatriz Claudino Brandão, que sempre me incentivaram na conquista de uma pós-graduação e souberam compreender meus momentos de ausência. Muito obrigado pela compreensão.

Ao Laboratório de Geoprocessamento – LABGEO/UECE, capitaniado pela Profa. Dra. Maria Lúcia Brito da Cruz, um verdadeiro instrumento de Deus usado para permear seus conhecimentos científicos e morais em favor do próximo, no qual me incluo.

À Elisangela Ximenes Aguiar, Geógrafa, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia – UECE, que me ajudou de forma incondicional nos esclarecimentos das atividades de elaboração dos mapas temáticos deste trabalho.

Ao Professor Cleilson Alves por gentilmente fazer a revisão textual deste trabalho, amigo que me acompanha há muito tempo na jornada acadêmica.

Ao Senhor Adalberto Girão, Engenheiro Agrônomo da COGERH, pela disponibilidade e atenção durante as discussões e busca por informações da região de estudo.

Ao Senhor Arilton Rabelo pela força ao longo desta caminhada, sempre vibrador com a educação no município de Morada Nova.

A todos os amigos que fiz no IFCE desde 2003, saudando a todos em nome de Janailson Sousa. Nesta casa fiz o Curso Técnico em Edificações, Tecnologia em Estradas e Mestrado em Energias Renováveis, e hoje sou Professor Efetivo do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico na área de Construção Civil, coordenando o Curso de Bacharelado em Engenharia Civil.

Agradeço a todos os meus alunos do IFCE *campus* Morada Nova pela harmoniosa convivência que temos e pela perseverança em tornar o mundo melhor.

Enfim, aos meus amigos e familiares que me compreenderam pela ausência em diversos eventos durante esse desafio. Foi um trabalho árduo que demandou esforço físico e mental, mas que no final toda lágrima e todo suor foram de fundamental importância para desenvolver um bom trabalho.

RESUMO

Dentre as numerosas aplicações que já se conhece sobre as geotecnologias na engenharia e no meio ambiente, uma das mais importantes é poder utilizar essas ferramentas para espacializar e conhecer o potencial de recursos energéticos em uma determinada região. A presente dissertação consiste em um diagnóstico da capacidade de produção de energia a partir de fontes ditas "limpas", através da utilização de imagens de satélite, incursões de campo e dos recursos e procedimentos conjuntamente associados às geotecnologias. Apesar do potencial envolvendo as ferramentas de geotecnologias na determinação de locais para produção de energia, muitos desafios devem ser superados para tornar viável a aplicação dessas técnicas, como a aquisição de imagens de satélites de alta resolução com modelos aprimorados do relevo da área de estudo, dados confiáveis levantados em campo, como os índices solarimétricos e de velocidade dos ventos, além da caracterização socioeconômica do local. Deste modo, este trabalho objetiva fazer um levantamento do potencial de energias alternativas disponíveis em um raio de 10 km da subestação de energia elétrica da ENEL-CE, situada no município de Morada Nova – Ceará, determinando a capacidade de geração de energia a partir de fontes Eólicas, Solar-fotovoltaica, Pequenas Centrais Hidrelétricas e de Biomassa por incineração de resíduos sólidos urbanos. A fonte de energia renovável que apresentou o maior potencial de produção foi a Energia Eólica com produção anual de 78,46 GWh, seguida da energia Solar-fotovoltaica com produção anual de 30,80 GWh, representando essas duas formas de geração 99,99 % dentre as fontes de energias avaliadas. Com isso verificou-se que o estudo utilizando geotecnologias para determinação e espacialização de geração de energia é bastante promissor, porém, ainda se faz necessário melhorar a qualidade dos dados adquiridos remotamente e em campo e otimizá-los visando melhorar os valores de representatividade dos mapas e gráficos gerados.

Palavras-chave: Geotecnologias; Matriz-energética; e Energias Renováveis.

ABSTRACT

Among the many applications already known about geotechnology in engineering and the environment, one of the most important is to be able to use these tools to spatialize and know the potential of energy resources in a given region. The present dissertation consists of a diagnosis of the capacity to produce energy from so-called "clean" sources, through the use of high resolution satellite images, field incursions and the resources and procedures associated with geotechnologies. Despite the potential of Geotechnology tools in determining sites for energy production, many challenges must be overcome in order to make feasible the application of these techniques, such as the acquisition of high-resolution satellite images with improved terrain model of the area Study, reliable data collected in the field, such as solarimetric and wind speed indexes, as well as the socioeconomic characterization of the site. In this way, this work aims to survey the potential of alternative energies available within a 10 km radius of the ENEL-CE electricity substation, located in the municipality of Morada Nova - Ceará, determining the capacity to generate energy from wind power plants, solarphotovoltaic, Small Hydroelectric Power Plants and Biomass by incineration of urban solid waste. The renewable energy sources that presented the greatest production potential were Wind Energy with annual production of 78.46 GWh and Solar-photovoltaic Source, with annual production of 30.80 GWh, these two forms representing of generation 99.99% among the Sources of energy. It studied was verified that the study using geotechnologies for determination and spatialization of energy generation is very promising, but it is still necessary to improve the quality of the data acquired in the field and to optimize them, aiming to improve the representativeness values of the maps and generated graphs.

Keywords: Geotechnology; Energy matrix; And Renewable Energies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Temperaturas Globais.	12
Figura 02 - Posição dos diversos países em 2011 com relação ao Protocolo de Kyoto	13
Figura 03 - Matriz Energética Mundial - 2010.	15
Figura 04 – Consumo de Energia Elétrica do Brasil no ano base de 2014	17
Figura 05 – Evolução da Oferta de Energia Elétrica.	18
Figura 06 - Tipos de energias quanto à origem e renovabilidade	20
Figura 07 – Gráfico de Geração de Energia Elétrica Mundial por fonte (%)	20
Figura 08 – Modelo de uma Usina Hidrelétrica de altura Média a Alta.	22
Figura 09 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	24
Figura 10 – Sistema Fotovoltaico Isolado.	26
Figura 11 – Sistema Interligado com a Concessionária.	26
Figura12 – Diagrama de evolução na potência e no tamanho de aerogeradores comerciais	28
Figura13 – Estrutura das órbitas dos satélites NAVSTAR/GPS.	32
Figura14 – Espectro eletromagnético: diversos comprimento de onda	33
Figura15 – Plano Diretor da Cidade de Natal - RN	34
Figura16 – Arquitetura de sistema de informação geográfica.	36
Figura17 – Esquema de um sistema de informações geográficas.	37
Figura 18 – Elementos da representação vetorial (A) e matricial (B).	37
Figura19 – Mapa do município de Morada Nova- CE.	41
Figura 20 – Mapa de localização da área de estudo em Morada Nova- CE.	43
Figura 21 – DisposiçãofinaldeRSUnoEstadodoCeará (T/DIA)	46
Figura 22 – Radiação solar global horizontal média anual para o Brasil.	47
Figura 23 – Radiação solar global média sazonal para o Brasil.	48
Figura 24 –Potencial Eólico do Brasil.	49
Figura 25 –Potencial Eólico do Nordeste Brasileiro.	50
Figura 26 – Turbina Kaplan	52
Figura 27 – Turbina Francis.	52
Figura 28 – Turbina Pelton.	53
Figura 29 – Turbina Bulbo.	53
Figura 30 – Área de Estudo - Classificação da Cobertura do Solo.	58
Figura 31 – Mapa Planialtimétrico da Área de Estudo	59
Figura 32 – Mapeamento dos Recursos Hídricos.	60

Figura 33 – Canais do Açude Curral Velho.	61
Figura 34 – Mapa de localização do "lixão".	62
Figura 35 – Catadores de lixo	62
Figura 36 – Mapa de localização da área de produção de energia solar	65
Figura 37 – Mapa de localização das turbinas de produção de energia eólica	67
Figura 38 – Potencial de produção de energia a partir de fontes alternativas	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Geração Elétrica por Região no Mundo.	14
Tabela 02 – Produção de Energia Primária.	16
Tabela 03 - Domicílios particulares permanente segundo energia elétrica e lixo con	letado –
2000/2010	42
Tabela 04 – Consumo e consumidores de energia elétrica - 2015.	42
Tabela 05 – Geração e coleta de RSU no Estado do Ceará - 2015	45
Tabela 06 – Taxa de produção de eletricidade por incineração segundo referências	54
Tabela 07 – Classificação dos Reservatórios.	60
Tabela 08 - Potencial de energia de biomassa produzida pelo processo de inciner	ação de
Resíduos Sólidos Urbanos.	63
Tabela 09 – Eficiência de conversão de energia dos módulos fotovoltaicos	64
Tabela 10 – Potencial de energia solar-fotovoltaica produzida	65
Tabela 11 – Dados da turbina E-48 / 800 KW	67
Tabela 12 – Potencial de energia eólica produzida	68
Tabela 13 – Produção de energia a partir de fontes renováveis	69

LISTA DE ABREVIATURAS

AEEB - Atlas de Energia Elétrica do Brasil

ArcGIS – Software ArcGIS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

BIG - Banco de Informações da Geração

CMCC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CSP - Concentrated Solar Power

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

ENEL – Empresa de Energia Elétrica do Ceará

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GEE – Gases de Efeito Estufa

GNU – Licença Pública Geral

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IPECE – Instituto de Pesquisa Estratégica e Econômica do Ceará

MDT – Modelo Digital do Terreno

PCD - Plataforma de Coleta de Dados

PCER - Programa de Capacitação em Energias Renováveis

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PROINFA - Programa de Incentivoàs Fontes Alternativas de Energia Elétrica

QGIS -Software QGIS

RADAMBRASIL - Projeto Radar da Amazônia do Brasil

REM - Radiação Eletromagnética

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIG – Sistema de Informações Georeferenciados

SIN – Sistema Interligado Nacional

UFV - Central Geradora Solar Fotovoltaica

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

% - Por cento

°C – Graus Celsius

0° 0′ 0″ – Graus, minutos e segundos

GW - Gigawatt

Ha - Hectare

Kg.hab⁻¹dia⁻¹ – Quilograma por habitante por dia

Kg/m³ - Quilograma por metro cúbico

Km - Quilômetro

Km/s – Quilômetro por segundo

Km² - Quilômetro quadrado

Km³ - Quilômetro cúbico

KW - Quilowatt

KWh – Quilowatt-hora

KWh/dia – Quilowatt-hora por dia

m-Metro

m/s – metros por segundo

m/s² – Metros por segundo ao quadrado

m² – Metro quadrado

m³/s – Metros cúbicos por segundo

mm - Milímetro

MW - Megawatt

MWh - Megawatt-hora

T/dia – Tonelada por dia

TeP – Tonelada Equivalente de Petróleo

TWh - Terawatt-hora

TWh/m² - Terawatt-hora por metro quadrado

W/m² - Watt por metro quadrado

W/m²/dia – Watt por metro quadrado por dia

Wh/m²/dia – Watt-hora por metro quadrado por dia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	.10
2.1	. Objetivo Geral	.10
2.2	. Objetivos Específicos	.10
3	REVISÃO DE LITERATURA	.10
3.1	Energia e Mudanças Climáticas	.10
3.1	.1 Panorama Energético Internacional	.14
3.1	.2 Panorama Energético Brasileiro	.16
3.1	.3 Panorama Energético Cearense	.18
3.1	.4 Fontes de Energias Renováveis e Não Renováveis	.19
3.2	Fontes Energéticas Renováveis	.21
3.2	.1 Energia Hidráulica	.21
3.2	.2 Energia de Biomassa	.23
3.2	.3 Energia Solar Fotovoltaica	.25
3.2	.4 Energia Eólica	.27
3.2	.5 Outras Fontes de Energias Renováveis	.29
3.3	Geotecnologias aplicadas à análise de Fontes de Energias Renováveis	.30
3.3	.1 Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global	.32
3.3	.2 Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas	.34
4 À F	FUNDAMENTAÇÃO OU QUADRO TEÓRICO: VISÃO DE MUNDO SUBJACEN FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA	
5	MATERIAL E MÉTODOS	.40
5.1	Área de estudo	.40
5.2	Levantamento de Dados	.45
5.3	Conversão em eletricidade das fontes alternativas	.51

5.3.1 Energia Hidráulica	51
5.3.2 Energia de Biomassa	54
5.3.3 Energia Solar	55
5.3.4 Energia Eólica	56
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6.1 Capacidade de Geração a partir de Fontes Renováveis	58
6.1.1 Energia Hidráulica	59
6.1.2 Energia de Biomassa	61
6.1.3 Energia Solar	64
6.1.4 Energia Eólica	66
6.2 Estimativa da Produção Anual de Energia	69
7 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento e crescimento de uma nação corresponde às necessidades do bem estar da sociedade como habitação, saúde, transporte e alimentação. Isso demanda energia elétrica para todos esses seguimentos, desta forma, o país necessita aumentar a produção energética com o objetivo de atender o crescimento e a melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes.

A produção de energia no mundo baseada em fontes oriundas de combustíveis fósseis vem sofrendo muitas críticas, pois contribui para a problemática do aquecimento global e, consequentemente, das mudanças climáticas. Nesse contexto está ocorrendo uma busca por formas de geração de energias renováveis e sustentáveis, que gerem o mínimo de impacto possível sobre o meio ambiente e mesmo assim consigam atender a crescente demanda (NAHAS, 2010).

O cenário mundial apresenta um bom momento para projetos de energias renováveis, em especial no Brasil, devido ao seu crescimento econômico observado na última década, demandando mais energia. A Empresa de Pesquisa Energética do Brasil (EPE) aponta a necessidade de variação da matriz energética nacional. O estado do Ceará apresenta grande potencialidade na geração de energia a partir de fontes alternativas, principalmente pela sua diversidade e disponibilidade de recursos naturais como o intenso regime de ventos e insolação.

Além da questão da geração de energia por outras modalidades para tornar o país independente dos países produtores de combustíveis fósseis, o apelo ambiental pela utilização de fontes que não poluam o meio ambiente é muito forte. A viabilização desses empreendimentos é a temática central deste estudo, pois as avaliações preliminares ainda são bastante difíceis e onerosas, logo a utilização de geotecnologias para acelerar esta etapa deve ser adotada.

As ferramentas de geotecnologias auxiliam na análise espacial e no tratamento das informações, possibilitando uma avaliação prévia do potencial de fontes de energia em uma determinada região com mais rapidez e de forma remota. Neste trabalho foram aplicadas as técnicas para tratamento de dados climatológicos como o regime de ventos e radiação solar, dados das características físicas da hidrografia e topografia da região, assim como dados socioeconômicos da produção de resíduos sólidos urbanos para a elaboração de mapas que indiquem o potencial dos melhores locais para produção de energia.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Diagnosticar as potencialidades dos recursos energéticos a partir de fontes alternativas no Município de Morada Nova – CE, com utilização de ferramentas de geotecnologias como subsídio para a tomada de decisão.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Diagnosticar o potencial energético oriundo de fontes hidráulicas de Pequenas Centrais Hidrelétricas, de fontes de biomassa através da incineração dos Resíduos Sólidos Urbanos, de fonte solar-fotovoltaica e eólica no Município de Morada Nova – CE;
- b) Desenvolver mapas temáticos do município com a indicação das potencialidades energéticas utilizando softwares SIG, criando um banco de dados primário para tais informações;
- c) Avaliar as perspectivas de utilização da estimativa de produção de energia para o consumo do município em todos os seguimentos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Energia e Mudanças Climáticas

Um dos principais componentes da sociedade moderna é a energia, cuja definição clássica, na física, é a capacidade de gerar trabalho. Para Kaehler (2000), ela é considerada como um fator da produção da sociedade, e deve ser entendida como um importante insumo para alavancar o desenvolvimento econômico de um país. Os altos padrões de vida nos países desenvolvidos têm uma base comum, a disponibilidade adequada e confiável de energia.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2007), energia, ar e água são ingredientes essenciais à vida humana. O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta, e a partir dele são oriundas todas as demais fontes de produção. A energia da biomassa tem origem na conversão da energia da luz solar em energia química, pelo fenômeno da fotossíntese. A energia das águas dos rios, tem origem nas chuvas, processos de evaporação e degelo. A energia dos ventos tem origem nas diferenças de temperatura e pressão atmosférica.

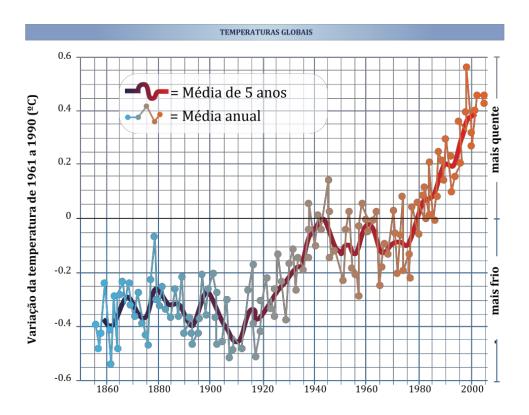
Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) afirmam que as fontes de energia mais exploradas no mundo são oriundas dos combustíveis fósseis, onde são utilizados os derivados do petróleo, carvão mineral e a queima do gás natural. Essas fontes ditas "combustíveis fósseis", também têm origem na energia solar, pois são resultados de processos de decomposição de matérias orgânicas produzidas há milhões de anos.

A partir de meados do século XIX, quando a Revolução Industrial se expande da Inglaterra para outros países, observa-se a necessidade de grande produção de energia para a manufaturação de bens industrializados. Nesse momento da história, se intensificou a utilização de combustíveis fósseis na forma de gasolina, petróleo, carvão e gás natural. A utilização de grandes volumes de combustíveis fósseis libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂). A emissão de dióxido de carbono somada às emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (C₂O), provenientes de atividades humanas, acentuam um processo natural chamado "efeito estufa", que torna o planeta Terra cada vez mais quente.

O efeito estufa é o aprisionamento natural de parte da radiação solar que chega sobre a superfície terrestre. Essa condição acontece devido aos Gases de Efeito Estufa (GEE) que aprisionam a energia em forma de calor, o que é essencial para a vida na Terra, pois esse efeito mantém a temperatura média global em torno de 15° C (SUGUIO, 2008). No entanto, o desequilíbrio desse fenômeno natural causado pelo consumo indiscriminado de combustíveis fósseis, põe em risco a vida dos seres vivos no planeta Terra.

O Clima vem sendo alterado principalmente devido à emissão de CO₂ e de outros gases de efeito estufa, pelas atividades humanas em detrimento da produção de energia a partir de fontes de combustíveis fósseis. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, o aquecimento global proveniente do efeito estufa, elevou 0,76° C nos últimos 100 anos na temperatura média do planeta, conforme é possível verificar na Figura 01 (IPCC, 2007). Com perspectivas ainda para aumento de 1,4 a 5,8 graus até 2100. Para Reis e Silveira (2012), o setor energético produz impactos ambientais em toda sua cadeia de desenvolvimento, desde os processos de prospecção dos recursos naturais e matérias-primas,

passando pela produção da energia até os seus usos pelos diferenciados tipos de consumidores.



 $Figura~01-Temperaturas~Globais.\\ Fonte: IPCC-Intergovernmental~Panel~on~Climate~Change (2007).$

De forma geral, a energia tem participação significativa nos principais problemas ambientais e alterações climáticas da atualidade. Nesse contexto, os principais impactos ambientais da evolução do processo de efeito estufa, seria a vulnerabilidade à mudanças climáticas, originadas pelos gases de efeito estufa. Os efeitos das mudanças climáticas sobre as atividades econômicas, os ecossistemas e as populações são consideráveis e podem ser irreversíveis (PCER, 2012). Podemos citar alguns ambientes mais vulneráveis às variações climáticas decorrentes do aumento da temperatura global:

- As florestas tropicais da América Latina: aumento da sucessão aos incêndios e secas frequentes;
- Os manguezais localizados no nível do mar: suscetíveis ao aumento das temperaturas e furações;
- A agricultura: as plantações com a redução do ciclo de crescimento e a maior incidência de doenças e pragas, além de sofrerem alagamentos ou problemas decorrentes de chuvas ácidas;

- Ciclo Hidrológico: a escassez de chuvas e temperaturas elevadas originam deficiências hídricas, o que atinge a geração de energia hidráulica, principalmente nos países da América Latina, em especial no Brasil onde grande parte dos recursos energéticos são provenientes de hidrelétricas.

Além das alterações climáticas de ordem global, os impactos ambientais da produção de energia podem ser relativos às atividades de extração, geração, distribuição e utilização. Como por exemplo, a contaminação por extração de carvão mineral, pela geração de energia nuclear, pela distribuição em linhas de alta tensão ou emissões sólidas, líquidas e gasosas dos processos produtivos.

Nesse contexto, surgiram vários compromissos internacionais no intuito de mitigar as mudanças climáticas, sendo o mais expressivo o Protocolo de Kyoto, que foi apresentado dentro da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CMCC) em 1997, visando estabelecer compromissos de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), além de definir critérios e diretrizes para a utilização de mecanismos de mercado (OLIVEIRA, 2007). Na Figura 02 podemos ver como está a posição dos países em relação ao Protocolo de Kyoto no ano de 2011.

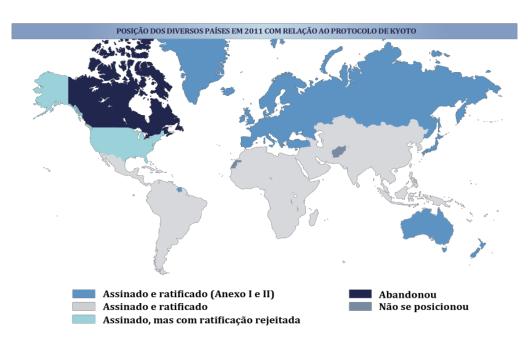


Figura 02 - Posição dos diversos países em 2011 com relação ao Protocolo de Kyoto. FONTE: Programa de Capacitação em Energias Renováveis – PCER (2012).

O protocolo impõe a 36 países industrializados as reduções das emissões das principais substâncias responsáveis pelo aquecimento global, em ao menos 5 % em relação aos níveis de 1990, durante o período de 2008 a 2012. O protocolo determina objetivos

diferentes para os países participantes, o que se torna mais severo para os países desenvolvidos, enquanto que os países em desenvolvimento estão exonerados das reduções. A contabilização das reduções das emissões é expressa em dióxido de carbono equivalente (CO₂e), uma vez que esse gás se destaca como o principal gás de efeito estufa (CUNHA, 2005).

3.1.1 Panorama Energético Internacional

A matriz energética mundial antes da Revolução Industrial era baseada principalmente em fontes primárias de energia, em especial a madeira, outras fontes de biomassa e a tração animal. Quando a revolução se expandiu pela Inglaterra ao longo do século XIX, outras fontes de enegia foram mais intensamente exploradas para suprir as demandas do crescimento industrial dos países em desenvolvimento.

Simas e Paccas (2013) ressaltam que a expansão das cidades leva ao aumento demográfico e este altera o consumo da sociedade, impulsionando um ciclo virtuoso de crescimento da economia e consumo de energia. Druckman e Jackson (2009) levam em consideração que o aumento econômico das populações eleva o consumo de bens materiais, de infraestrutura, um ciclo vicioso que demanda cada vez mais o consumo de energia.

A Tabela 01 apresenta a geração de energia elétrica por região no mundo. Essa produção vem crescendo de forma bastante expressiva, principalmente na Ásia, impulsionado pelo desenvolvimento econômico da China, chegando a uma produção de aproximadamente 21.531,7 TWh no ano de 2012.

Tabela 01 – Geração Elétrica por Região no Mundo.

	2008 (TWh)	2009 (TWh)	2010 (TWh)	2011 (TWh)	2012 (TWh)
Mundo	19157.3	19093.3	20436.9	21182.4	21531.7
Ásia e Oceania	6770.7	7076.2	7856.6	8493.9	8761.6
América do Norte	4983.9	4793.9	4969.2	5007.9	4943.7
Europa	3622.7	3463.2	3621.5	3568.4	3581.7
Eurásia	1429.6	1358.0	1425.9	1454.1	1479.5
América do Sul e Central	1033.7	1043.1	1098.6	1147.5	1177.0
Oriente Médio	725.0	764.7	827.1	852.8	907.0
África	591.7	594.2	638.0	657.8	681.2

Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA). Elaboração EPE (2016).

A matriz energética mundial utiliza de forma intensiva os combustíveis fósseis, com uma proporção de 33,2 % para o petróleo e seus derivados e 27,0 % para o carvão mineral, de acordo com a análise da matriz energética mundial na Figura 03. Esses valores causam uma grande preocupação mundial, devido o possível esgotamento desses recursos, como também, as vulnerabilidades ocorridas das mudanças climáticas decorrentes das emissões dos gases de efeito estufa que apontam para uma crise ambiental (BERMAN, 2008) e pela necessidade de preservação do meio ambiente.

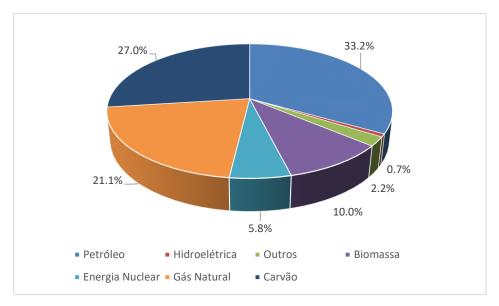


Figura 03 - Matriz Energética Mundial - 2010. Fonte: Internacional Energy Agency (2010). Elaboração EPE (2016).

O petróleo deverá permanecer como a principal fonte até que haja restrição de oferta, após atingir o pico de produção mundial (WEIGMANN, 2002 in BARROS, 2007). Com a crise do petróleo no mercado internacional entre os anos de 1973 e 1979, onde o preço do barril chegou a valores muito altos, o que causou grande instabilidade na economia mundial, os países tem buscado outras formas de ter sua dependência do consumo de energias fósseis (BARROS, 2007).

Para que se encontrem alternativas para a transição do setor elétrico da dependência do carvão, petróleo e seus derivados, muitos países estão buscando diversificar suas matrizes energéticas com o implemento de fontes de energias renováveis. A maior oferta de bioenergia na matriz energética global, poderia reduzir o uso de combustíveis fósseis. Isso contribuiria para a segurança energética dos países durante o período de transição do atual modelo energético para modelos mais eficientes, limpos, socialmente aceitáveis e de menor impacto sobre a emissão dos gases do efeito estufa (MIURA, 2012).

3.1.2 Panorama Energético Brasileiro

O panorama energético brasileiro conta com uma matriz energética das mais "limpas" do planeta. Segundo o Balanço Energético Nacional - BEN (MME, 2016), o Brasil dispõe de uma matriz energética predominantemente renovável, com destacada importância para a geração de energia de origem hidroelétrica que responde por 64,0 % da oferta interna. As fontes renováveis de geração de energia representaram no ano de 2015, 75,5 % da oferta interna de eletricidade no Brasil.

Anjos, Rocha e Andrade (2014) se referem ao Brasil, como uma nação que ocupa uma posição ímpar, pois tem como principal forma de produção de energia elétrica, a das usinas hidrelétricas, as quais utilizam a força das águas para a movimentação de turbinas na geração de energia. A Tabela 02 apresenta a matriz energética brasileira, evidenciando as fontes de produção de energia primária ao longo da última década.

Tabela 02 – Produção de Energia Primária.

FONTES	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
NÃO RENOVÁVEL	112,635	116,084	123,160	129,340	134,276	140,533	140,573	139,996	153,920	166,406
PETRÓLEO	89,214	90,765	94,000	100,918	106,559	108,976	107,258	104,762	116,705	126,127
GÁS NATURAL	17,582	18,025	21,398	20,983	22,771	23,888	25,574	27,969	31,661	34,871
CARVÃO VAPOR CARVÃO	2,200	2,257	2,552	1,913	2,104	2,134	2,517	3,298	3,059	3,066
METALÚRGICO	87	92	101	167	0	0	0	0	0	0
URÂNIO	2,338	3,622	3,950	4,117	1,767	4,209	3,881	2,375	681	512
OUTRAS NÃO RENOVÁVEL	1,214	1,323	1,159	1,242	1,075	1,326	1,343	1,592	1,814	1,830
RENOVÁVEL	99,165	107,623	113,395	111,118	118,921	115,855	116,396	118,096	118,702	120,064
ENERGIA HIDRÁULICA	29,997	32,165	31,782	33,625	34,683	36,837	35,719	33,625	32,116	30,938
LENHA	28,496	28,618	29,227	24,609	25,997	25,997	25,683	24,580	24,936	24,519
PRODUTOS DA CANA DE AÇÚCAR OUTRAS	35,133	40,458	45,019	44,775	48,852	43,270	45,117	49,304	49,273	50,424
RENOVÁVEIS	5,539	6,382	7,367	8,109	9,389	9,751	9,877	10,587	12,377	14,183
TOTAL - 10 ³ tep	211,800	223,707	236,555	240,458	253,197	256,388	256,969	258,092	272,622	286,470

Fonte: U.S. Balanço Energético Nacional (MME, 2016).

Em 2014, o setor industrial continuou a ser o maior consumidor de energia, seguido pelos setores de transportes e residencial. A Figura 04 mostra o consumo de energia elétrica por região em 2014, denotando o setor industrial como maior consumidor.

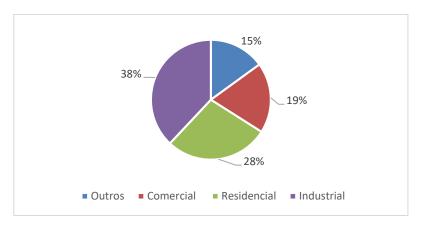


Figura 04 – Consumo de Energia Elétrica do Brasil no ano base de 2014. Fonte: Adaptado de EPE (2015).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012), o crescimento do número de domicílios atendidos, devido ao fomento dos programas sociais para a energia elétrica e o aumento de renda da população, foram os principais responsáveis pela alteração no consumo de energia elétrica no setor residencial.

Cabe ressaltar que o aumento do consumo de energia elétrica possui relação direta com a expansão não somente do setor de geração, mas também de outros, tais como o de transmissão e de distribuição. Desta forma, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008) ressaltou que para atender este novo cenário de demanda, seriam necessários elevados investimentos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas, bem como a ampliação das capacidades de transmissão e de distribuição.

Segundo previsões da Empresa de Pesquisa Energética brasileira (EPE, 2015), o Brasil precisará expandir as fontes de geração de energia, saindo da oferta total de 132.878 MW em 2014 para 233.447 MW em 2024. Correspondendo a um aumento de 75,7% com o intuito de sanar a previsão de consumo residencial individual projetado de 208 kWh/mês para o horizonte de 2024. Para isto será necessário diversificar a matriz energética nacional, conforme é apresentado na Figura 05.

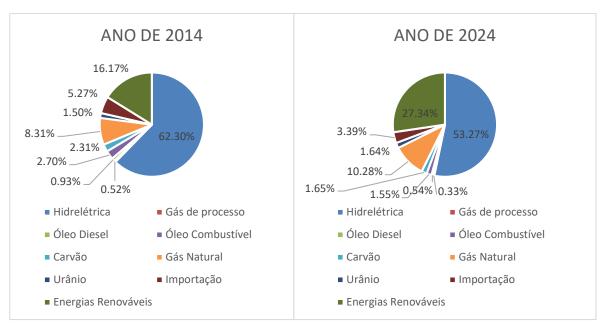


Figura 05 – Evolução da Oferta de Energia Elétrica. Fonte: Adaptado de EPE (2015).

3.1.3 Panorama Energético Cearense

O estado do Ceará busca diversificar sua matriz energética baseada em energias renováveis. A consolidação da matriz energética do Ceará é fruto de ações do Governo do Estado na concessão de incentivos aos investidores e na realização de investimentos em infraestrutura aos empreendimentos da cadeia produtiva de energia (ADECE, 2017).

Por meio da Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S.A. (ADECE, 2017), o Estado está estabelecendo uma ambiência favorável para o segmento energético no atendimento de novos investidores para o setor, na criação de parcerias com instituições internacionais para treinamento de mão de obra e na contribuição para estabelecimento de marco regulatório do setor elétrico brasileiro para energias renováveis.

Atualmente, o Estado do Ceará possui empreendimentos de geração de energia de fontes eólica, solar, termelétrica e hidrelétrica. No que tange à hidrelétrica, o Ceará possui uma pequena central hidrelétrica (PCH), denominada Araras, com potência instalada de 4 MW e situada no rio Acaraú, no município de Varjota.

A produção de energia eólica cearense é nacionalmente conhecida pelo seu alto potencial, dimensionado em 35 mil megawatts (MW), sendo 25 mil MW em terra (*on shore*) e 10 mil MW no mar (*off shore*), segundo o Atlas Eólico do Estado.

Além das usinas de energia eólica e hidrelétrica, o Ceará possui a primeira usina comercial de energia solar do Brasil, na cidade de Tauá. O projeto prevê uma capacidade total de geração de 50 MW. Na primeira etapa, foi construído 1 MW, já conectado ao Sistema Interligado Nacional, (ADECE, 2017).

De acordo com a ADECE (2017), o estado tem também inúmeros empreendimentos térmicos, com destaque para a Termoceará (Petrobras) e a Terméletrica Fortaleza, ambas movidas a gás natural. Juntas, possuem mais de 560 MW de potência instalada. Complementarmente, estão sendo implantadas duas termelétricas movidas a carvão mineral importado de baixo teor de enxofre, cujas capacidades serão de 720 MW (Energia Pecém) e 365 MW (MPX Pecém II).

Além disso, o Estado do Ceará está concluindo a instalação de uma usina de geração de energia elétrica a partir da energia das ondas do mar, situada no Terminal Múltiplo Uso do Porto do Pecém. Tem capacidade de geração de 50 kW por meio de parceria com Eletrobrás, Finep e Coppe/UFRJ (ADECE, 2017).

3.1.4 Fontes de Energias Renováveis e Não Renováveis

Uma determinada fonte de energia é considerada renovável quando as características de produção são repostas naturalmente em pouco espaço de tempo, notadamente proveniente da energia do sol (GOLDEMBERG; LUCON, 2008). Goldemberg (1979) afirma que essas fontes de energia são consideradas alternativas ou não convencionais, podendo ser de origem: hidroelétrica, solar, eólica, biomassa moderna, maremotriz e geotérmica.

As fontes não renováveis são definidas, de acordo com Rocha e Costa (2014), como fontes esgotáveis do ponto de vista de utilização pela humanidade, cuja capacidade de se renovarem não é compatível com o consumo pelos seres humanos. Os principais exemplos são os combustíveis fósseis e os combustíveis nucleares (PENA, 2012). Esse tipo de produção tem a tecnologia mais bem difundida por ser historicamente a mais explorada, no entanto possui um forte impacto ambiental na sua produção.

A Figura 06 representa a classificação sugerida por Silva (2004), exemplificando os tipos de energias quanto à renovabilidade.

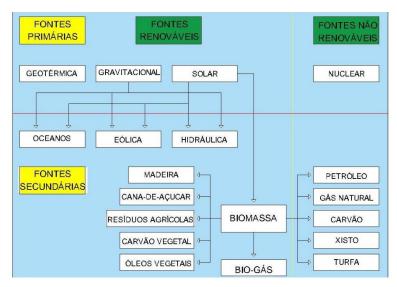


Figura 06 - Tipos de energias quanto à origem e renovabilidade. Fonte: SILVA (2004).

Existe uma grande disponibilidade de fontes de energias renováveis em vários lugares do mundo. A produção de energia a partir de fontes renováveis produz um baixo nível ou nenhum teor de emissãode gases de efeito estufa (GEE). Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2016), em 2012 a produção mundial de energia através de fontes renováveis correspondeu a 21,9 %, o que pode ser verificado no gráfico da Figura 07.

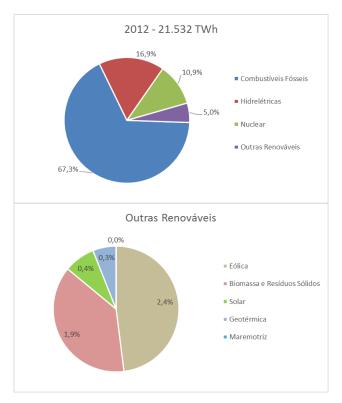


Figura 07 – Gráfico de Geração de Energia Elétrica Mundial por fonte (%). Fonte: EPE (2016).

Também conhecidas como energias "sujas", as energias não renováveis geram sérios danos ao meio ambiente e consequentemente à sociedade, pois as emissões oriundas dos processos de utilização de petróleo e seus derivados, gás natural e carvão mineral, produzem grandes quantidas de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre e hidrocarbonetos. Esses gases causam vários tipos de impactos ambientais, como poluição das cidades, chuvas ácidas e aumento do efeito estufa (AGENEAL, 2013).

3.2 Fontes Energéticas Renováveis

Diversificar as fontes produtoras de enegia de um país é reduzir a sua dependência do consumo de combustíveis fósseis e garantir às populações a oferta continuada independente de agentes externos ou internacionais. Segundo Coelho (2005), dessa forma não se fica tão vulnerável às ocilações dos preços do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores.

Nesse contexto, o governo Federal lançou em 2004 o decreto nº 5.025 instituindo o PROINFA – Programa de Incentivoàs Fontes Alternativas de Energia Elétrica, com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por fontes renováveis como a Eólica, Biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's. O PROINFA alavancou os empreendimentos através de incentivos de financiamentos e redução de impostos federais, e garante a compra da energia produzida, na tentativa de que as energias renováveis tenham condições de serem competitivas em relação às fontes tradicionais. A geração fotovoltaica não foi incluída no programa (DUTRA e SZKLO, 2008).

3.2.1 Energia Hidráulica

A água é o recurso natural mais abundante na terra. Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (AEEB, 2002), o volume estimado é de 1,36 bilhões de quilômetros cúbicos (Km³), cobrindo 2/3 da superfície do planeta em forma de oceanos, rios, lagos e calotas polares. Historicamente, a energia proveniente da força das águas foi utilizada para gerar trabalho útil, como bombeamento de água ou moagem de grãos (REIS e SILVEIRA, 2012). A água é uma das poucas fontes de energia que geram pouca ou quase nenhuma emissão de

gases de efeito estufa, no entanto ela não é isenta de impactos socioambientais na implantação de seu projeto.

O uso de recursos hídricos para geração de energia elétrica é privilégio de poucos países, pois um conjunto de fatores devem ser levados em consideração, como as condições geográficas e a disponibilidade dos mananciais (CARVALHO e NETO, 2012). Para Bortoleto (2001), a energia hidráulica provém da condensação, precipitação e evaporação das águas, fatores causados pela irradiação solar e pela energia gravitacional.

Para a produção de energia hidrelétrica é utilizado o aproveitamento do fluxo das águas em uma usina, na qual as obras civis são tão importantes quanto os equipamentos instalados (AEEB, 2002). Como pode ser verificado na Figura 08, o modelo esquemático simples de uma usina hidrelétrica apresenta o fluxo da água por uma tubulação de adução até a casa de máquinas, onde a força da água movimenta uma turbina de reação de um gerador de energia elétrica (CARVALHO e NETO, 2012). As principais variáveis na classificação de uma usina hidrelétrica são a altura da queda d'água, vazão, capacidade instalada, a localização, o tipo de turbina empregada, o tipo de barragem e as dimensões do reservatório.

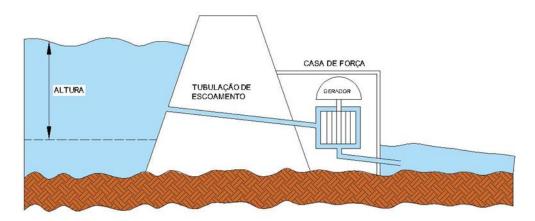


Figura 08 – Modelo de uma Usina Hidrelétrica de altura Média a Alta. Fonte: REIS (2012).

As construções de grandes reservatórios no país vêm sendo acompanhadas de grandes preocupações em relação às consequências do impacto ambiental e social desses projetos. Segundo o PCER (2012), se dividem em dois tipos de impactos, sendo eles ambientais e sociais:

- Ambientais: desvios de cursos de águas; alterações de ladeiras; preparação de barragens; criação de grandes infraestruturas; perturbação de ecossistemas aquáticos.
 - Sociais: deslocamento de pessoas na fase de implantação.

Nesse contexto, a geração de energia hidroelétrica em pequena escala tem um papel importante em âmbito regional e local. Com o intuito de diminuir os impactos ambientais, existe uma tendência de construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's. De acordo com lei federal 9.648 (BRASIL, 1998) e com a Resolução 612/03 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2003), as PCH's são empreendimentos que utilizam a energia hidráulica oriunda de cursos d'água para geração de eletricidade, com potência entre 1 a 30 MW, cuja área alagada não ultrapasse 3 km².

Tiago Filho *et al.* (2011), destacam a análise das políticas de PCH's brasileiras no cenário de forte apelo social, no que diz respeito à criação de empregos e geração de renda, além do baixo custo, do curto tempo de implantação do projeto e do baixo nível de impactos ambientais. A política governamental prevê uma série de benefícios para estimular as instalações dessas centrais.

Segundo Falcão (2011), estão autorizados benefícios como descontos nos encargos de uso do sistema de transmissão e distribuição e isenção da compensação financeira, pelo uso da água para geração de energia. Smith (2007), salienta a tendência de queda no custo da energia provinda de fontes alternativas, devido aos incentivos governamentais e disseminação das tecnologias.

O Brasil ocupa uma posição importante no cenário mundial na utilização dessas fontes de energia, devido ao potencial hídrico do país e ações estratégicas adotadas ao longo dos governos para implementação de construções de grandes usinas no país. A participação da energia produzida a partir dos recursos hídricos na matriz energética nacional é da ordem de 61,3% oriundas de Usinas Hidrelétricas e 3,5% oriundas de Pequenas Centrais Hidrelétricas, em relação a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil no ano de 2015, gerando cerca de 90.842 MW (AEEE, 2016).

3.2.2 Energia de Biomassa

A Biomassa é toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, que captura a energia solar e converte em energia química. A partir dessa matéria podem ser gerados: eletricidade, combustível e calor. De acordo com AEEB (2002), qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa.

A biomassa pode ser também compreendida, de acordo com Coelho (2005), como o conjunto de materiais oriundos de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que podem ser utilizados para produção de energia. A utilização dessa biomassa como combustível pode ser feita a partir de sua forma bruta, como madeira, resíduos agrícolas, resíduos florestais, resíduos pecuários, excrementos de animais e lixo (DECICINO, 2007).

Através da bioenergia, produção de energia a partir da biomassa, é possível se produzir energia elétrica e biocombustíveis. Sua origem pode ser agrícola, florestal ou de rejeitos urbanos e industriais. Os derivados obtidos dependem do tipo de matéria-prima e do processo industrial de obtenção. Dentre os principais, destacam-se o biodiesel, o etanol, e os rejeitos (florestal, agrícola, urbano e industrial) incineráveis em usinas ou fábricas.

As tecnologias de aproveitamento da biomassa podem ser feitas através da combustão direta, através ou não de processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte, dentre outros. Como também por processos termoquímicos, como a gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação, e ainda por processos biológicos, como digestão anaeróbia e fermentação (AEEB, 2002). A Figura 09 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energia.



Figura 09 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa. Fonte: Elaborado a partir do MEE (1982).

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2016, a geração elétrica no Brasil em centrais do serviço público e autoprodutores atingiu 590,5 TWh em 2014, resultado 3,4% maior que em 2013. A biomassa teve participação de 7,3% na matriz energética do Brasil, o que corresponde a uma produção de 43,10 TWh.

Essa matriz energética se torna uma área fundamental de investimento. Atualmente, a biomassa é tratada como uma alternativa energética de vanguarda. As tecnologias de conversão de biomassa em energia estão em fase de maturidade técnica para que sejam economicamente viáveis e competitivas. Este trabalho foca na geração de energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, as tecnologias que foram investigadas são as que tratam deste tipo de biomassa pelo processo de incineração.

O processo de incineração tem sido uma alternativa crescente de tratamento de RSU em vários países da Europa, nos EUA e no Japão. Já conta com tecnologia estabelecida, com constantes aprimoramentos com relação à eficiência de queima e controle de emissões de poluentes. É uma excelente alternativa para cidades que não apresentam locais para disposição final de resíduos.

3.2.3 Energia Solar Fotovoltaica

Conforme ANEEL (2005), quase todas as fontes de energia, incluindo a hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar. Segundo o Atlas Solarimétrico do Ceará (2010), o potencial solar disponível no mundo é da ordem de milhares de vezes maior que o consumo mundial de eletricidade. A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica e para geração de potência elétrica.

A energia do sol pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica (GAZOLI e VILLALVA, 2012). Na geração fotovoltaica, a radiação solar incide sobre materiais semicondutores e é transformada diretamente em corrente contínua, e para transformar em corrente alternada são utilizados inversores (SILVA, 2015).

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia cujo uso mais cresce em todo o mundo. Os sistemas elétricos de energia solar fotovoltaicos podem atender consideravelmente as demandas de eletricidade em populações isoladas e distantes de sistemas de distribuição convencionais. Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com a forma como é feita a geração da energia elétrica, sendo eles isolados ou conectados à rede da concessionária (BLUE-SOL, 2010). No primeiro caso, os sistemas

isolados são capazes de abastecer cargas distantes das redes convencionais (BENEDITO e ZILES, 2012), conforme esquema da Figura 10.



Figura 10 – Sistema Fotovoltaico Isolado. Fonte: http://www.sunlab.com.br/Paineis_solares_caracteristicas.htm (2017).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, Figura 11, fornecem energia para as redes de distribuição que agem como uma carga absorvendo a energia. Os sistemas conectados à rede, também chamados de on-grid, geralmente não utilizam sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de serem mais baratos (BLUE-SOL, 2010).

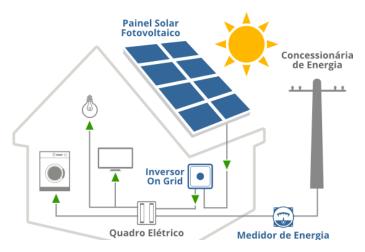


Figura 11 – Sistema Interligado com a Concessionária. Fonte: http://solarenergy.com.br/saiba-como-funciona-a-energia-solar/ (2017).

O Brasil está situado numa região que favorece elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional devido à proximidade com a linha do equador, o que causa pouca variação da incidência dos raios solares ao longo do ano. Segundo Pereira *et al.* (2006), a menor irradiação global no Brasil é de 4,25 KWh/m² (no litoral norte de Santa Catarina) e a maior é de 6,5 KWh/m² (no norte da Bahia), bem mais elevadas que os valores máximos estimados em países vanguardistas na produção de energia nessa modalidade, como a Alemanha, França e Espanha.

Segundo dados da ANEEL (2014), o Brasil contava com 289 usinas do tipo Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV) outorgadas, responsáveis por gerar 18.990,15 KW de potência outorgada, cerca de 0,01% de participação na matriz energética nacional. A perspectiva favorável para o uso da radiação solar como fonte de geração de energia no Brasil deve superar desafios, principalmente no aspecto de políticas públicas e desenvolvimento de novas tecnologias, no entanto, não foi agraciada na participação do projeto PROINFA.

3.2.4 Energia Eólica

A energia eólica ou energia dos ventos é utilizada pela humanidade há muito tempo, seja no transporte ou no acionamento de mecanismos (GAZOLI E VILLALVA, 2012). Para Camargo (2005), a Energia Eólica vem se destacando como uma das principais fontes alternativas de geração de energia elétrica. A causa disto é sua tecnologia difundida em relação às demais, sendo que a sua expansão é explicada pela necessidade global de diversificação da matriz de energética a fim de torná-la mais limpa, diminuindo os problemas ambientais (RAMPINELLI G. A. e ROSA JUNIOR, C. G, 2012).

A utilização da energia eólica para geração de eletricidade comercial iniciou nos anos de 1980 com aerogeradores de 50 a 100 KW (GOLDEMBERG E PALEETA, 2012). Com o desenvolvimento tecnológico e o aporte financeiro com o intuito de diversificar a matriz energética, novos aerogeradores foram desenvolvidos com capacidades de geração de energia bem superiores, com potências comercialmente disponíveis de até 6 MW, com rotores de mais de 120 m de diâmetro (MTPE, 2010). A Figura 12 representa a evolução na potência em relação ao tamanho dos aerogeradores comerciais.

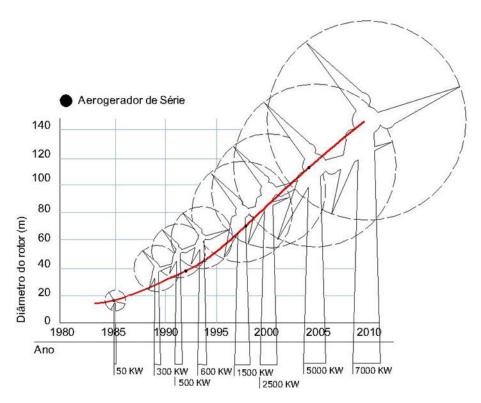


Figura 12 – Diagrama de evolução na potência e no tamanho de aerogeradores comerciais. Fonte: Adaptado de GOLDEMBERG E PALEETA (2012).

O potencial eólico disponível e utilizável de uma região é dado pela transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica, pelo giro das pás do rotor e, consecutivamente, em energia elétrica pelo acionamento do gerador de energia. É condicionado pela avaliação do comportamento dos ventos, levando em consideração as variáveis de velocidade e frequência (MELO, 2010). Os aerogeradores de pequeno porte são comumente utilizados para aplicações de geração de energia isolada, no entanto, tecnologias já estão sendo difundidas para que o pequeno produtor possa participar com geração distribuída para a concessionária local.

A participação da energia produzida a partir dos recursos eólicos na matriz energética nacional alcançou 21.626 GWh em 2015, equivalente a um aumento de 77,1% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 12.210 GWh, superando, assim, a geração nuclear (MME, 2016). Em 2015, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 56%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu 2.745 MW, alcançando 7.633 MW ao final de 2015 (MME, 2016).

Esse crescimento extraordinário na geração de energia a partir de fontes eólicas se deu em grande parte pela implantação do PROINFA, um programa de estímulo à produção de energia através de fontes alternativas. O projeto é gerenciado pela ELETROBRAS, que tem a garantia de contratação por 20 anos das empresas produtoras de energia eólica, hidrelétrica e biomassa. Os sistemas eólicos atualmente já são competitivos com outras fontes convencionais em vários países no mundo, devido à disseminação tecnológica ocorrida nas últimas décadas.

3.2.5 Outras Fontes de Energias Renováveis

Alguns outros tipos de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis são:

- Geotérmica: a geração geotérmica consiste na produção de eletricidade por meio de turbinas a vapor acionadas com o aproveitamento do calor oriundo do centro da terra (CARVALHO E NETO, 2012).
- Energia Solar-Térmica: A geração de energia solar térmica ou heliotérmica, ou ainda Concentrated Solar Power (CSP) é baseada na transformação da energia térmica de alta temperatura do sol na superfície terrestre em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica (KALOGIROU, 2009). As centrais heliotérmicas fazem uso da radiação solar para geração de energia, com os mesmos princípios técnicos de uma usina termoelétrica convencional (BURATTINI, 2008).
- Biogás:O biogás é produzido através da digestão anaeróbia de matéria orgânica.
 Quando a digestão anaeróbia é realizada em biodigestores especialmente planejados,
 a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível, o qual tem alto poder calorífico (PECORA, 2006).
- Oceânica: As marés ocorrem em todas as regiões costeiras. Em determinados locais, a variação da maré pode gerar correntes com grandes velocidades, que contém grandes quantidades de energia. Segundo Walisewicz (2008), essa energia é gerada a partir do potencial energético contido no fluxo das marés.
- Sistemas híbridos: Os sistemas híbridos utilizam duas ou mais formas de geração de energia.

3.3 Geotecnologias aplicadas à análise de Fontes de Energias Renováveis

As Geotecnologias podem ser descritas como as tecnologias que envolvem a informática na organização de informações espaciais, ou seja, a análise de um determinado recorte espacial com coordenadas geográficas conhecidas (FAVRIN, 2009). Com o uso das ferramentas de Geotecnologias é possível agregar diversas informações sobre um componente espacial conhecido, facilitando a tomada de decisão de diversas atividades.

Para Matias (2001), o termo geotecnologias é um conjunto de aparatos tecnológicos, relacionados à computação, aliados aos conhecimentos científicos que lhes são necessários para realizar a aquisição, o tratamento e a produção de informações de forma georreferenciada. Dentre as ferramentas de Geotecnologias, se destacam o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Digital, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Os primeiros mapeamentos realizados no Brasil com o auxílio de Geotecnologias foram na década de 1960, com o levantamento aplicando técnicas de Aerofotogrametria, fotografias aéreas, realizado pela Força Aérea Norte-Americana, com produtos na escala 1:60.000 (BACANI, 2010). Na década de 1970 foi desenvolvido o Projeto RADAMBRASIL, que utilizou imagens de radar, com técnicas de Sensoriamento Remoto e trabalhos feitos em campo para gerar mapeamentos na escala 1:1.000.000 (BURGOS, 2009). A partir desses trabalhos iniciais e com o desenvolvimento tecnológico, novos trabalhos de mapeamento em escalas maiores e com maior nível de detalhamento foram surgindo.

No estado do Ceará destacam-se trabalhos técnicos e publicações da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e o Instituto de Pesquisa Estratégica e Econômica do Ceará (IPECE), que continuamente desenvolvem mapeamentos temáticos de levantamentos de recursos naturais e geopolíticos.

Atualmente, existem vários projetos que utilizam geotecnologias a partir do domínio das energias renováveis. Muitos deles têm um caráter setorial para a resolução de problemas de localização ou para avaliação de recursos para fontes específicas. As Geotecnologias têm se firmado como uma importante ferramenta neste campo, para análise de estudos de implantação de parques eólicos, energia fotovoltaica, biomassa e identificação de possibilidades de geração hidrelétrica, dentre outras aplicações.

As fontes de energias renováveis têm algumas "qualidades geográficas" especiais para o seu tratamento com Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O poder dessas

ferramentas é mostrado na sua incorporação a partir da análise geográfica para o planejamento estratégico de novas instalações e na simulação de cenários de oferta e demanda, com diferentes possibilidades tecnológicas de satisfação. No entanto, para as energias renováveis, as abordagens são realizadas fundamentalmente a partir de um ponto de vista energético. Este ponto de vista envolve, por exemplo, o uso de variáveis, tais como: instalações de infraestrutura, topografia, os recursos, a demanda, além da caracterização geoambiental, considerando a integração da região e seus habitantes (AMADOR e DOMÍNGUEZ, 2007).

Segundo Tasri (2014) em seus estudos, para determinar a melhor fonte de energia renovável, uma base de dados com informações sólidas de categorias como econômica, política, social e ambiental devem ser especializadas para verificar a viabilidade dos impactos ambientais desse tipo de projeto na Indonésia.

Amador e Domínguez (2007), utilizaram em suas pesquisas geotecnologias para realizar uma proposta metodológica com o objetivo de analisar as principais qualidades e problemas dessas aplicações na prospecção de energias renováveis, do ponto de vista de suporte a tomada de decisões, geração distribuída de eletricidade e geração descentralizada para o meio rural em vários países da Europa e Estados Unidos da América.

Burgi (2013) avaliou em seus estudos o potencial para a tecnologia CSP no Brasil combinando uma análise com base em sistemas de informação geográfica (SIG) com simulação de plantas CSP virtuais, onde diversos critérios de aptidão de áreas à instalação de plantas CSP são adotados, como radiação solar adequada, áreas de proteção ambiental, entre outros.

Em pesquisas para utilização de SIG para caracterização da biomassa energética na ilha do Marajó-PA para fins de atendimento às comunidades isoladas, Miranda *et al* (2016) elaboraram bancos de dados com variáveis socioeconômicas e características ambientais da ilha, que fossem capazes de subsidiar a implantação de futuros estudos em energias renováveis.

A seguir são apresentadas as principais ferramentas de Geotecnologias utilizadas nesta pesquisa, levando em consideração as incontáveis aplicações que podem ter dentro do processo de espacialização de informações sobre Energias Renováveis.Logo, a utilização de geotecnologias é uma ferramenta atuante para explorar as informações disponíveis e extrair os dados de interesse, interpretando-os com eficiência e redução de tempo e custos (COSTA, 2005).

3.3.1 Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global

Conforme Avery e Berlin (1992), o Sensoriamento Remoto é uma técnica para obter informações sobre objetos através de coletas de dados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos em estudo. A geração de imagens através de sensoriamento remoto se dá pela captura por sensores orbitais da refleção da radiação dos raios solares nos objetos na superfície terrestre. Essa resposta em forma de energia emitida é também denominada de Radiação Eletromagnética – REM (MORAES, 2002).

Os sensores orbitais que capturam a radiação eletromagnética, são satélites que compõem o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Eles são projetados de tal forma que em qualquer lugar do mundo seja possível a visualização de uma porção da superfície terrestre em ciclos de rotação na órbita do planeta, como pode ser visto na Figura 13, que representa os sensores orbitais coletando dados de posicionamento global. Segundo Monico (2000), o sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, baseado em satélites artificiais NAVSTAR – GPS em órbita a cerca de 20.200 km da Terra, além de um conjunto de estações fixas espalhadas pela superfície terrestre.

Apesar do sistema GPS ter sido desenvolvido para fins militares, o uso foi estendido para a comunidade civil, e com grande aplicabilidade na área de engenharia ambiental e civil. O sistema pode ser utilizado sob qualquer condição meteorológica.

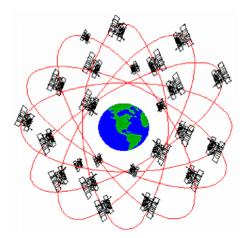


Figura 13 – Estrutura das órbitas dos satélites NAVSTAR/GPS. Fonte: Adaptado de TRAGUETA (2008).

A Radiação Eletromagnética (REM), captada pelos satélites que compõe o Sistema de Posicionamento Global, não precisa de meio material para propagar-se e define-se como uma

energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz - 300.000 km/s (BERNARDO, 2013). Existem duas propriedades inerentes às ondas eletromagnéticas: o comprimento da onda e a frequência da radiação. O comprimento da onda e a frequência são inversamente proporcionais (JENSEN, 2009).

A Radiação Eletromagnética pode ser agrupada em função da frequência e do tamanho do comprimento de onda dos elementos analisados, sendo possível dispor essas informações no chamado espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético representa todos os comprimentos de ondas conhecidos, desde raios gama até ondas de rádio (NOVO, 2008), como pode ser observado na Figura 14.

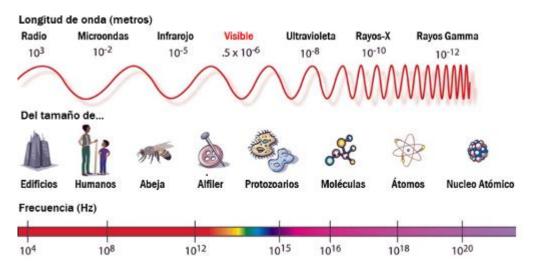


Figura 14 – Espectro eletromagnético: diversos comprimento de onda. Fonte: Adaptado de NOVO (2008).

O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, conhecido também como assinatura espectral do objeto (MORAES, 2002). Cada objeto tem uma resposta espectral diferenciada, podendo agrupar essas informações com um valor numérico, convertendo em imagem e formando uma matriz de *pixels*, que são unidades de visualização. A identificação de determinados elementos na imagem é feita por associar cada um de seus *pixels* a uma classe previamente estabelecida (FITZ, 2008). Os elementos básicos de leitura que auxiliam no processo de identificação na imagem são: tonalidade e cor; forma e tamanho; padrão; textura; associação e sombra (ANTUNES, 2011).

Quando é mapeada uma grande área, o conjunto de *pixels* traduz uma feição da superfície do solo, o resultado é um mapa temático, mostrando a distribuição geográfica de

um tema. Portanto, uma imagem de sensoriamento remoto classificada é uma forma de mapa digital temático (CRÓSTA, 1992).

As imagens de sensoriamento remoto são utilizadas como fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, etc. (BELUCO, 2002). Para monitoramento de grandes áreas em escalas locais e globais, o uso dessas imagens tem se mostrado viável do ponto de vista econômico, pois as gerações de imagens são periódicas e possibilita realizar o monitoramento ambiental de forma rápida, eficiente e cíclica, como pode ser visto na Figura 15, na aplicação de geotecnologias para subsídio ao desenvolvimento do Plano Diretor da Cidade de Natal-RN.



Figura 15 – Plano Diretor da Cidade de Natal - RN. Fonte: FAVRIN (2009).

3.3.2 Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas

Segundo JOLY (1990), a cartografia é a arte de conceber, de levantar, redigir e divulgar os mapas. A cartografia nunca foi uma ciência em fins próprios, ela sempre foi uma ferramenta aplicável em várias áreas da ciência. Para Borges (2013), a cartografia pode ser definida de diversas formas, considerando-a como técnica, como ciência, ou até mesmo como arte, ou como um conjunto que envolve técnica, ciência e arte.

Com o avanço da computação gráfica, a cartografia experimentou o efeito do surgimento de tecnologias que possibilitaram novas maneiras de representar e tratar as informações espaciais. A cartografia digital revolucionou os processos cartográficos do ponto de vista a facilitar a análise da dinâmica e fisionomia do espaço geográfico, com auxílio de programas de computador para confecção de mapas.

Para Andrade e Carneiro (2009), a Cartografia considera os mapas como forma de comunicação de dados e como instrumento de visualização científica. Os cartógrafos a classificam em duas abordagens. Na primeira, a Cartografia Sistemática trata da elaboração de cartografia de base, ou seja, do levantamento do mapa geral, enfatizando a localização espacial de elementos, como os de natureza planimétrica e altimétrica (BORGES, 2013). Na segunda abordagem, a Cartografia Temática, trata da parte da cartografia que diz respeito ao planejamento, execução e impressão de mapas sobre um fundo básico, ao qual serão anexadas informações através de simbologia adequada, visando atender as necessidades de um público específico (DUARTE, 2002). A cartografia temática traz significados além da trilogia latitude, longitude e altitude (SANN, 2005).

Na cartografia, a integração de tecnologias digitais possibilitou o emprego de mapas digitais, com manipulação, análise e exibição de informações de diferenciados temas em análise. Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tiveram um grande avanço nas últimas duas décadas, sendo usados para diversos fins. Para Röhm (2003), os SIG são sequências ordenadas de operações, desenvolvidas para auxiliar o usuário nas tarefas de observar, coletar, armazenar e analisar dados, com a finalidade de dar apoio aos processos de decisões.

De acordo com Longley *et al* (2013), um Sistema de Informações Geográficas é uma ferramenta para representar o espaço e os fenômenos que nele ocorrem. Segundo Câmara (2005), o termo sistemas de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. A principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos. A arquitetura proposta para um SIG por Câmara *et al* (2005), apresenta três níveis de camadas, conforme pode ser verificado na Figura 16.

O usuário de um SIG se comunica com o sistema através da interface, nesta se define como controlar e acessar os dados. A camada intermediária é subdividida em três partes: entrada e integração de dados – onde os dados são captados e convertidos em informação; consulta e análise espacial, - onde são desenvolvidas as análises espaciais; e visualização e

plotagem – onde são verificadas as características do produto final e impressões. O terceiro nível é o armazenamento dos dados geográficos, onde existe um repositório capaz de armazenar os dados com referência a um determinado local.

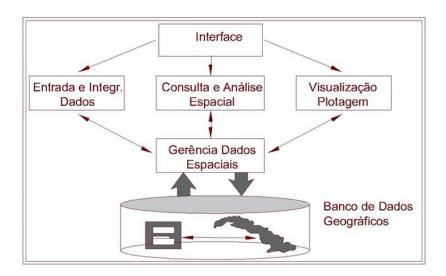


Figura16 – Arquitetura de sistema de informação geográfica. Fonte: CÂMARA *et al* (2005).

O banco de dados geográficos é parte essencial de um SIG, ele serve de repositório de informações geográficas organizadas, preparado para armazenar, consultar e manipular informações (STRASSBERG *et al*, 2011). Com essa capacidade de gerenciar informações de locais conhecidos, os SIG's podem ser utilizados em muitas aplicações: Planejamento e Gestão Urbana e Regional, Meio Ambiente, Infraestrutura, Agricultura, Segurança, Transportes, Educação e Marketing. Estas aplicações ilustram a diversidade de soluções do SIG e suas características mais comuns (ZEILER, 1999).

De acordo com Silva (2006), as feições do mundo real podem ser representadas em diversas camadas de dados relacionados, divididos em dois grupos: o primeiro trata das características geofísicas de um local e o segundo descreve qualitativa ou quantitativamente tais características. Esta definição está expressa na Figura 17, que apresenta parte do mundo real e as camadas representativas para cada tipo de informação: tipo de solo, topografia, ruas e distritos. Em cada camada está atrelada um conjunto de informações em um banco de dados.

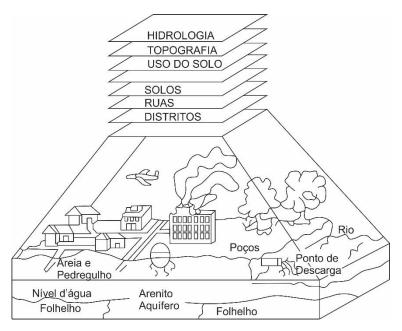


Figura 17 – Esquema de um sistema de informações geográficas. Fonte: Rohm (2003).

Em um SIG, os dados gráficos são os modelos digitais do mundo real. A representação digital dessas informações no mapa pode ser dividida em duas formas: vetorial e matricial. Segundo Röhm (2003), estrutura vetorial representa os dados localizacionais através de pontos, linhas e polígonos, segundo um sistema de coordenadas; enquanto que a matricial, divide o objeto de estudo em elementos que compõem uma grade regular. Estes elementos são denominados de celdas, células ou *pixels* (contração de *picture elements*). A Figura 18 representa as formas vetoriais e matriciais de representação de um SIG.

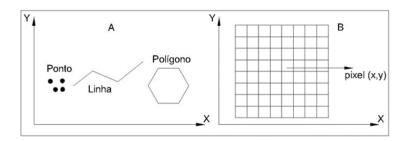


Figura 18 – Elementos da representação vetorial (A) e matricial (B). Fonte: NETO (2011).

Na representação tipo vetorial, os limites das feições são definidos por uma série de pontos que se agrupam formando linhas ou polígonos (SCHUCH, 2006). Desta forma os objetos reais são representados como pontos, linhas, áreas ou polígonos. Para Neto (2011), as estruturas vetoriais são mais orientadas para o gerenciamento de banco de dados, pois são

mais eficientes já que armazenam apenas os dados dos limites das feições e não os que estejam no interior dos limites.

Na representação do tipo matricial, a área analisada é dividida em uma malha de pixels que representam uma feição real com aspectos qualitativos e quantitativos. Para Schuch (2006), estruturas matriciais têm maior poder analítico na análise de espaço contínuo do que as estruturas vetoriais e são mais aptas para o estudo de dados que variam continuamente no espaço, como o relevo e temperatura. Quando se utiliza as duas formas de representação, tanto vetor quanto matricial, facilita a interpretação e análise de variáveis para o gerenciamento do espaço analisado.

A vantagem de utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é que eles podem manipular dados gráficos e não-gráficos de forma integrada, produzindo informações georreferenciadas com rapidez e precisão, aplicadas ao gerenciamento e à tomada de decisão (GALLIS, 2002). Nesse contexto, também pode viabilizar a democratização de informações técnicas, permitindo à população, de modo efetivo, participar da gestão do espaço urbano ou rural (LOBÃO, 1996).

4 FUNDAMENTAÇÃO OU QUADRO TEÓRICO: VISÃO DE MUNDO SUBJACENTE À FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.

O uso dos recursos energéticos oriundos de combustíveis fósseis aliados as ações antrópicas são os principais atores nas mudanças climáticas. São muitos os fatores de caráter econômico, político e ambiental que justificam a necessidade de se investir em fontes alternativas de geração de energia. A produção de energia a partir de fontes renováveis se mostra como uma excelente estratégia para os países que pretendem diversificar as matrizes energéticas e diminuir a dependência do petróleo.

Segundo Maroubo (2013), alguns fatores são importantes para o desenvolvimento de projetos de energias renováveis, dentre eles: a elevada demanda de energia no setor de transportes frente à proximidade do esgotamento dos combustíveis fósseis; a existência de disputas comerciais e geopolíticas acerca da exploração das fontes de combustíveis; a oscilação de seu valor de mercado e a emissão de gases intensificadores do efeito estufa originados através da queima deste tipo de combustível, agravando o processo de

aquecimento global. Logo, alternativas de energias limpas devem ser desenvolvidas para mitigar esses problemas.

A demanda por energia cresceu consideravelmente nos últimos anos, devido ao aumento do consumo pelas atividades industriais e domésticas. Isso acarretou o aumento do preço dos combustíveis fósseis, no entanto, as fontes deste tipo de combustível tendem a diminuir. Dessa forma se torna atrativa a produção de energia através de fontes renováveis. As energias "limpas" são muito relevantes, mas apresentam inconvenientes importantes como a descontinuidade da geração, pois a maioria dessas fontes depende do clima da região.

Dessa forma, muitos pesquisadores têm estudado o desenvolvimento de tecnologias para a produção de energia que não utilizem petróleo, carvão ou seus derivados. Com o crescimento deste mercado, as pesquisas devem se concentrar sobre a eficiência na produção de energias renováveis, ou seja, escolhendo com critérios a melhor forma de gerar energia nos locais mais apropriados.

A produção de energia eólica é uma das mais promissoras dentre as fontes de energias renováveis, pois existem muitos locais no mundo onde parques podem ser instalados. A energia produzida pelo sol é utilizada em várias partes do mundo. A energia solar ativa é baseada na conversão da radiação solar em painéis fotovoltaicos e células solares para converter a radiação solar em energia.

As formas de utilizar a água para produção de energia são muito diversificadas, podese gerar energia através da utilização da força gravitacional da queda ou água corrente, e pela energia dos oceanos, que se refere, principalmente, à energia transportada por ondas do mar e marés. Bioenergia é a energia renovável disponível a partir de materiais derivados de fontes biológicas. As principais fontes produzidas pela bioenergia são a biomassa, o gás metano, o etanol e o biodiesel (BAÑOS, 2014).

Na última década, os compromissos assumidos pelos governos para promover a diversificação da matriz energética e independência dos combustíveis fósseis, vem criando novos instrumentais de legislação para promover projetos de energias renováveis. Vários avanços foram notados nos EUA, União Européia e em alguns países em desenvolvimento como o Brasil (DÍAZ, 2013). No Brasil, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi criado no início dos anos 2000 com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). O governo garante a compra da energia produzida por essas modalidades.

As técnicas computacionais envolvendo geotecnologias para otimização de projetos a partir de fontes de energias renováveis são apresentadas para definir alternativas nas tomadas de decisões para implantação de parques de geração. Para a escolha da melhor opção de energia renovável é preciso conhecer a disponibilidade de recursos energéticos potenciais em uma determinada região (TASRI, 2014).

Diante disso, este trabalho se justifica pela necessidade de se compreender os aspectos e as variáveis que influenciam significativamente o processo de determinação da capacidade de geração de energia a partir de fontes alternativas. Neste trabalho, pretende-se utilizar essas ferramentas para identificar os locais com maior potencial de geração, sem competir com terras agricultáveis, áreas de preservação ambiental, espelhos d'água, levando em consideração a proximidade de infraestruturas necessárias para dispor a energia gerada na concessionária pública.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O local escolhido para estudo foi a sede do Município de Morada Nova, um local afastado do litoral, onde os estudos para implantação de projetos de energias renováveis não são muito difundidos, com características físicas e de infraestrutura bem parecidas com as demais cidades do interior do estado do Ceará. Outros fatores de motivação da escolha deste município se devem também ao fato da disponibilidade de dados cartográficos e socioeconômicos disponibilizados pelas secretarias e autarquias estaduais, como também pelas publicações técnicas recentes sobre mapeamento solarimétrico e eólico do Nordeste.

Localizado na porção centro-leste do Estado do Ceará, fazendo parte da região do Baixo Jaguaribe, a 6º06'24" de latitude sul e a 38º22'21" de longitude a oeste de Greenwich. O município distancia-se 152 Km do centro de Fortaleza em linha reta, e possui aproximadamente 2.779,23km² de extensão territorial (IPECE, 2016), cujos limites correspondem ao Norte com Russas, Beberibe, Cascavel, Ocara, ao Sul com Jaguaretama, Jaguaribara, Alto Santo, São João do Jaguaribe, a Leste com São João do Jaguaribe, Tabuleiro

do Norte, Limoeiro do Norte, Russas e a Oeste com Ocara, Ibaretama, Quixadá, Ibicuitinga, Banabuiú, conforme a Figura 19.

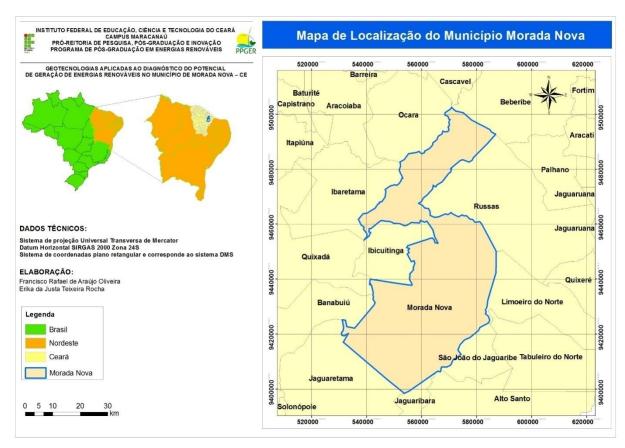


Figura 19 – Mapa do município de Morada Nova-CE. Fonte: Autor (2017).

Como características ambientais relevantes, destaca-se o clima tropical quente semiárido, com pluviosidade média anual de 742,5 mm e temperatura média anual entre 26° a 28°. Apresenta uma bacia hidrográfica formada pelos rios Banabuiú, Baixo Jaguaribe e Metropolitana, sendo essas bacias responsáveis pelo abastecimento urbano e dos distritos, como também do sistema de irrigação que fornece a água necessária para as atividades agrícolas locais.

Morada Nova caracteriza-se pela sazonalidade de sua precipitação e por elevadas temperaturas o ano todo. Sua localização territorial e latitudinal próxima ao Equador favorece intensa insolação por longos períodos, proporcionando elevadas temperaturas com fracas amplitudes térmicas.

Com base em dados de estimativa de população divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Morada Nova possui 61.722 habitantes, dos quais 57,04% habitam o perímetro urbano, sendo 10.658 domicílios particulares habitados na área urbana

(IPECE, 2016). De acordo com o censo demográfico realizado em 2010, o município possuía cerca de 18.051 domicílios particulares servidos com energia elétrica e 10.200 domicílios com lixo coletado (IPECE, 2016), a Tabela 03 mostra a evolução da prestação desses serviços nas últimas décadas.

Tabela 03 – Domicílios particulares permanente segundo energia elétrica e lixo coletado – 2000/2010.

Discriminação	Município			Estado				
Discriminação	2000	(%)	2010	(%)	2000	(%)	2010	(%)
Total	15367	100%	18225	100%	1757888	100%	2365276	100%
Com energia elétrica	12349	80,36%	18051	99,05%	1568648	89,23%	2340224	98,94%
Com lixo coletado	5475	35,63%	10200	55,97%	1081790	61,54%	1781993	75,34%

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) – 2000/2010.

Em 2015 o consumo energético do município foi de 70.731 MWh, caracterizado principalmente pelo consumo rural e residencial (IPECE, 2016). O município não produz energia e é abastecido pela concessionária de energia do estado chamada Empresa de Energia Elétrica do Ceará – ENEL. As características dos padrões de consumo e consumidores são apresentadas na Tabela 04. Analisando a tabela é possível estimar que os consumidores residenciais tiveram um consumo individual médio no ano de 2015 de aproximadamente 100,92 KWh mensais.

Tabela 04 – Consumo e consumidores de energia elétrica - 2015.

Classes de Consumo	Consumo	(MWh)	Consumidores		
Total	70731	100%	26113	100%	
Residencial	19083	27%	15758	60%	
Industrial	16323	23%	63	0%	
Comercial	5029	7%	1014	4%	
Rural	21331	30%	8863	34%	
Público	8887	13%	413	2%	
Próprio	77	0%	2	0%	

Fonte: Companhia Energética do Ceará (COELCE) - IPECE 2016.

Apresenta-se na Figura 20 a localização da área de estudo no contexto do município de Morada Nova, no Estado do Ceará, e em detalhe maior, na sequência, é apresentada a área foco deste estudo, compreendendo o entorno da subestação de energia elétrica situada no município.

Para se definir o objeto de estudo, foi estabelecido o recorte espacial compreendendo a área ao entorno da subestação da ENEL na sede do município, com um raio de 10 km, totalizando 314,16 km² de área. A escolha valorizou, sobretudo, as áreas de maior influência (direta ou indireta) da subestação, pois deve-se levar em consideração os custos de implantação de linhas de transmissão para ligação das unidades produtoras de energia na concessionária local.

A restrição a este limite como "área de estudo" não significou uma redução nas escalas de análise e no entendimento do diagnóstico do levantamento do potencial de energias renováveis no município, mas esta área dentro do que foi planejado desenvolver, se mostrou atrativa sob o ponto de vista estratégico, devido a viabilidade técnica e financeira de interligação da energia produzida com as linhas de transmissão até o receptor local do Sistema Interligado Nacional (SIN).

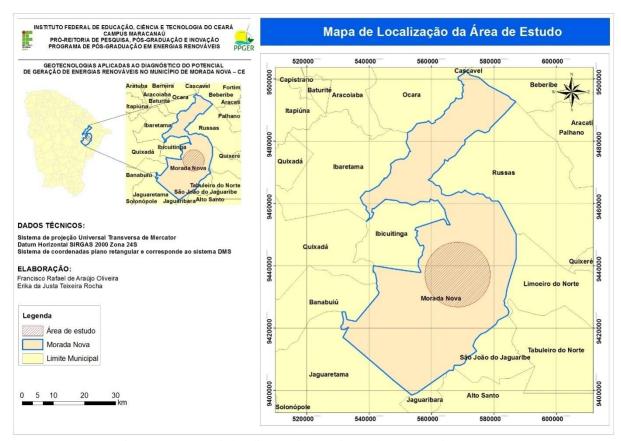


Figura 20 – Mapa de localização da área de estudo em Morada Nova-CE. Fonte: Autor (2017).

De acordo com Santos (2004), a área de estudo deve levar em consideração a complexidade local, a abrangência dos problemas atuais na área, a questão das escalas necessárias para se avaliar estes problemas e o tamanho das unidades territoriais disponíveis.

Para Fonseca (2008), o desenvolvimento de um trabalho usando geotecnologias, deve ter como pressupostos no desenvolvimento da pesquisa os seguintes itens: a questão da disponibilidade dos dados, o tempo de tratamento dos mesmos, facilidades em sua obtenção e, sobretudo, a qualidade dos mesmos para a realização de um trabalho que leve à produção de algo concreto, factível e passível de utilização dentro da perspectiva do planejamento.

A elaboração do Banco de Dados Geográficos que subsidiou o levantamento do potencial de energias renováveis no município de Morada Nova — CE, foi composto pelo mapeamento da área de estudo por imagens de sensoriamento remoto, e a respectiva classificação dos usos da cobertura do solo, por informações cadastrais de infraestrutura de linhas de transmissão e subestações de energia, por modelos digitais de terreno para gerar mapas de altimetria, de atlas solarimétricos e eólicos da região, além de informações do perfil básico municipal sobre a produção de resíduos sólidos urbanos, número de habitantes, número de residência no perímetro urbano, etc.

Inicialmente realizou-se um levantamento bilbiográfico referente a trabalhos ligados ao tema pesquisado. Além dos trabalhos aplicados buscou-se selecionar trabalhos científicos para o embasamento teórico metodológico. Utilizaram-se imagens do satélite CBERS 4 PAN, disponibilizados na base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram selecionadas imagens de boa qualidade, recentes, para que fosse possível mapear os espelhos d'água e as diferentes classes de cobertura da terra.

As imagens utilizadas fazem parte do Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), uma parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial, cujo objetivo é a implantação de um sistema completo de sensoriamento remoto de nível internacional.

Além das imagens CBERS, também foi utilizado o Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de estudo, para a análise das condições topográficas da região. O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados na plataforma do INPE.As imagens foram processadas no software QGIS. A escolha desse software se deu pelo motivo de ser um programa de Sistema de Informação Geográfica com código aberto e licenciado sob a Licença Pública Geral (GNU).

Foi realizada a classificação supervisionada da imagem para identificação do tipo de cobertura do solo com o software ArcGIS, usando licença da versão educacional. Foram identificadas as amostras espectrais dos alvos a serem mapeados, no caso, as classes de uso

posteriormente foi gerada a classificação. As imagens escolhidas levaram em consideração a melhor forma de visualização dos elementos para um mapeamento o mais próximo do real, em especial dos espelhos d'água que variam sua área alagável com a sazonalidade hidrológica.

5.2 Levantamento de Dados

Os dados referentes ao potencial de geração de energia hidráulica foram obtidos através da análise do modelo digital do terreno e interpretação das curvas topográficas, para determinação das dimensões dos espelhos d'água e dos desníveis necessários para implantação de PCH's. De acordo com as dimensões dos espelhos d'água, foi feita uma triagem de quais poderiam ser aproveitados para o estudo. Uma PCH normalmente opera a fio d'água, ou seja, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água. Logo, em ocasiões de estiagem, a vazão disponível pode ser menor que o necessário para que as turbinas funcionem com capacidade plena. Em outras situações as vazões poderão ser maiores, ocasionando a passagem de água pelos vertedouros da barragem.

Para a coleta dos dados dos Resíduos Solídos Urbanos – RSU, para geração de energia a partir da incineração desta biomassa, foram consultadas informações sobre coleta de lixo urbano no Perfil Básico Municipal de Morada Nova (IPECE, 2016). Além desta referência também foram utilizadas as bases de dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em 2015 a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, publicou o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, que serviu de fonte para estimar a produção de RSU na área de estudo. Na Tabela 05 e na Figura 21, é possível verificar como se encontra a geração e coleta de RSU no Estado do Ceará, assim como a sua disposição final, evidenciando uma grande parcela de destinação inadequada para os RSU.

Tabela 05 – Geração e coleta de RSU no Estado do Ceará - 2015.

Geração e Coleta de RSU							
Populaç	ão Total	RSU Gerado	(t/dia)	(Kg/hal	b/dia)	RSU Coletad	lo (t/dia)
2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
8842791	8904459	9711	9809	0.86	0.86	7588	7678

Fonte: Pesquisa ABRELPE / IBGE (2015)

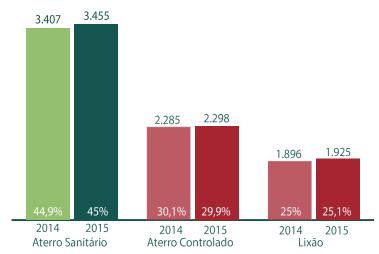


Figura 21 – Disposição final de RSU no Estado do Ceará (T/DIA). Fonte: Pesquisa ABRELPE / IBGE (2015)

Com base nas cartas do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), foi possível a análise da radiação solar incidente sobre o Ceará, por meio de mapas climatológicos que permitem identificar a distribuição espacial e avaliar a variação sazonal da disponibilidade de energia solar. A base de dados do Atlas Solarimétrico do Brasil resultou de simulações numéricas oriundas de imagens do satélite GOES-EAST no período entre 1995 e 2005, e dados climatológicos provenientes das diversas plataformas de coleta de dados distribuídas em todo o território brasileiro.

Os mapas apresentados no atlas são resultantes de simulações numéricas realizadas com o modelo atmosférico BRASIL-ST, que possui dentre suas variáveis, a radiação solar incidente na superfície, também conhecida como irradiância. A metodologia se mostrou satisfatória no mapeamento da energia solar incidente ao nível do solo para o Brasil.

A rede de Plataformas de Coleta de Dados (PCD) operada pelo CPTEC/INPE, com estações distribuídas por todo o território nacional, foi utilizada no processo de validação com o intuito de expandir sua abrangência temporal e espacial da base de dados de superfície e permitir uma avaliação mais completa da confiabilidade do modelo.

Todos os mapas a seguir apresentam os valores médios das estimativas do total diário de irradiação solar fornecidas pelo modelo detransferência radiativa BRASIL-SR para o período de julho de 1995 a dezembro de 2005, uma década completa de dados. Os mapas estão na resolução espacial de 10km x 10km. A radiação solar é profundamente afetada pelas variações climáticas ao longo do ano, por isso os mapas serão apresentados de forma agrupada em trimestres que possuem características semelhantes.

A Figura 22 apresenta a radiação solar global horizontal média anual para o Brasil. Já a Figura 23 apresenta a radiação solar global média sazonal para o Brasil.

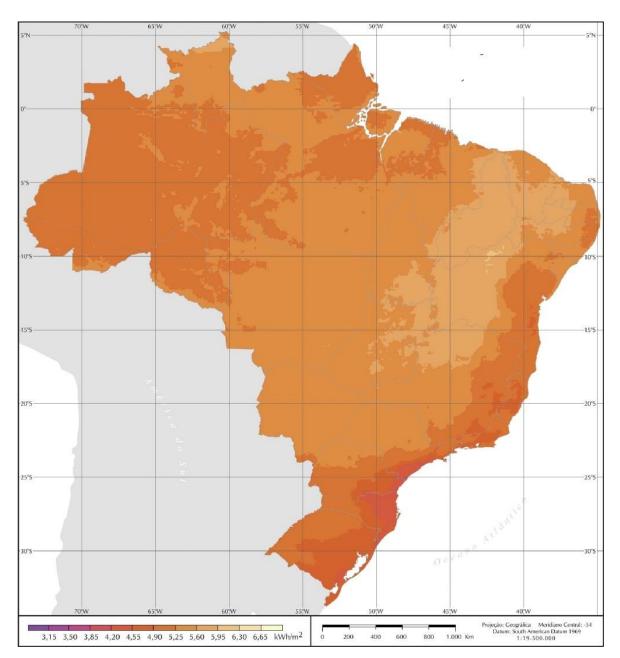


Figura 22 – Radiação solar global horizontal média anual para o Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006).

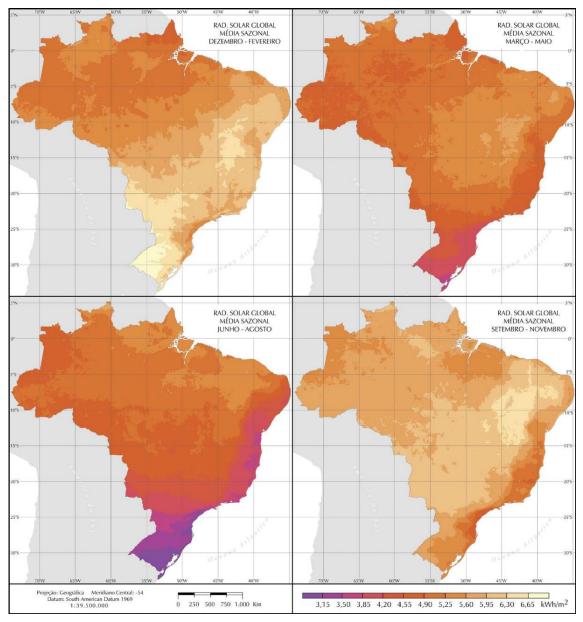


Figura 23 – Radiação solar global média sazonal para o Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006).

Os dados referentes às informações eólicas da região foram coletados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro publicado em 2001. Este atlas foi elaborado a partir de um software de modelamento numérico dos ventos de superfície, chamado MesoMap. Esse sistema simula a dinâmica atmosférica dos regimes de vento e variáveis meteorológicas correlatas a partir de amostragens representativas de um banco de dados validado. O sistema inclui condicionantes geográficas como relevo, rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera, incluídos os efeitos de vapor d'água (AMARANTE *et al*, 2001). Neste trabalho foi empregada uma base de dados do período compreendido entre 1983 e 1999.

Os mapas do Atlas do Potencial Eólico do Brasil foram elaborados utilizando o sistema MesoMap, onde foram aferidos os dados coletados em estações anemométricas de alta qualidade em uma grande variedade de regimes de vento. Dentre os dados geográficos de entrada, pode-se destacar: topografia, uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada. A geração dos mapas se deu a partir de simulações produzidas pelo MesoMap para 360 dias, extraídos de um período de 15 anos. As médias de velocidades dos ventos foram conseguidas a partir de tratamentos estatísticos, de forma a considerar cada mês e estação do ano de forma representativa.

Nas Figuras 24 e 25, é possível ver os mapas temáticos por escalas de cores, representando os regimes de vento e fluxos de potência eólica na altura de 50 metros para todo o país e em recorte para a região nordeste. O trabalho deste mapeamento mostra que existem extensas áreas com potencial promissor para o aproveitamento de geração de energia elétrica a partir dos ventos em todas as regiões do Brasil. Neste mapeamento é possível utilizá-lo na pré-identificação das melhores áreas para projetos de aproveitamentos eólio-elétricos.

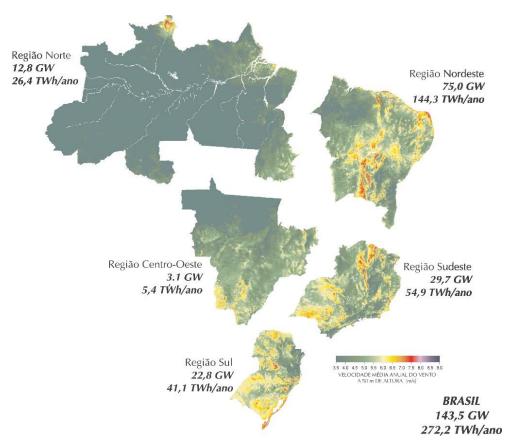


Figura 24 – Potencial Eólico do Brasil. Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2010).

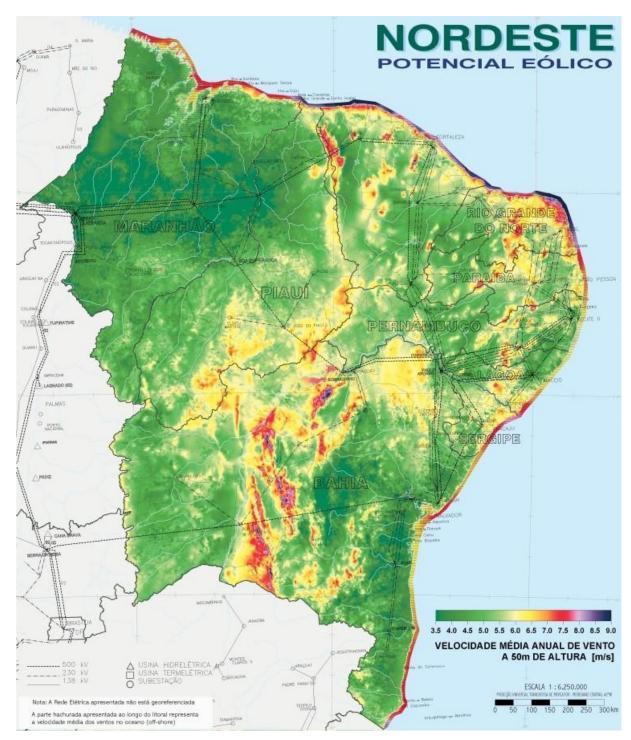


Figura 25 –Potencial Eólico do Nordeste Brasileiro. Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2010).

5.3 Conversão em eletricidade das fontes alternativas

Neste tópico foram detalhados os processos de conversão das fontes alternativas em energia elétrica, considerando as tecnologias atuais e as limitações geográficas da região.

5.3.1 Energia Hidráulica

Para os estudos energéticos de uma Pequena Central Hidrelétrica, é necessário determinar a potência aproveitável da região. Esse estudo tem como objetivo a avaliação das possibilidades de cada aproveitamento dos seus benefícios energéticos para o sistema de referência considerado, visando o pré-dimensionamento das principais características do sistema (Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas, 2007).

Para Krummenauer (2009), a viabilização do projeto de implantação de uma PCH, devem ser estudadas as características topográficas de desnível (queda natural) e hidrológicos de vazão disponível do curso d'água. O dimensionamento do potencial hidroenergético de um determinado local é em função da queda bruta e da disponibilidade hídrica, de acordo com a Equação 01 (ELETROBRÁS, 2000):

$$Pef = G * \mu * Q * H$$
 (Equação 01)

Onde temos:

Pef = potência efetiva, em KW;

 μ = rendimento do conjunto turbina-gerador;

G = aceleração gravitacional, 9,81m/s²;

Q = vazão volumétrica, em m³/s;

H = queda, em m;

Conforme Borges (2015), a incógnita (µ) para determinar a eficiência do conjunto turbina-gerador é a fração de energia total da fonte de energia primária (água), que é convertida em energia útil (potência do eixo do gerador). As principais causas de perda de energia na turbina são referentes ao atrito que existe entre os mancais das partes mecânicas e

das perdas hidráulicas da totalidade da água que não chegam nas turbinas. As turbinas atuais tem um rendimento na faixa de 85% a 99%, variando de acordo com a vazão do projeto e da potência gerada.

São apresentadas as principais turbinas existentes no mercado para PCH, conforme a classificação realizada por Borges (2015), de acordo com as alturas de quedas de operação, na Figuras 26 a 29:

- Turbina Kaplan: Operam entre quedas de 20m até 50m.



Figura 26 – Turbina Kaplan. Fonte: Zeco-Turbines- (BORGES, 2015).

- Turbina Francis: Operam entre quedas de 40m até 400m.



Figura 27 – Turbina Francis. Fonte: Fabricante Hacker - (BORGES, 2015).



- Turbina Pelton: Operam entre quedas de 350m até 1100m.

Figura 28 – Turbina Pelton. Fonte: Fabricante Hacker - (BORGES, 2015).

- Turbina Bulbo: Operam em quedas abaixo de 20m.



Figura 29 – Turbina Bulbo. Fonte: Fabricante Zeco - (BORGES, 2015).

Segundo Nahas (2010), a vazão (Q) do local deve ser calculada de acordo com os dados hidrometeorológicos da região. A queda bruta é o desnível da tomada de água até o conjunto motor-turbina que pode ser levantada pelas informações topográficas das curvas de nível. Para Albarello (2014), as PCH's são usualmente projetadas a fio d'água, logo a produção de energia depende do regime hidrológico da região e consequentemente poderá ser variável.

5.3.2 Energia de Biomassa

Para estimar a produção de energia a partir de incineração de RSU, foi determinada a geração *per capita* de resíduos por habitante em Kg.hab⁻¹dia⁻¹. Para se estimar a média é necessário levantar os dados relativos às quantidades de habitantes na área urbana e multiplicar pelos coeficientes de resíduos coletados, conforme metodologia de Junior *et al* (2014). A Equação 02 expressa a produção de RSU em massa gerado por dia.

$$M = N.H.*C.R.$$
 (Equação 02)

Onde temos:

M = geração de resíduos, em Kg;

N.H = número de habitantes;

C.R. = coeficiente de resíduo gerado por habitante por dia, em Kg.hab⁻¹dia⁻¹;

Na triagem dos RSU, foi levado em consideração sua composição gravimétrica de resíduos que podem ser separados para reciclagem. Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólido (MMA, 2012), a estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos recicláveis no Brasil, no ano de 2008, foi de 31,9%. Neste trabalho foi adotado um valor de 30% de matérias recicláveis para a quantidade de massa gerada de RSU/dia. A porção que servirá de geração de energia a partir de incineração de biomassa é formada teoricamente por resíduos orgânicos, materiais não recicláveis, entre outros.

O potencial de energia elétrica por meio da incineração dos RSU foi obtido com base em referências de produção de eletricidade por kWh/T de resíduos incinerados, conforme dados apresentados na Tabela 06 (KLAUS, 2014).

Tabela 06 – Taxa de produção de eletricidade por incineração segundo referências.

Fontes	Produção de eletricidade (kWh/T RSU)			
Puna e Baptista (2008)	0,587			
Tsai e Kuo (2010)	0,622			
Wang et al. (2009)	0,23			
EPE (2008)	0,450 - 0,700			
Kadir et al. (2013)	0,639			
Brogaardet; Riber; Chistensen (2013)	0,500 - 0,700			
Moraes Junior (2012)	0,348 - 0,426			

Fonte: Pesquisa KLAUS (2014)

Com a taxa de produtividade de energia foi possível calcular o potencial de energia produzida por meio da Equação 03. O valor da Taxa de produção de eletricidade por incineração adotado, será a média dos valores máximos e mínimos da Tabela 06.

$$E = Rx * Pi$$
 (Equação 03)

Onde temos:

E= Energia produzida, em KWh/dia;

Rx= Quantidade de lixo a ser incinerado, em T/ano;

Pi= Taxa de produção de eletricidade na incineração, em kWh/T de RSU.

5.3.3 Energia Solar

O cálculo da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos foi baseado no conhecimento das condições de insolação do local e das características dos módulos utilizados. Pelo método da insolação, é possível estimar a produção de energia com dados de insolação expressos em Wh/m²/dia, geralmente oriundos de medição de campo ou coletados de mapas solarimétricos (GAZOLI, VILLALVA, 2012). Neste método foi extraído o máximo possível de energia do Sol, no entanto, este processo sofre limitações pela eficiência dos módulos fotovoltaicos, assim como do correto posicionamento dos mesmos.

A energia produzida pelo módulo fotovoltaico é determinada pela Equação 04.

$$Ep = Es * Am * \eta m$$
 (Equação 04)

Onde temos:

Ep = energia produzida pelo módulo diariamente, em Wh;

Es= insolação diária, em Wh/m²/dia;

Am= área da superfície do módulo, em m²;

 ηm = eficiência do módulo.

Alguns fabricantes mencionam em suas folhas de dados a eficiência do módulo. Mesmo quando essas informações não são explícitas, é possível identificá-las a partir de suas características. A eficiência de conversão de energia de um módulo fotovoltaico pode ser calculada pela Equação 05.

$$\eta m = \frac{Pmax}{Am * 1000}$$
 (Equação 05)

Onde temos:

 ηm = eficiência do módulo.

Pmax = potência máxima de pico do módulo, em W;

Am= área da superfície do módulo, em m²;

5.3.4 Energia Eólica

Na determinação da potência de geração de energia de uma turbina eólica, foi estimada a velocidade do vento na altura que foi simulada a instalação da turbina, assim como a massa específica do ar nessa altitude. De acordo com Patel (1999), para o cálculo da densidade de potência é preciso calcular a correção do valor da massa específica do ar (ρ) , conforme a Equação 06.

$$\rho = \rho 0 - 1.194 * (10)^{-4} * Hm$$
 (Equação 06)

Onde temos:

 ρ = massa específica do ar corrigida, em kg/m³;

 $\rho 0$ = massa específica do ar ao nível do mar (1,225kg/m³);

Hm = Altitude do local, em metros.

A altitude local foi obtida através do estudo topográfico gerado pelo mapemaneto de caracterização da área de estudo, além de ser confrontado com a altitude do município informado pelo Perfil Básico Municipal.

Para determinação do potencial eólico, a medição da velocidade do vento é elevada ao cubo, levando em consideração a correção da massa específica do ar na altitude analisada, conforme a Equação 07 (PATEL, 1999).

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3$$
 (Equação 07)

Onde temos:

 $P = \text{potência do vento, em W/m}^2$;

ρ= massa específica do ar, em Kg/m³;

V = velocidade do vento, em m/s.

Os dados relativos a velocidade do vento foram coletados do Atlas Eólico do Brasil, que informa a velocidade do vento para todo o território nacional em altitudes de 50 m.

Para a conversão da potência do vento em potência máxima convertida em geração de energia, foi necessário conhecer a área varrida pela turbina eólica mais apropriada, de acordo com a Equação 08 (KRUMMENAUER, 2009).

Ptmax =
$$\frac{16}{27} * (\frac{1}{2} * \rho * A * V^3)$$
 (Equação 08)

Onde temos:

Ptmax = máxima potência convertida do vento por uma turbina ideal, em W;

 ρ = massa específica do ar, em Kg/m³);

A = área da seção transversal varrida pelo rotor da turbina, em m².

V = velocidade do vento, em m/s.

De acordo com a Equação 08, uma turbina eólica poderá converter no máximo 16/27 da potência do vento, ou seja, 59,3% dessa potência. Este valor é chamado de Coeficiente de Betz. Os dados relativos a área da seção transversal do rotor da turbina foram determinados de acordo com o equipamento ideal a ser instalado na altitude de 50 m na área de estudo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Capacidade de Geração a partir de Fontes Renováveis

De acordo com a análise da extensão territorial, foram verificadas as seguintes classes de coberturas do solo e suas respectivas áreas, como pode ser visto na Figura 30. Já a Figura 31 traz o mapeamento da área com a representação planialtimétrica do terreno, com base no MDT.

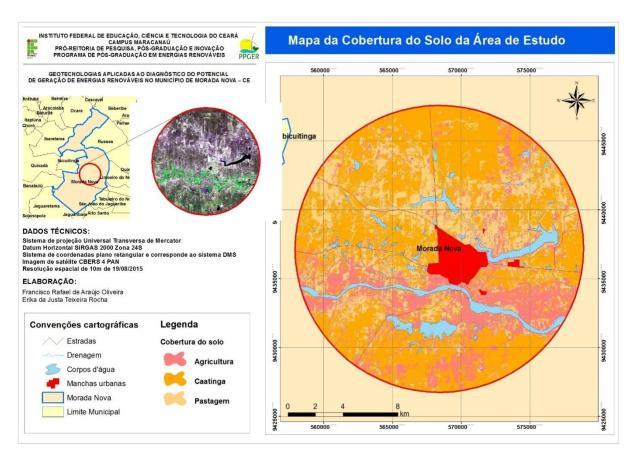


Figura 30 – Área de Estudo - Classificação da Cobertura do Solo. Fonte: Autor (2017).

A partir da espacialização das informações do uso do solo, foram escolhidos os locais com melhor potencial para geração de energia, levando em consideração fatores específicos como a não concorrência com as terras agricultáveis para a produção de alimentos, as áreas de espelhos d'água e de preservação permanente. Foram identificadas três classes de cobertura do solo, a agricultura, a caatinga arbustiva e arbórea e áreas de pastagem. Essas classes foram identificadas

nas imagens de satélite através de classificação supervisionada e posteriormente foram feitas chaves de interpretação em campo para a validação do mapeamento.

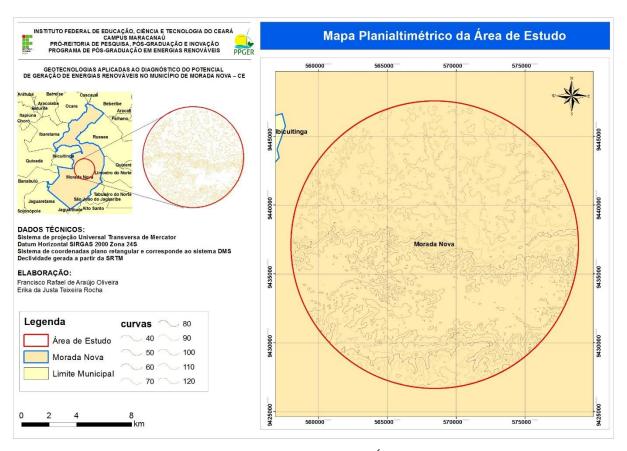


Figura 31 – Mapa Planialtimétrico da Área de Estudo. Fonte: Autor (2017).

6.1.1 Energia Hidráulica

No mapeamento dos espelhos d'água, foi possível identificar algumas barragens que se enquadram no conceito de PCH, ou seja, barragens com até 3 km² de área alagável. No entanto, as características climáticas e hidrológicas da região não permitem que exista um fluxo contínuo dos vertedouros ao longo do ano, pois o regime de chuvas se concentra em determinados períodos, caracterizando a intermitência dos cursos d'água.

A única barragem que apresenta a característica de perenidade ao longo do ano é o Açude Curral Velho, que é considerada uma Barragem de Transposição, pois recebe águas do eixão das águas, canal de transposição entre o açude Castanhão e a Região Metropolitana de Fortaleza e o Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Um canal de aproximadamente

667,4 m de extensão liga a captação na margem esquerda do Rio Banabuiú à Estação de Bombeamento Principal – EBP. Nessa estação, existem seis conjuntos de motobombas, que, através de duas adutoras de 1850 mm de diâmetro recalcam uma vazão de 14,00 m³/s até o 1º trecho do Canal Adutor I. A barragem eleva o nível d'água e regula o canal adutor II que conduz a água até o canal do trabalhador e aos perímetros irrigados do Tabuleiro de Russas (COUTINHO, 2015).

A Figura 32 apresenta o levantamento de todos os espelhos d'água da região, além dos rios perenes e intermitentes. A Tabela 07 informa a quantidade de reservatórios por tamanho de área alagável.

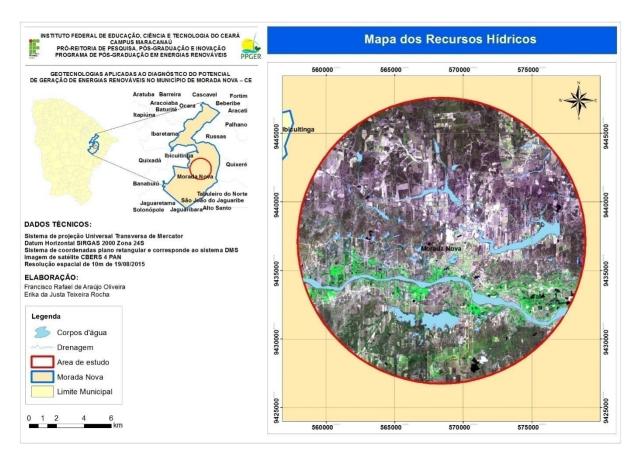


Figura 32 – Mapeamento dos Recursos Hídricos. Fonte: Autor (2017).

Tabela 07 – Classificação dos Reservatórios.

CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS POR ÁREA DO ESPELHO				
Até 1000,00 m²	41	89%		
Entre 1000,00 m² e 2000,00 m²	3	7%		
Entre 2000,00 m² e 3000,00 m²	2	4%		
Total	46	100%		

Fonte: Autor (2017).

No entanto, a estimativa de produção de energia de uma PCH no Açude Curral Velho é impossibilitada pelas características de uso da barragem, pois a mesma foi concebida com a função de regular a vazão da água que escoa pelos canais até a região metropolitana de Fortaleza. O desvio de vazão para alimentação de uma PCH concorreria com o abastecimento humano, que é uso prioritário estabelecido na Lei 9.433/97.

Para que a água retornasse aos canais de adução, o desnível da barragem para a tomada d'água é inexpressivo, o que impossibilita a instalação de uma turbina. Na Figura 33 é possível verificar que os canais d'água escoam por gravidade com uma declividade baixa, de aproximadamente 1cm a cada 1000 metros, impossibilitando a instalação de uma PCH.

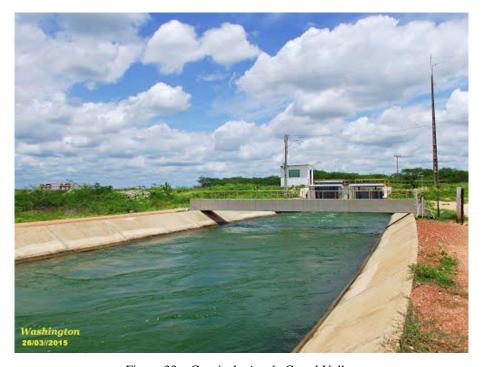


Figura 33 – Canais do Açude Curral Velho. Fonte: Washington Luiz – Google Earth (2015).

6.1.2 Energia de Biomassa

Na análise do mapeamento do uso do solo da região, foi verificado que dentro dos limites da área de estudo existe uma disposição irregular dos RSU gerados no município, ou seja, um "lixão" a céu aberto que é um potencial contaminante dos recursos naturais. Na figura 33 é possível identificar a localização do "lixão". A área utilizada para deposição é de aproximadamente 6,0 ha, onde se observa a presença de catadores de materiais recicláveis que

trabalham sem as condições mínimas de segurança sanitária, como pode ser visto na Figura 34.

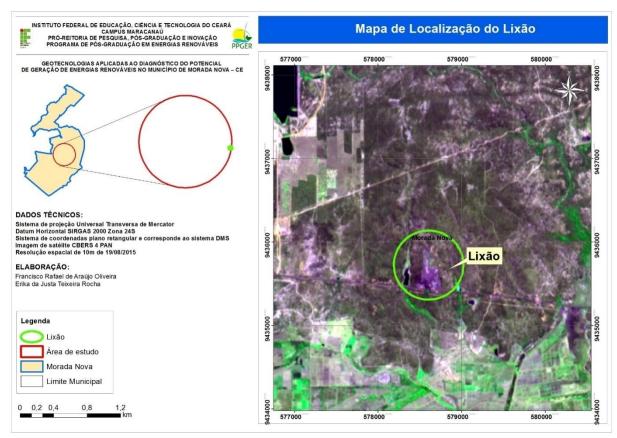


Figura 34 – Mapa de localização do "lixão". Fonte: Autor (2017).



Figura 35 – Catadores de lixo. Fonte: Autor (2017).

Para estimar o potencial de geração de RSU, foi necessário estimar a geração de resíduos por todos os habitantes do perímetro urbano do Município de Morada Nova. O número de habitantes residentes no perímetro urbano no ano de 2010 foi obtido no Perfil Básico Municipal de 2016, com o seguinte indicativo: 35.401 habitantes. Foi adotado o valor de geração de resíduo *per capita* de 0,862 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, este dado corresponde à média das estimativas levantadas pela ABRELPE (2015).

De posse dos dados de quantidade de habitantes no perímetro urbano na área de estudo e da produção de RSU *per capita*, se estimou com a Equação 02 a geração de resíduos sólidos de 11.138,22 toneladas por ano. Neste trabalho foi adotada uma taxa de 70% de aproveitamento dos resíduos gerados de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, ou seja, a quantidade de lixo incinerado (Rx) é a parcela de materiais orgânicos e não recicláveis, assim, esse valor foi 7.796,75 toneladas por ano.

De acordo com os dados da Tabela 06, foi determinada a taxa média dos valores de produção de eletricidade. O potencial de energia elétrica gerada pela incineração dos RSU foi 0,465 KWh/T. Com o valor da quantidade de lixo a ser incinerado (Rx) e os índices de produtividade de energia (Pi), calculou-se o potencial de energia produzida (E), por meio da Equação 03, apresentados na Tabela 08.

Tabela 08 – Potencial de energia de biomassa produzida pelo processo de incineração de Resíduos Sólidos Urbanos.

	PRODUÇÃO DE ENERGIA					
Otd de	RSU per	Produção diária de RSU	Porcentagem de RSU aproveitável	Produção anual de RSU	TAXA - 465 KWh/T	TAXA - 465 KWh/T
Hab	capita em Kg	em Toneladas	para incineração	em Toneladas	MWh/ano	MWh/mês
35401	0.862	30.52	70%	7796.75	3.63	0.30

Fonte: Autor (2017).

A estimativa da produção de energia a partir da biomassa de RSU por meio de incineração varia conforme a composição dos resíduos que é diferenciada entre as cidades no Brasil, portanto as bibliografias informam dados diferenciados. Neste trabalho, a estimativa da produção de energia foi de 3,63 MWh/ano.

6.1.3 Energia Solar

Para determinação do potencial de energia solar fotovoltaica disponível na área de estudo, foi simulada a utilização de dois tipos de módulos fotovoltaicos, sendo eles já difundidos comercialmente: Módulo Bosch M2403BB e Módulo LG LD135R9W. Pela Equação 05, foi calculada a eficiência de conversão de energia dos módulos fotovoltaicos, gerando as informações da Tabela 09. Neste trabalho utilizou-se a média de eficiência destes dois painéis de 14,17%.

Tabela 09 – Eficiência de conversão de energia dos módulos fotovoltaicos.

RENDIMENTO MÉDIO DA EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS				
Módulo Bosch M2403BB Módulo LG LD135R9W				
14,61% 13,72%				
14,17%				
Fonte: Autor (2017).				

Fonte: Autor (2017).

Pela análise do mapeamento do uso do solo da área de estudo, verificaram-se várias possibilidades de locais de geração de energia solar fotovoltaica na região. No entanto, a implantação de uma usina ou de micro-usinas poderia competir com as áreas agricultáveis e/ou de vegetação nativa, dessa forma optou-se por escolher a área das coberturas das edificações existentes.

Para determinar a área útil de painéis fotovoltaicos, levantou-se a quantidade de domicílios no Perfil Básico Municipal (2016) de 10.658 unidades, e estimou-se para cada unidade uma área de 10,00 m² de painel fotovoltaico no telhado, chegando a um valor de 106.580,00 m².

Neste modo de produção de energia, os painéis solares ficariam sobre os telhados das edificações, interligados à rede elétrica da concessionária pública por meio de tarifação feed in, onde o produtor individual consome e pode lançar o excesso de energia produzida na rede pública. Na Figura 36 é possível verificar as manchas urbanas onde foram simuladas as instalações dos painéis fotovoltaicos.

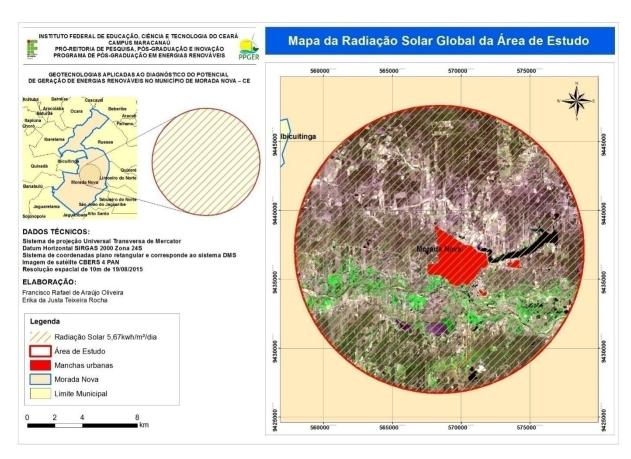


Figura 36 – Mapa de localização da área de produção de energia solar. Fonte: Autor (2017).

De posse dos dados da área disponível para os painéis fotovoltaicos de 106.580,00m² e da média anual de radição solar de 5,67 KWh/m²/dia, estimada no Mapa da Radiação Solar Global Horizontal Média Anual para o Brasil na Figura 22, é possível determinar a energia produzida diariamente pela Equação 04, detalhada na Tabela 10. A produção de energia varia conforme o tipo de rendimento do painel, neste estudo foi determinada uma média entre os rendimentos de dois painéis largamente utilizados no mercado.

Tabela 10 – Potencial de energia solar-fotovoltaica produzida.

ENERGIA PRODUZIDA MENSALMENTE								
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN		
Ep (MWh)	2477.43	2427.61	2441.19	2391.37	2391.37	2264.56		
Es Wh/m²/dia	5470.00	5360.00	5390.00	5280.00	5280.00	5000.00		
Am (m²)	106580.00	106580.00	106580.00	106580.00	106580.00	106580.00		
ηm (%)	14.17%	14.17%	14.17%	14.17%	14.17%	14.17%		

Fonte: Autor (2017).

Tabela 10 – Potencial de energia solar-fotovoltaica produzida (Continuação).

	ENERGIA PRODUZIDA MENSALMENTE									
JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA				
2414.02	2744.64	2780.88	2894.11	2894.11	2681.24	2566.88				
5330.00	6060.00	6140.00	6390.00	6390.00	5920.00	5667.50				
106580.00	106580.00	106580.00	106580.00	106580.00	106580.00	106580.00				
14.17%	14.17%	14.17%	14.17%	14.17%	14.17%	14.17%				

Fonte: Autor (2017).

6.1.4 Energia Eólica

Para a estimativa de energia potencial eólica foram levantados os locais com maiores potencialidades, levando em consideração a não utilização de terras agricultáveis do Perímetro Irrigado de Morada Nova nas margens do Rio Banabuiú, as áreas de preservação permanente e o afastamento das áreas urbanas para evitar os inconvenientes com o sombreamento e barulhos das turbinas dos aerogeradores, considerando um mínimo de 500 metros das áreas com maior concentração de unidades habitacionais. Desta forma, foi gerado o mapa de locação e implantação das torres eólicas, levando em consideração as recomendações de Amarante *et al* (Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001), que orientam a convenção de afastamento de pelo menos 5 vezes o diâmetro do rotor em relação a lateral e 10 vezes o diâmetro do rotor em relação a jusante. Neste trabalho, a matriz de locação das torres eólicas foi estrapolada para um afastamento de 1 Km, Figura 37, pois existe a possibilidade de implantação de rotores com maiores dimensões.

Os dados necessários para a estimativa são a velocidade dos ventos,obtida através do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), que corresponde a uma média anual de 5,4 m/s, e a altitude do local em relação ao nível do mar. Neste estudo, foram utilizadas a altitude da cidade, 89,0m conforme o Perfil Básico Municipal (2016) e análise da topografia da região. Foi necessário calcular a correção da massa específica do ar na altitude que foi simulada a instalação da turbina de geração (ρ) , este valor é 1,214 Kg/m³,obtido pela Equação 06. Na região a direção predominante do vento é de Leste-Oeste. De posse desses dados,foi calculado o potencial eólico de energia por área (P) pela Equação 07, estimando um valor de 95,61 W/m².

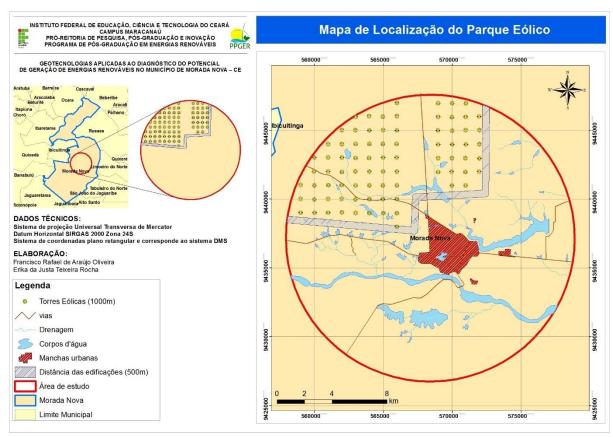


Figura 37 – Mapa de localização das turbinas de produção de energia eólica. Fonte: Autor (2017).

Neste estudo, o vento está sendo analisado na altitude de 50 m em relação ao nível do solo, para estimar a produção de energia foi escolhido um modelo de turbina adequado a geração nesta altitude. Seguem os dados da turbina na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados da turbina E-48 / 800 KW. TURBINA E-48 / 800 KW - WOBBEN WINDPOWER Potência nominal: 800 kW Diâmetro do rotor: 48 m 50 / 60 / 65 / 76 Altura do hub em metros: Zona de vento (DIBt): WZ III Classe de vento (IEC): IEC/NVN IIA Características do aerogerador: Sem engrenagem, rotação variável, controle individual das pás **ROTOR** Rotor a barlavento com controle do ângulo de passo das pás Tipo: ativo Direção da rotação: Horária 3 Número de pás: Área varrida: 1.810 m2 Velocidade: Variável, 16 - 31,5 rpm

Fonte: Wobben Windpower (2017).

Pela Equação 08 determinou-se a máxima potência convertida do vento pela turbina escolhida com utilização da velocidade média anual e implantação de 80 Turbinas na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Potencial de energia eólica produzida.

rabeia 12 - rotenetai de energia conca produzida.										
PRODUÇÃO DE ENERGIA										
JAN FEV MAR ABR MAI JUN										
Potência Produzida Mensalmente de 80 Aerogeradores (MWh)	6106.01	6106.01	2329.51	2329.51	2329.51	5712.20				
Potência Produzida Mensalmente (MWh)	76.33	76.33	29.12	29.12	29.12	71.40				
Pmax - Potência Máxima Convertida (W)	106007.10	106007.10	40442.93	40442.93	40442.93	99170.11				
ρ (Kg/m ³)	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214				
A (m²)	1810	1810	1810	1810	1810	1810				
V (m/s)	5.46	5.46	3.96	3.96	3.96	5.34				

PRODUÇÃO DE ENERGIA									
JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA			
5712.20	5712.20	12004.60	12004.60	12004.60	6106.01	5906.92			
71.40	71.40	150.06	150.06	150.06	76.33	73.84			
99170.11	99170.11	208413.26	208413.26	208413.26	106007.10	102550.63			
1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214			
1810	1810	1810	1810	1810	1810	1810			
5.34	5.34	6.84	6.84	6.84	5.46	5.4			

Fonte: Autor (2017).

6.2 Estimativa da Produção Anual de Energia

Com os dados levantados nos tópicos anteriores, foi possível estimar o potencial consolidado das fontes de energias renováveis para a produção anual de energia elétrica. Os resultados da produtividade de energia mensalmente estão na Tabela 13 e na Figura 38.

Tabela 13 –	Produção	de energia a	partir de	fontes	renováveis.

PRODUÇÃO DE ENERGIA								
	MENSAL- MWh							
JAN FEV MAR ABR MAI JUN								
Energia Hidráulica - PCH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Enegia de Biomassa	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
Energia Solar Fotovoltaica	2477.43	2427.61	2441.19	2391.37	2391.37	2264.56		
Energia Eólica	6106.01	6106.01	2329.51	2329.51	2329.51	5712.20		

MENSAL- MWh							ANUAL- MWh
JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA	ANOAL- WWII
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	3.63
2414.02	2744.64	2780.88	2894.11	2894.11	2681.24	2566.88	30802.53
5712.20	5712.20	12004.60	12004.60	12004.60	6106.01	5906.92	78456.97

Fonte: Autor (2017).

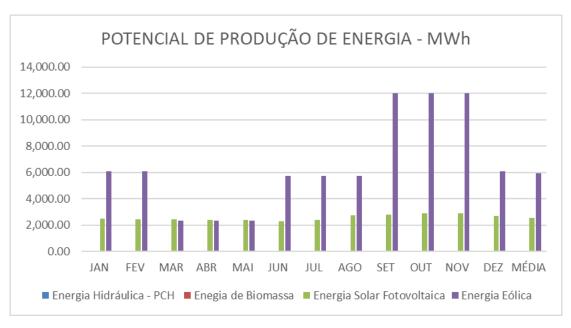


Figura 38 – Potencial de produção de energia a partir de fontes alternativas. Fonte: Autor (2017).

7 CONCLUSÕES

Dentro do seguimento de energias renováveis, o município apresenta grande potencialidade que pode ser explorada, inclusive podendo atender em totalidade o consumo interno. O potencial de produção anual de energia a partir de fontes alternativas na área de estudo é de 109.263,24 MWh ou 109,26 GWh. As fontes mais promissoras são as oriundas de fontes eólica e solar-fotovoltaica, representando 72% e 28% respectivamente.

A velocidade e a direção do vento possuem características bem favoráveis para a geração de energia eólica, visto que possui pouca variabilidade ao longo do ano. Analisando os dados referentes à produção de energia dentro dos limites da área de estudo, é possível implantar até 80 aerogeradores na altura de 50 m, sendo estes do modelo E-48 / 800 kW da *Wobben Windpower*, gerando uma produção anual de até 78.456 MWh ou 78,46 GWh.

A análise do estudo mostra como a energia solar pode ser aproveitada e contribuir para o desenvolvimento de um sistema de energia sustentável. As principais vantagens da energia solar são as reduções dos GEE's, da grande oferta deste recurso renovável devido a posição privilegiada da área de estudo em relação à linha do Equador e da utilização da área dos telhados das edificações já existentes. Essa fonte se mostrou muito promissora dentre as analisadas, com uma produtividade anual de 30.802MWh ou 30,80 GWh.

A incineração de RSU se mostra como uma das mais adequadas formas de produção de energia a partir de fontes de biomassa, pois a diminuição do volume de resíduos que seriam destinados em aterros sanitários é significativa. Aliado a isso, existem ganhos sociais como o fechamento dos "lixões" e a diminuição da degradação de grandes extensões de áreas, que além de causarem a desvalorização das mesmas geram problemas com a vizinhança e casos de saúde pública. A região tem o potencial de produzir 3,63 MWh de energia por ano, oriunda de processos de cogeração de energia elétrica.

A geração de energia a partir da fonte hidráulica se mostrou inviável pelas características de funcionamento do único espelho d'água que possui fluxo contínuo ao logo do ano, os dois canais que escoam a água da barragem não permitem a instalação de uma turbina, pois não há desnível suficiente e a geração de energia concorreria com o abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza.

A perspectiva para o uso energético de energias renováveis no Município de Morada Nova – CE é bastante satisfatória se levarmos em consideração a estimativa de geração anual apresentada nesta pesquisa de 109.263MWh, e de energia consumida por todos os setores no

ano de 2015 que foi de 70.731 MWh, poderá suprir até 100% do consumo municipal em todos os seguimentos de consumidores, em especial os consumidores residenciais, industriais e agrícolas, e ainda fornecer um excedente de 38.532 MWh para o Sistema Interligado Nacional.

O Ceará tem demonstrado um aumento anual na geração a partir de fontes "limpas", diminuindo assim a dependência do Sistema Interligado Nacional. O estado do Ceará busca ser autossuficiente em energia, tendo em vista que a garantia energética é fundamental para o sucesso econômico da região.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública, São Paulo - SP. 2015.

ADECE. (2017). **Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará**. Acesso em julho de 2017, disponível em:http://www.adece.ce.gov.br/index.php/energia

AEEB. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília - Brasil. 2002.

AGENEAL. (2013). Acesso em janeiro de 2013, disponível em http://ageneal.pt

AGUILAR, R. S.; OLIVEIRA, L. C. de S.; ARCANJO, G. L. F. Energia Renovável: Os ganhos e os impactos sociais, ambientais e econômicos nas indústrias Brasileiras. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2012. Bento Gonçalves, RS, outubro de 2012.

ALBARELLO, L. **Guia para implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's**. 2014. Trabalho de conclusão de curso de Pós-graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Panambi. 2014.

AMADOR, J.; DOMÍNGUEZ, J. (2007). **Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources**. ELSEVIER, Computers & Industrial Engineering 52 (2007) 322–326.

AMARANTE, O. A.; BROWER, M.; ZACK, J. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: MME, Eletrobrás, 2001.

ANDRADE, E. D. CARNEIRO, V., A. F. T., **A Elaboração de Documentos Cartográficos Sob a Ótica do Mapeamento Participativo.** Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 15, no,3. p.410-427, jul-set, 2009.

ANJOS, J. P.; ROCHA, G. O.; ANDRADE, J. B;. **Matriz energética e o binômio água vs. energia para o Brasil**. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 66, n. 4, Dec. 2014. Available from http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252014000400002&lng=en&nrm=iso. access on 17 Nov. 2015.

ANTUNES, A.F.B. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto em ambiente de geoprocessamento**. 2011. Apostila de SIG. UFPR. Geoprocessamento. Disponível em: http://people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2016.

AVERY, T.E.; BERLIN, G.L. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall. 1992.

BACANI, V. M. Geotecnologias aplicadas ao ordenamento físico-territorial da bacia do alto rio Coxim, MS. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia Humana do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

- BAÑOS, R. 2010. **Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review.** Department of Computer Architecture and Electronics, University of Almería, Almería, Spain. (EUA): Elsevier, 2010.
- BARROS, Evandro Vieira. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. In: Revista ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p. 47-56, jun./2007.
- BELUCO, A. Classificação de imagens de sensoriamento remoto baseada em textura por redes neurais. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia CEPSRM. Porto Alegre, RS. 2002.
- BENEDITO, Ricardo; ZILES, Roberto. **Panorama das Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica.** Série Energia e Sustentabilidade: Energias Renováveis. São Paulo: Blucher, 2012.
- BERMANN, C. **Crise ambiental e as energias renováveis**. Ciência Cultura, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 2029. Set. 2008. Available from. access on 03 Mar. 2017."
- BERNARDO, N. M. R. Análise de fragilidade ambiental com técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas aos municípios de Petrópolis e Teresópolis, Rio de Janeiro. Monografia Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina. Curso Superior de Engenharia Ambiental. Londrina, PR. 2002.
- BLUE-SOL. (2010). Acesso em março de 2017, Disponível em Empresa de Pesquisa Energética: http://www.bluesol.com.br/
- BORGES, M. M. Pequenas Centrais Hidrelétricas e o Programa de PCH's no Brasil. 2015. Trabalho de conclusão de curso graduação em Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo USP. São Carlos. 2015.
- BORGES, U. N. **Proposta de representação gráfica de dados da geodiversidade utilizando cartografia temática e tecnologias da geoinformação**. 194 f. 2013. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Marília-SP, 2006.
- BURATTINI, M. P. T. C. **Energia: uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- BURGI, A. S. Avaliação do potencial técnico de geração elétrica termossolar no Brasil a partir de modelagem em SIG e simulação de plantas virtuais. 157 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2013.
- BURGOS, D. C. Mapeamento geomorfológico aplicado a análise ambiental: estudo de caso Serra da Jaqueçaba e seu entorno (Espírito Santo Brasil). Monografia. Departamento de Geografia da Universidade Federal do Espírito do Santo, Espírito Santo, 2010.

- CÂMARA, G.; AGUIAR, Ana Paula Dutra de; ESCADA, Maria Isabel Sobral; AMARAL, Silvana; CARNEIRO, Tiago Garcia; MONTEIRO, Antônio Miguel; ARAÚJO, Roberto; VIEIRA, Ima Célia; BECKER, Bertha. **Amazon Deforestation Models.** Science, v. 307, p. 1043-1044, 2005.
- CAMARGO, A. S. G. Análise da operação das Usinas Eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná.2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), CEFET-PR, Curitiba. 2005.
- CARVALHO, P.C.M.D.; NETO, M.R. Geração de Energia Elétrica: fundamentos. São Paulo: Érika, 2012.
- COELHO, S.T. Biofuels Advantages and Trade Barriers Background Paper to the Expert Meeting for Sectoral Trade Review of Developing Country Participation in New and Dynamic Sectors Session on Biofuels Genebra, Fevereiro, 2005a.
- COSTA, D.P. de. Utilização de Geotecnologias na análise da transformação sócioespacial urbana da região serrana fluminense: o estudo de caso do distrito sede de Teresópolis. 186 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de PósGraduação em Geografia na área de concentração em Análise da Informação Espacial. Universidade Estadual Paulista, câmpus Rio Claro. São Paulo, 2005.
- COUTINHO, A. C. Análise das preferências dos irrigantes por sistema de cobrança pelo uso da água bruta: o caso do perímetro irrigado de Tabuleiro de Russas. Trabalho de conclusão de curso de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Cará UFC. Fortaleza. 2015.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.
- CUNHA, K. B. Mecanismos de desenvolvimento limpo: evolução do instrumento e suas perspectivas. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- DECICINO, R. (s.d). **Material orgânico pode ser combustível**. 2007. Disponível em: http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/biomassa-material-organico-pode-ser-combustivel.htm>. Acesso em 07 jan. 2017.
- DÍAZ, P. 2013. **Evolution of production and the efficient location of renewable energies**. The case of China. aDepartment of Asian and International Studies, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong S.A.R., China (EUA): Elsevier, 2013.
- DRUCKMAN, A.; JACKSON, T. The carbon footprint of UK households 1990–2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input-output model. Ecological Economics, v. 68, v. 7, p. 2066–2077, 2009.
- DUARTE, P. A. Fundamentos de Cartografia 2ed Florianópolis: UFSC, 208p, 2002.
- DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. (2008). Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Souces Incetive Program (PROINFA) under the new Brazilian electric power sector regulation. Renewable Energy, v. 33, n. 1, p. 65-76. 2008.

- ELETROBRÁS. Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas **PCH**. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Eletrobrás, Rio de Janeiro. 2000.
- EPE. (2016). Acesso em março de 2017, Disponível em Empresa de Pesquisa Energética: http://www.epe.gov.br/
- FALCÃO, M. (2011). **Crescem apostas nas PCH's.** Diário de Pernambuco, 11 de abril de 2011. Disponível em: http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/6345-crescem-as-apostas-nas-pchs. Acesso em: jan de 2017.
- FAVRIN, Vanessa Garcia. **As Geotecnologias como instrumento de Gestão Territorial Integrada e Participativa.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia Humana do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo SP: Oficina de Textos, 2008. p. 160.
- FONSECA, M. F. Geotecnologias aplicadas ao diagnóstico do uso da terra no entorno do Reservatório de Salto Grande, município de Americana (SP), como subsídio ao planejamento territorial. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.
- GALLIS, R. B. A. Integração de imagens vetoriais e matriciais na visualização dos levantamentos realizados com a unidade móvel de mapeamento digital. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, 2002.
- GAZOLI, J. R.; VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 1ºEdição. São Paulo: Érica, 2012.
- GOLDEMBERG, J. Energia no Brasil. Rio de Janeiro: LTC, 1979. 171p.
- GOLDEMBERG, J; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil.**Estudos avançados,São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7 20, Abril. 2007. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100003&lng=en&nrm=iso. access on 04 Mar. 2017.
- GOLDEMBERG, J; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7 20, Apr. 2007. Available from ">http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100003&lng=en&nrm=iso>">http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142007000100003.
- GOLDEMBERG, J; PALETTA, F.C. **Energias Renováveis**. Série Energia e Sustentabilidade. Editora Blucher. São Pulo-SP.
- IPCC, 2007. **The physical science basis. New York: Cambridge University Press**, 2007. 1009 p. ISBN 978-0521705967. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm >. Acesso em:01.05.2017.

IPECE, 2016. **Perfil Básico Municipal – Morada Nova**. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2016.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

JOLY, F. A Cartografia. Campinas: Papirus, 136p., 1990.

JUNIOR, C.L.; LIMA, J.P.R.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. **Potencial de aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil.** Pernambuco: Recife. Revista Brasileira de Geografia Física. 2014.

KAEHLER, José Wagner Maciel. Comentários relativos a proposta da ANEEL para modificação do manual para elaboração do regulamento anual de combate ao desperdício de energia elétrica das concessionárias. ANEEL, 2000.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. 1a ed. San Diego (EUA): Elsevier, 2009.

KLAUS, O. L. Potencial de aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos da mesorregião oeste do Paraná para geração de energia elétrica. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR, 2014.

KRUMMENAUER, L. Fontes Alternativas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica. 2009. Trabalho de conclusão de curso graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRG. Porto Alegre. 2009.

LOBÃO, S. M. F. Entrada de Fotografias Aéreas Coloridas de Médio Formato em SIG. Salvador. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Anais..., INPE, p. 707-710, 1996.

LONGLEY, GOODCHILD, MAGUIRE, RHIND: Geographic Information Systems and Science, London: Wiley, 3ed, 540p., 2013.

Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas. Ministério de Minas e Energias, CEPEL. Rio de Janeiro: E-papers, 2007.

MAROUBO, L. A. Estudo sobre a obtenção de biomassa microalgal como matéria-prima para a produção de biodiesel. 2013. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Londrina. 102 f. 2013.

MATIAS, L.F. Sistema de informações geográficas (SIG): teoria e método para representação do espaço geográfico. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2001. 313p.

MELO, Sérgio Carvalho de. **Metodologia de avaliação da atratividade para o estudo do potencial eólico.** Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, 2010.

- MIRANDA, P. R. N.; PINHO, J. T.; SOUZA, H. M. S. **Utilização de SIG para caracterização da biomassa na Ilha do Marajó-PA para fins de atendimento de comunidades isoladas**. Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade. Brasília, 2016. Disponível em: http://soac.unb.br/index.php/ENEEAmb/ENEEAmb2016/paper/viewFile/4918/1233. Acesso em: 30jun. 2017.
- MIURA, A. K. Identificação de áreas potenciais para cultivos destinados à produção de bioenergia com apoio de geotecnologias. 2012. 152 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/05.10.18.50-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BS8BU5. Acesso em: 03 mar. 2017.
- MMA. MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Agosto**. 2012. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao020222012041757.pdf. Acesso em: 06 mar., 2017.
- MME. Balanço Energético Nacional. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2016.
- MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.
- MORAES, E.C.de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Capítulo 1. DSR/INPE. 2002. Disponível em: . Acesso em: 07 jan. 2013.
- MTPE, 2010. Mapa Territorial de Parques Eólicos. Governo do Estado do Ceará. 2010.
- NAHAS, R. L. L. **PCH's Viabilidade e Inventário Hidrelétrico**. 2010. Trabalho de conclusão de curso graduação em Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo USP. São Carlos. 2010.
- Neto, E. M. L. Aplicação do sistema de informações geográficas para o inventário da arborização de ruas de Curitiba, PR. 194 f. 2013. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade de São Paulo. Botucatu-SP, 2008.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- OLIVEIRA, J. G. Perspectiva para cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucroalcooleiro paulista. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- PATEL, MUKUND R. Wind and Solar Power Systems. Copyrighted Material, 1999. 345 p.
- PCER, 2012. **Programa de Capacitação em Energias Renováveis.** Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe.
- Pecora, Vanessa. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a paritr do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP Estudo de caso. 2006.

- PENA, R. F. A. **Fontes não renováveis de energia.**Brasil Escola. 2012. Disponível em http://www.brasilescola.com/geografia/fontes-nao-renovaveis-energia.htm. Acesso em 04 de março de 2017.
- PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: INPE. 2006. Disponível em: http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf. Acesso em 14 de maio de 2014.
- RAMPINELLI G. A. e ROSA JUNIOR, C. G Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. 2012.
- REIS, B. R.; SILVEIRA, S. Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: EDUSP. 2012.
- ROCHA. L. S. da; COSTA, R. G. S. **As vantagens e desvantagens das energias renováveis e não renováveis**. 2014. p. 2. Disponível em http://www2.unigranrio.br/recursos/documentos/ICJr/12ICJr.pdf>. Acesso em 28.01.2015.
- RÖHM, S.A. **O que é Sistemas de informações geográficas**. Universidade Federal de São Carlos. Departamento de Engenharia Civil, 2003 (Apostila).
- SANN, J. G. O Papel da Cartografia Temática nas Pesquisas Ambientais. Revista do Departamento de Geografia. 16, 61-69, 2005.
- SANTOS, R.F. dos,. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.
- SCHUCH, M. I. S. Arborização Urbana: Uma contribuição à qualidade de vida com o uso de geotecnologias. Santa Maria, 101 f. Dissertação (Mestrado em Geomática), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.
- SILVA, M. A. S. da. **Mapas auto-organizáveis na análise exploratória de dados geoespaciais multivariados**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/03.25.16.40>. Acesso: 04 Mar. 2017.
- SILVA, M. S. **Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas.** 167 f. 2006. Dissertação (Mestrado) Programa de PósGraduação da Informação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2013.
- SILVA, Rutelly Marques da. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios.** Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa. 2015.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. Estudos avançados, São Paulo. 2013, vol.27, n.77, pp. 99-116. ISSN 0103-4014.
- SMITh, Rebecca. **A nova matemática da energia alternativa**. The Wall Street Journal. Nova York, 23 fev/2007. Disponível em: http://yaleglobal.yale.edu/diplay/article. Acesso em jan/2017.

STRASSBERG, G.; JONES, N. L.; & MAIDMENT, D. R. (2011). Arc Hydro Groundwater GIS for Hydrogeology (1 ed). Redlands, Califórnia, Estados Unidos da América: ESRI Press.

SUGUIO K. Mudanças Ambientais da Terra. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 336 p.

TASRI, A. 2014. Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia. Department of Mechanical Engineering, Andalas University, Indonesia. (EUA): Elsevier, 2014.

TIAGO FILHO, G. L. *et al.* (2011). **Analisys of Brazilian SHP policy and its scenario.** Energy Policy, v. 29, n. 8, p.641-651.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos estud. - CEBRAP, São Paulo, n. 79, p. 47 – 69, Nov. 2007. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso. Access on 02 Mar. 2017. http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003.

TRAGUETA, N. L. 2008. Implicações do uso de receptores GPS de navegação sem conhecimento de suas limitações e configurações básicas. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2011.

WALISIEWICZ, M. Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. Tradução Elviras Serapico. São Paulo. Publifolha, 2008.

WEIGMANN, Paulo Roberto. Um enfoque empreendedor e as implicações que o tema transversal e as práticas interdisciplinares afetam na conservação de energia no CEFET/SC. In.: Seminário Internacional de Metrologia Elétrica. Rio de Janeiro, 2002 apud BARROS, Evandro Vieira. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. In: Revista ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p. 47-56, jun./2007.

ZEILER, M. Modeling our World: the ESRI guide to geodatabase design. California: Environmental Systems Research Institute, Inc. 1999.