

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

KARLA ROSSINI GOMES SANTOS

**UM ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE  
INSTALAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO *OFFSHORE* NA REGIÃO  
NORTE DO ESPÍRITO SANTO**

SÃO MATEUS  
2015

KARLA ROSSINI GOMES SANTOS

**UM ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE  
INSTALAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO *OFFSHORE* NA REGIÃO  
NORTE DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Cardoso Celeste.

SÃO MATEUS  
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)

---

S237e Santos, Karla Rossini Gomes, 1983-  
Um estudo sobre a viabilidade técnico-financeira de  
instalação de um parque eólico *offshore* na região norte do  
Espírito Santo / Karla Rossini Gomes Santos. – 2015.  
130 f. : il.

Orientador: Wanderley Cardoso Celeste  
Coorientador: Gisele de Lorena Diniz Chaves  
Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal  
do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Parque eólico. 2. Recursos energéticos renováveis. 3.  
Energia do vento. 4. Turbina eólica. I. Celeste, Wanderley  
Cardoso. II. Chaves, Gisele de Lorena Diniz. III. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito  
Santo. IV. Título.

CDU: 620.9

---

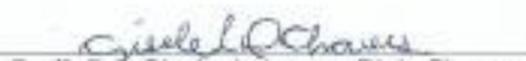
**UM ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA-  
FINANCEIRA DE INSTALAÇÃO DE UM PARQUE  
EÓLICO OFFSHORE NA REGIÃO NORTE DO  
ESPÍRITO SANTO**

**KARLA ROSSINI GOMES SANTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia, para obtenção do título de Mestre em Energia.

Aprovada: 26/08/2015.

  
Prof. Dr. Helder Roberto de Oliveira Rocha  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Externo

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele de Lorena Diniz Chaves  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinadora Interna

  
Prof. Dr. Wanderley Cardoso Celeste  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

*Quero dedicar meu trabalho, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa jornada; e a meus pais Benedicto e Maria, a minhas irmãs Elvirônica e Priscila que sempre me apoiaram. Eles também se dedicaram com paciência, incentivo, força e principalmente carinho. Valeu a pena todo o sofrimento, todas as renúncias... Valeu a pena esperar... Hoje estamos colhendo, juntos, os frutos do nosso empenho! Esta vitória é muito mais de vocês do que minha! Obrigada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, não somente nesses anos como mestranda, mas em todos os momentos. É o maior mestre que alguém pode conhecer.

Ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Energia, pelo ambiente criativo e amigável que proporciona. Ao corpo docente, à direção e à administração, que oportunizaram a janela pela qual hoje vislumbro um horizonte superior, cultivado pela acendrada confiança no mérito e na ética aqui presentes.

Ao professor Dr. Wanderley Cardoso Celeste, pela dedicação e compreensão.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido, sem o qual esta pesquisa não teria sido possível.

Aos amigos de longa e curta data, Eliseu e Oyama, pela ajuda diante de dúvidas, e aos amigos que não foram citados, mas que direta e indiretamente me apoiaram nesta tarefa.

A todos, manifesto minha intensa afeição.

*“Se você não sabe para qual porto está navegando, nenhum vento é favorável.”  
(Sêneca)*

## RESUMO

A geração de energia elétrica por meio da utilização da energia dos ventos tem avançado substancialmente na última década, o que explica as amplas iniciativas, especialmente no Brasil, apesar de ainda não se observar investimentos significativos no Estado do Espírito Santo (ES). A característica principal dessa forma de energia renovável é o fato de os ventos, ao longo da superfície terrestre, não apresentarem velocidade constante. Conseqüentemente, a turbina eólica opera com velocidade variável. Isso exige que o gerador, acoplado à turbina eólica, seja capaz de gerar energia elétrica com frequência constante numa certa faixa de variação de velocidade, tornando visível a necessidade de estudos para delinear a análise e a viabilidade desses empreendimentos, o que motivou a presente Dissertação, cujo objetivo é apresentar um estudo técnico simplificado aplicado sobre a região de Urussuquara, e uma análise financeira simples para uma demanda energética local, a fim de dar início à discussão sobre a viabilidade de instalação de parques eólicos *offshore* no ES. Além da viabilidade técnica e financeira, deve-se levar também em consideração o fato de que um parque eólico no Estado contribuiria para a ampliação e a diversificação da matriz energética capixaba, diminuindo assim a dependência de outros estados geradores de energia elétrica e de usinas termelétricas. O estudo de caso foi realizado para a Ilha de Urussuquara-ES, com o intuito de suprir a demanda energética apresentada pela cidade de São Mateus no ano de 2014 que foi de 170.590MWh. O resultado apresentado mostrou que seriam necessários sete aerogeradores de 6MW de potência para suprir tal demanda. Uma análise financeira simplificada baseada em *payback* mostrou que tal investimento se pagaria em cerca de 6 anos e 3 meses, o que equivale a uma fração do tempo de vida médio de um parque eólico, de modo que se pode concluir que tal empreendimento seria, de fato, viável, tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista financeiro.

**Palavras-chaves:** Parques eólicos *offshore*. Turbina eólica. Energia renovável. Energia dos ventos.

## ABSTRACT

The generation of electrical energy by using wind power has improved over the last decade, what explains wide enterprising, especially in Brazil, however it is not noticed a substantial investment in the state of Espírito Santo (ES). The main detail of this kind of renewal energy is the fact that the winds, along the terrestrial surface, do not have a constant speed. Consequently, the wind turbine works with unstable speed. It requires the generator among the wind turbine being able to generate electrical energy with stable frequency in a certain level of speed variation, making visible the need of studies to define the analyze and the viability of this enterprising, what motivated the present research, which the goal is to show a technical and simple study around the area of Urussuquara and a simple financial analyze about a local demanding for energy in order to start a discussion about the viability to install an offshore wind farm in the state of Espírito Santo. Besides the technical and financial viability, it is also necessary to consider the contribution of a wind park in the Espírito Santo by increasing and diversifying the energy of the state, decreasing by this way the dependence of thermoelectric plant and other states that generate electrical energy. The study was performed for Urussuquara Island – ES, seeking to supply the demand of energy performed by the city of São Mateus during 2014 which was 170.590MWh. The outcoming result showed that would be necessary seven windmills of 6MW of power to supply such need. A simplified financial analyze based in payback showed that such investment would be recovered within 6 years and 3 months, what compares to a part of lifetime of a wind farm, therefore it is possible to conclude such enterprising would be, indeed, affordable through the technical and financial view as well.

**Keywords:** Offshore wind farm. Wind turbine. Renewal energy. Wind energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demanda de energia em 2012.....	19
Figura 2 - Moinho eólico medieval.....	21
Figura 3 - Consumo e geração de energia elétrica no Estado do Espírito Santo em 2013 .....	23
Figura 4 - Funcionamento dos aerogeradores .....	30
Figura 5 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração de 2013-2023...31	
Figura 6 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar, circulação atmosférica.....	33
Figura 7 - Fluxos térmicos brisa marítima (painel esquerdo) e brisa terrestre (painel direito) .....	34
Figura 8 - Esquema dos diferentes efeitos de fatores locais .....	35
Figura 9 - Capacidade total instalada acumulada de energia eólica no Brasil entre 2005 e 2014 .....	36
Figura 10 - Capacidade anual de energia eólica instalada no mundo de 1996-2014	38
Figura 11 - Capacidade acumulada de energia eólica instalada no mundo de 1996 a 2014 .....	38
Figura 12 - Capacidade instalada anual por região 2006 – 2014.....	40
Figura 13 - Os dez países com maior capacidade de energia eólica instalada no ano de 2014 .....	43
Figura 14 - Os dez países com maior capacidade acumulada de energia eólica até dezembro 2014 .....	44
Figura 15 - Países membros e com chances de tornarem-se membros da OCDE...44	
Figura 16 - Previsão do mercado anual por região 2014-2019 .....	45
Figura 17 - Potencial eólico do Brasil .....	47
Figura 18 - Primeira turbina eólica do Brasil instalada em Fernando de Noronha ....48	
Figura 19 - Segunda turbina eólica de Fernando de Noronha .....	49
Figura 20 - Previsão da evolução da capacidade instalada no Brasil em (MW) de 2005-2018 .....	51
Figura 21 - Leilões de energia nova, compromisso de entrega até 2018.....	52
Figura 22 - Transporte de turbina exigiu grande operação .....	55
Figura 23 - Primeiro parque eólico <i>offshore</i> do mundo, em Vinderby na Dinamarca	56
Figura 24 - Parque eólico <i>offshore</i> de Kamisu após o <i>tsunami</i> .....	58
Figura 25 - Representação da localização do Estado do Espírito Santo e suas características geográficas .....	64
Figura 26 - Participação por setor do consumo de energia elétrica no ES em 2012 (GWh).....	65

Figura 27 - Mapas de precipitações médias anuais e sazonais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre 1946 e 1990 .....	67
Figura 28 - Mapas das temperaturas médias anuais e sazonais do INMET entre 1946 e 1990 .....	68
Figura 29 - Grandes escalas atmosféricas atuantes nos regimes de vento brasileiro e capixaba .....	70
Figura 30 - Regimes diurnos sazonais de vento no Estado do Espírito Santo .....	70
Figura 31 - Regime diurno anual medido nas estações de Praia das Neves e Urussuquara (velocidade média horária anual a 48 m de altura) .....	71
Figura 32 - Áreas de preservação no ES .....	74
Figura 33 - Mapa do Estado do Espírito Santo com a área das distribuidoras de energia elétrica .....	77
Figura 34 - Detalhamento da Capacidade Instalada no Espírito Santo em 2014 (GWh).....	78
Figura 35 - Evolução das cargas de energia elétrica do Estado do Espírito Santo de 2014-2023 .....	81
Figura 36 - Medições da velocidade média anual do vento a 10m.....	88
Figura 37 - Mapa da densidade média anual do ar .....	89
Figura 38 - Mapa que representa o fator de forma <i>Weibull</i> anual .....	91
Figura 39 - Fluxograma da metodologia.....	93
Figura 40 - Distribuições de <i>Weibull</i> e Rayleigh para diferentes parâmetros de forma $k$ e parâmetros de escala $c = 9,46\text{m/s}$ .....	96
Figura 41 - Curvas de desempenho: potência gerada <i>versus</i> velocidade dos ventos pela altura do eixo do rotor .....	102
Figura 42 - Ampliação do mapa QuickSCAT, destacando o litoral do Espírito Santo .....	102
Figura 43 - Distribuição da frequência relativa de <i>Weibull</i> .....	104
Figura 44 - Curvas de desempenho: potência gerada <i>versus</i> a velocidade dos ventos pela potência do rotor.....	105
Figura 45 - Curva de potência dos aerogeradores estudados .....	106
Figura 46 - Curvas de potência para o valor da massa específica corrigida ( $\rho = 1,187\text{ kg/m}^3$ ) .....	108
Figura 47 - Carta náutica de Conceição da Barra a Vitória (carta 22.800). O local destacado corresponde a isóbata de 20 m.....	116

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CAPACIDADE GLOBAL INSTALADA DE ENERGIA (MW) – DISTRIBUIÇÃO REGIONAL .....	40
TABELA 2 - CAPACIDADE INSTALADA POR ESTADOS BRASILEIROS EM 2014 (MW).....	50
TABELA 3 - A CONTRATAÇÃO DE ENERGIA EM MW .....	51
TABELA 4 - VALORES TÍPICOS DE RUGOSIDADE ( $Z_0$ ) EM DIFERENTES SUPERFÍCIES .....	59
TABELA 5 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR MUNICÍPIO NO ESPÍRITO SANTO (MWH) .....	65
TABELA 6 - DETALHAMENTO DA CAPACIDADE INSTALADA NO ESPÍRITO SANTO.....	78
TABELA 7 - DETALHAMENTO DAS TERMELÉTRICAS NO ESPÍRITO SANTO ...	79
TABELA 8 - DETALHAMENTO DAS CGHS NO ESPÍRITO SANTO .....	80
TABELA 9 - DETALHAMENTO DAS PCHS NO ESPÍRITO SANTO. ....	80
TABELA 10 - DETALHAMENTO DAS UHES NO ESPÍRITO SANTO. ....	80
TABELA 11 - PROGRAMA DE OBRAS - LINHAS DE TRANSMISSÃO (LT) – REDE BÁSICA .....	82
TABELA 12 - PROGRAMA DE OBRAS – SUBESTAÇÕES (SE) – REDE BÁSICA E REDE BÁSICA DE FRONTEIRA.....	82
TABELA 13 - PARÂMETROS ECONÔMICOS E SOCIAIS DO ESPÍRITO SANTO DE 2007 A 2011 .....	82
TABELA 14 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE <i>WEIBULL</i> $F(V)$ .....	104
TABELA 15 - DADOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES.....	106
TABELA 16 - POTÊNCIA PRODUZIDA PELOS AEROGERADORES PARA CADA VALOR DA VELOCIDADE COM ( $\rho = 1,225\text{KG}/\text{M}^3$ ) .....	107
TABELA 17 - POTÊNCIA PRODUZIDA PELOS AEROGERADORES PARA CADA VALOR DA VELOCIDADE COM ( $\rho = 1,187\text{KG}/\text{M}^3$ ) .....	108
TABELA 18 - PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA CADA VALOR DE VELOCIDADE .....	109
TABELA 19 - ANÁLISE DOS AEROGERADORES ESTUDADOS .....	110
TABELA 20 – PLAYBACK SIMPLES .....	113
TABELA 21 - ANÁLISE ENERGÉTICO-FINANCEIRA DAS MÁQUINAS .....	114

## **LISTA DE SIGLAS**

a.a. – Ao Ano

a.C. – Antes de Cristo

ACL – Ambiente de Contratação Livre

ACR – Ambiente de Contratação Regulada

AIE – Agência Internacional de Energia

AMA – Acompanhamento de Medições Anemométricas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASPE – Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado

ATR – Autotransformador Regulador

CAGR – Taxa Composta de Crescimento Anual

CBEE – Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CCEA – Contratos de Compra de Energia no Ambiente Livre

CELPE – Companhia Energética de Pernambuco

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

COP-15 – Conferência de Copenhague

COP-16 – Conferência de Cancun

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

EDP/ESCELSA – Espírito Santo Centrais Elétricas S. A.

ELFSM – Empresa Luz e Força Santa Maria

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ES – Espírito Santo

EU – União Europeia

EUA – Estados Unidos da América

GEE – Gases de Efeito Estufa

GIS – *Geographic Information System*

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GWEC – *Global Wind Energy Council*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPMA – Instituto de Pesquisa da Mata Atlântica

ISA – Atmosfera Padrão Internacional

LER – Leilão de Energia de Reserva

LFA – Leilão de Fontes Alternativas

LT – Linhas de Transmissão

MCP – Mercado de Curto Prazo

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NREL – *National Renewable Energy Laboratory*

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PAE – Produção Anual de Energia

PB – *Payback*

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PEL – Plano Estratégico de Linhares

PIB – Produto Interno Bruto

PLD – Preço de Liquidação das Diferenças

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

QuikSCAT– *Quick Scatterometer*

RBMA – Reservas da Biosfera da Mata Atlântica

RJ – Rio de Janeiro

SE – Subestações

SEAMA – Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recurso Hídricos

SEDES – Secretaria de Estado de Desenvolvimento do Espírito Santo

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIN – Sistema Elétrico Interligado Nacional

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*

UCs – Unidades de Conservação

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica

UHE – Usina Hidrelétrica

UTE – Usina Termelétrica

WWEA – *World Wind Energy Association*

ZA – Zona Amortecimento

ZEE – Zona Econômica Exclusiva

ZN – Zona Núcleo

ZT – Zona de Transição

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Unidades

Descrição	Unidade
Celsius	C
Giga watt	GW
Giga watt Hora	GWh
Habitantes	hab
Horas	h
Horas por ano	h/ano
Mega Potência Aparente	MVA
Mega watt	MW
Mega watt Hora	MWh
Mega watt Hora por habitantes	MWh/hab
Metro	m
Metros Cúbicos por Habitantes	m <sup>3</sup> /hab
Metros por Segundo	m/s
Milímetro	mm
Potência Reativa	Var
Rotações por minuto	RPM
Quilo por Massa ao cubo	kg/m <sup>3</sup>
Quilo volt	kV
Quilo watt	kW
Quilo watt Hora	kWh
Quilômetro	km
Unidades	unid
Volt	V

### Funções

Descrição	Funções
Função Gama, logaritmo natural da função gama	$\Gamma$
Função logaritmo natural	$\ln$
Porcentagem	%
Somatório de toda produção de energia.	$\Sigma$

### Símbolos métricos

Símbolo	Descrição	Unidade
G	Giga	$10^9$
M	Mega	$10^6$
K	Quilo	$10^3$

### Potência

Símbolo	Descrição	Unidade do SI
$P$	Potência Ativa	(W)
$Q$	Potência Reativa	(VAr)
$S$	Potência Aparente	(VA)
(°)	Posição	Graus

### Símbolos das Equações

Símbolo	Descrição	Unidade do SI
$c$	Velocidade do vento mais provável	(m/s)
$FC$	Fator de capacidade	
$f(V)$	Distribuição Estatística de Frequência <i>Weibull</i>	(m/s)
$k$	Parâmetro de forma	
$P$	Potência da turbina	(W)
$\rho$	Densidade do ar	(kg/m <sup>3</sup> )
$PAE$	Produção de energia anual	(MWh/ano)
$PE$	Produção de energia	(MWh)
$PN$	Potência nominal do aerogerador	(MW)
$T$	Temperatura média do ano	(°C)
$V$	Velocidade do vento	(m/s)
$V(z)$	Velocidade média anual extrapolada	(m/s)
$V(z_r)$	Velocidade na altura de referência	(m/s)
$z$	Altitude em relação ao mar	(m)
$z_0$	Parâmetro de classes de rugosidade	(m)
$z_r$	Altura de referência	(m)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	18
1.2 PROBLEMA .....	23
1.3 OBJETIVO DO TRABALHO.....	27
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>29</b>
2.1 MECANISMOS DE GERAÇÃO DO VENTO .....	31
2.2 ENERGIA EÓLICA ONSHORE.....	35
<b>2.2.1 Energia Eólica Onshore no Mundo</b> .....	<b>37</b>
<b>2.2.2 Energia Eólica Onshore no Brasil</b> .....	<b>45</b>
2.3 ENERGIA EÓLICA OFFSHORE .....	54
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE .....	58
2.5 CONCLUSÃO .....	61
<b>3 CARACTERÍSTICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO</b> .....	<b>63</b>
3.1 CLIMATOLOGIA .....	66
3.2 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA.....	72
3.3 MATRIZ ENERGÉTICA DO ESPÍRITO SANTO .....	75
3.4 CONCLUSÃO .....	84
<b>4 MATERIAIS E METODOLOGIA</b> .....	<b>86</b>
4.1 MATERIAIS.....	86
<b>4.1.1 Mapa do Potencial Eólico do projeto SWERA da NASA QuikSCAT</b> .....	<b>86</b>
<b>4.1.2 Densidade do Ar</b> .....	<b>88</b>
<b>4.1.3 Mapa do fator de forma Weibull(<i>k</i>) anual</b> .....	<b>90</b>
<b>4.1.4 Carta náutica</b> .....	<b>91</b>
4.2 METODOLOGIA .....	92
4.3 CONCLUSÃO .....	99
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>100</b>
5.1 CARACTERÍSTICA DA ILHA DE CAMPO GRANDE: PRAIA DE URUSSUQUARA.....	100
5.2 ANÁLISE E RESULTADOS .....	101
<b>5.2.1 Determinação e extrapolação da velocidade média anual do vento</b> .....	<b>101</b>
<b>5.2.2 Parâmetros de Weibull</b> .....	<b>103</b>
<b>5.2.3 Distribuição de Frequência de Weibull</b> .....	<b>103</b>
<b>5.2.4 Análise dos Aerogeradores</b> .....	<b>105</b>
<b>5.2.5 Produção Anual de Energia (PAE)</b> .....	<b>109</b>
<b>5.2.6 Análise Financeira Payback (PB)</b> .....	<b>110</b>

<b>5.2.7</b>	<b>Análise Energético-Financeira .....</b>	<b>114</b>
<b>5.2.8</b>	<b>Identificação do local de aplicação dos aerogeradores .....</b>	<b>115</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>117</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, vive-se um período de modificações devido à inópia de responder aos desafios criados pelas alterações climáticas e de restringir a dependência de combustíveis fósseis. Apesar do desenvolvimento do homem em nível tecnológico, econômico e social, a utilização desses combustíveis de forma indiscriminada, nomeadamente na produção de energia elétrica, tem originado uma crescente degradação ambiental no planeta. Nesse contexto, é imprescindível a busca por um conceito mais amplo de fontes renováveis de energia.

Fontes renováveis de energia se apresentam como uma resposta alternativa à atual dependência das fontes de energia não renováveis provenientes de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural, uma vez que, além de serem praticamente inexauríveis, as energias renováveis podem apresentar impacto ambiental muito baixo.

Dessa forma, a instalação de parques eólicos no mar (*offshore*) apareceu nos últimos anos como uma solução muito atrativa, tendo em vista que o impacto devido à poluição sonora e visual é minimizado em tal ambiente, além de apresentar características de vento bem favoráveis.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

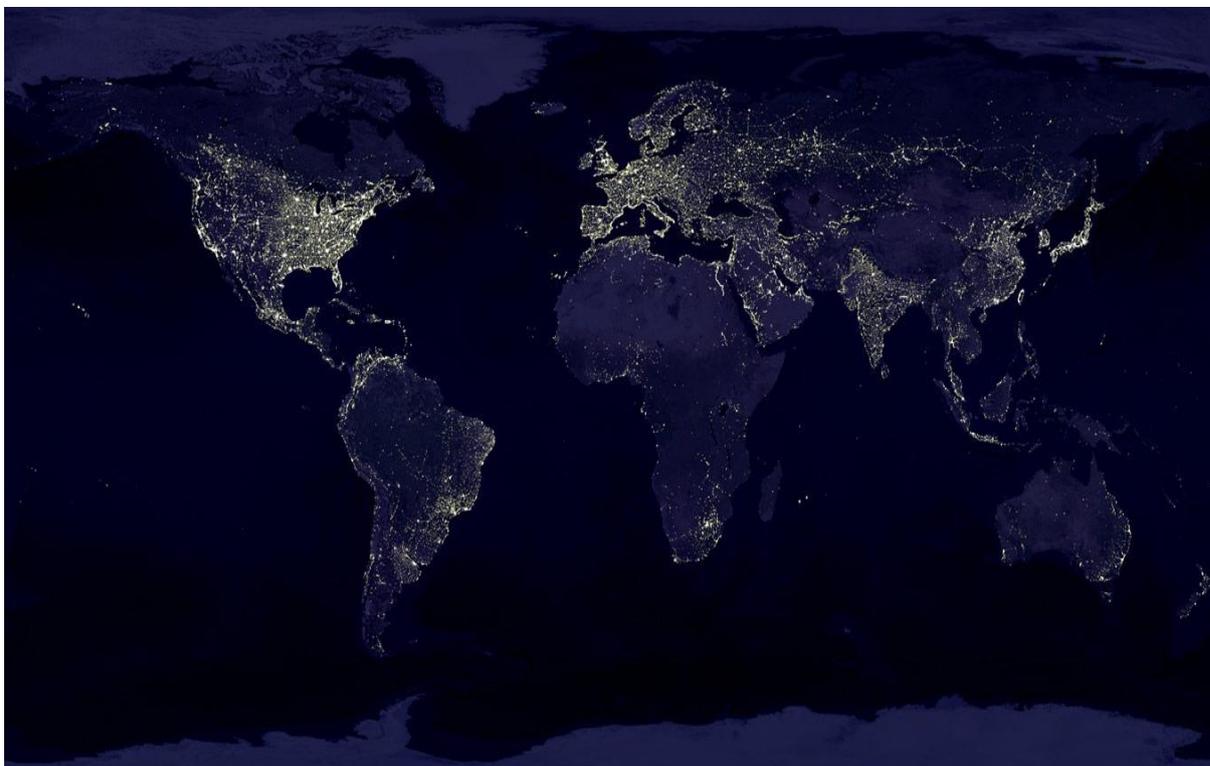
A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. Mais do que sobreviver, o homem tem procurado sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento a suas necessidades. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005a).

Sabe-se que o crescimento econômico e populacional são os dois principais fatores que vêm provocando um aumento da demanda energética no Brasil e no mundo

(MELO, 2009). A Figura 1 apresenta as áreas mais iluminadas da Terra, entre elas Europa Ocidental e América do Norte, e as áreas em volta das maiores rodovias mundiais, como a rodovia Transiberiana, ligando Moscou a Vladivostok, na Ásia. A luminosidade do percurso do Rio Nilo, da represa de Aswan até o Mar Mediterrâneo, demonstra que o desenvolvimento econômico dos países está diretamente ligado ao consumo de energia (GUIA GEOGRÁFICO MAPAS, 2012).

A exaustão, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outros (ANEEL, 2005a). Constituído no final dos anos 90, o chamado “mercado da energia verde” está em expansão em vários países europeus. Trata-se de um compromisso para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), assumido pelas nações desenvolvidas na assinatura do Protocolo de *Kyoto* e ratificado pelo Tratado em 2005, beneficiando usinas abastecidas por fontes renováveis que permitem a “captura”, ou seja, permitem a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases causadores do efeito estufa na atmosfera (ANEEL, 2008).

Figura 1 - Demanda de energia em 2012



Fonte: GUIAGEO-MAPAS (2012).

Entre todas as energias renováveis, a energia eólica prova ser uma tecnologia relativamente madura, além de apresentar um enorme potencial comercial e de produção em massa. A principal aplicação da energia eólica é gerar energia elétrica a partir de grandes parques eólicos ligados à rede pública de transmissão e distribuição (AGÊNCIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA DO ESTADO, 2013a).

Com o avanço da agricultura, o homem necessitou, cada vez mais, de ferramentas que o ajudassem nas diversas etapas do trabalho. Tarefas como a moagem dos grãos e o bombeamento de água exigiam cada vez mais esforço humano e animal, propiciando o desenvolvimento de uma forma primitiva de moinho de vento. O primeiro registro histórico do aproveitamento da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos por meio de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 200 antes de Cristo (a.C.). Contudo, acredita-se que, antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, a China (por volta de 2000 a.C.) e o Império Babilônico (por volta de 1700 a.C.) também utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação (GASH; TWELE, 2002).

A energia eólica, assim como a hidráulica, é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. A Figura 2 retrata um moinho da época medieval. Trata-se de um cata-vento de eixo vertical. A primeira grande inovação encontrada no cata-vento foi a incorporação de velas de sustentação em eixo horizontal, em modelos das Ilhas Gregas (DUTRA, 2001).

As primeiras tentativas de geração de energia elétrica a partir do vento surgiram no final do século XIX. Mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial (ANEEL, 2005a).

Figura 2 - Moinho eólico medieval



Fonte: EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA (2012a).

A atividade de produção de energia a partir do vento, em especial a energia elétrica, ganhou grande força no século XXI, quando surgiu a necessidade de se buscar o chamado desenvolvimento sustentável, conceito que alia a expansão da oferta, o consumo consciente, a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida. Isto é, busca-se um desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. Em outras palavras, o desafio é reduzir o impacto ambiental e, ao mesmo tempo, ser capaz de suportar o crescimento econômico que, entre outros desdobramentos, proporciona a inclusão social de grandes contingentes da população, com o aumento da geração de renda e da oferta de trabalho (ANEEL, 2008).

Hoje é difícil falar de energia sem associar o tema ao meio ambiente, pois toda a energia produzida é resultado da utilização e da transformação das forças oferecidas pela natureza. Com o crescimento da população mundial, a demanda por energia tende a aumentar e, por consequência, a procura por energia limpa é a alternativa para que não ocorra a degradação total de fontes não renováveis. As premissas da sustentabilidade focam no fator das mudanças climáticas, buscando colaborar com a meta global de redução de emissão de gases causadores do efeito estufa (ASPE,

2013a). Lênin dizia que a revolução do início do século XX era a eletrificação do país e o poder dos soviéticos, sendo que a do século XXI representa o triunfo das fontes renováveis junto com o poder, cada vez maior, das pessoas (GREENPEACE INTERNACIONAL, 2013).

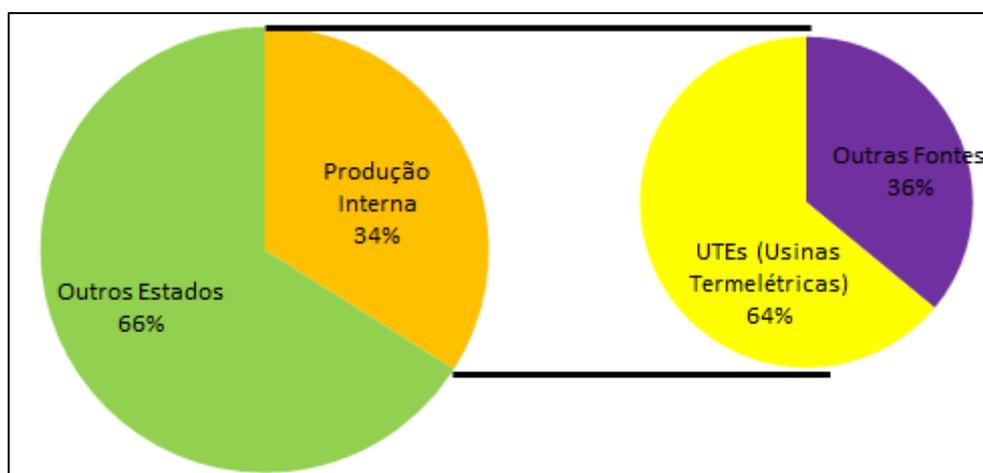
Os benefícios da matriz energética limpa se traduzem em reduzidas emissões de partículas pelo uso de energia e pela sustentabilidade da economia (ASPE, 2013a). Como exemplo, os riscos ambientais levaram a Alemanha a estabelecer um plano de desativação de todo o seu sistema energético nuclear (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Diante de alguns fatos mundiais, no Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) desenvolveu estudos de planejamento para incorporar o conceito de sustentabilidade socioambiental. O foco em alternativas de maior sustentabilidade está balizado pelas atuais discussões e negociações internacionais sobre as mudanças do clima, conforme evidenciada na Conferência de Copenhague (COP-15), e reiterada na Conferência de Cancun (COP-16). Os compromissos assumidos pelo Brasil, nessas negociações internacionais, foram formalizados por meio da Lei nº 12.187/09 (Lei da Política Nacional sobre Mudança do Clima), que estabeleceu uma meta voluntária de mitigação das emissões de gases de efeito estufa para o ano 2020, deslocando as discussões sobre mudanças climáticas no Brasil para um novo patamar institucional (TOLMASQUIM, 2012).

Fatores como o aumento na demanda por energia, a mudança climática, a necessidade de redução de emissões de gases de efeito estufa, a proteção da biodiversidade e o desenvolvimento de tecnologias para o uso de fontes renováveis têm levado o mundo ao consenso de que a energia eólica é viável (WORD WIND ENERGY ASSOCIATION, 2012). No final de 2014, o total da capacidade eólica instalada, acumulada mundialmente, alcançou 369GW, representando um aumento de 44% no mercado anual de 2013 para 2014 (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2014a). Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), estima-se que, em 2035, as energias renováveis já estarão gerando mais de 25% da eletricidade do mundo, das quais um quarto provirá do vento, sendo a segunda maior fonte de energia renovável, ficando apenas atrás da hidráulica (GWEC, 2014a).

A insuficiência energética do Espírito Santo (ES) é efetivamente demonstrada pela constatação de que só produz  $\frac{1}{3}$  da energia que consome, ou seja, importa cerca de 66% da energia elétrica consumida no Estado. Dos 34% produzidos no ES, cerca de 64% são provenientes de fontes térmicas, energia “suja” e cara, situando-se na contramão do Brasil, conforme dados de dezembro de 2013, demonstrados na Figura 3 (ASPE, 2015b; AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009; ASPE, 2013b), sendo o estopim motivador para a presente Dissertação.

Figura 3 - Consumo e geração de energia elétrica no Estado do Espírito Santo em 2013



Fonte: ASPE (2015b); Amarante, Silva e Andrade (2009); ASPE (2013b).

## 1.2 PROBLEMA

O déficit de energia elétrica do ES reduz a qualidade de fornecimento aos seus consumidores, compromete a disponibilidade e pode colocar em risco o suprimento de energia e o desenvolvimento do Estado (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011a), especialmente ao considerar-se que está prevista a projeção de crescimento da carga de energia do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) no Brasil à taxa média de 4,0% ao ano, passando de 65.830MW médios em 2014 para 92.714MW médios em 2023 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014b).

De fato, tem-se verificado que as taxas de crescimento ficaram maiores do que essa previsão e, além disso, o Estado do Espírito Santo cresce acima da média nacional, alargando a submissão energética, uma vez que os investimentos para a produção de energia elétrica não serão satisfatórios e não reverterão a incômoda condição de dependência. Naturalmente, os indicadores confirmam que a posição energética do

ES não é confortável, porque o déficit de energia traz vários reflexos negativos, a saber: gera a evasão de divisas, reduz a arrecadação de impostos, deixa de gerar empregos locais, não permite a produção científica e a tecnologia regional, não fortalece a cadeia produtiva, não agrega valor e, finalmente, diminui a competitividade do Estado para os futuros investimentos. Por isso, pode-se dizer que o Espírito Santo não é energeticamente autossustentável, face ao déficit, que foi particularmente examinado por Honorato, Fardin e Araújo (2011). Entretanto, há sugestões para a reversão dessa situação por meio da exploração dos recursos energéticos naturais, inclusive pelo aproveitamento eólico, entre outras fontes (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011b).

Diante do exposto, infere-se que o déficit energético constitui um sério problema e justifica a necessidade de estudos, inclusive de viabilidade técnico-financeira, para a geração eólica (entre outras fontes), no Estado do Espírito Santo. Tais estudos permitirão conhecer melhor as condições energéticas e o potencial dos ventos no Estado, onde são apontadas as regiões mais promissoras, todas ainda sem exploração (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011a).

A adoção de incentivos para a energia eólica resultou no aumento da participação dessa tecnologia em diversos países, mantendo uma expansão crescente até 2009, quando houve uma desaceleração devido aos efeitos da crise financeira. Com a crise, as informações demonstram que o mercado de energia eólica foi reduzido significativamente até o ano de 2013 tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, importantes mercados para essa tecnologia, continuando a expandir-se apenas na China. Ao reduzirem-se os tradicionais mercados, grandes empresas buscaram diversificar sua atuação, voltando seus investimentos para mercados emergentes, como o Brasil (ANEEL, 2013).

Esse cenário promissor para a energia eólica no Brasil tem atraído o interesse de vários fabricantes e fornecedores de tecnologias para o setor. Por outro lado, a base tecnológica desses fabricantes e sua experiência estão concentradas em centros de pesquisa localizados no exterior, o que aumenta a já elevada dependência tecnológica do Brasil e limita sua capacidade de desenvolvimento científico, tecnológico, econômico e social. Falta, portanto, domínio tecnológico para projetar,

desenvolver, instalar e operar uma planta eólica no Brasil, com tecnologia predominantemente nacional (ANEEL, 2013).

Apesar dos recursos assegurados por lei para investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico no setor de energia elétrica (Lei nº 9.991/2000), observam-se poucos projetos e investimentos na área de pesquisa em energia eólica. Durante a primeira fase do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que vai do ciclo 1998/1999 ao ciclo 2006/2007, foram destinados apenas 5,8 milhões de reais a projetos na área de energia eólica, que correspondem a somente 0,36% do volume de investimento realizado nesse período (R\$ 1,6 bilhão). Em 2008, começou a segunda fase do Programa, quando se verificou um aumento considerável no volume de recursos para projetos na área de energia eólica. Foram 10 projetos no valor total de 35 milhões de reais, o que corresponde a 1,5% do investimento previsto nesse período, isto é 2,3 bilhões de reais (ANEEL, 2013).

Apesar desse aumento significativo no volume de recursos destinados a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na área de energia eólica, como também da existência de projetos promissores em desenvolvimento, faltam diretrizes e estímulos para projetos mais robustos e mais alinhados com as demandas e as oportunidades do setor. Um estudo realizado recentemente pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), sob encomenda do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e sugestão da Comissão Técnica MCTI/ANEEL (Portaria Conjunta Nº 230, de 16 de março de 2010), indica a necessidade de uma infraestrutura de suprimentos, fabricantes, formação de mão de obra e conhecimento das tecnologias empregadas na geração eólica de energia elétrica (ANEEL, 2013).

A despeito do grande progresso alcançado no setor eólico brasileiro nos últimos anos, alguns desafios ainda são significativos. Um deles é o transporte de longa distância de lâminas e outras peças necessárias para a instalação de um parque eólico, devido à má qualidade das estradas, à falta de veículos adequados e de pessoal treinado. Além disso, pode ser um desafio, no futuro, para garantir que os números suficientes de leilões de energia estejam organizados de forma a manter uma cadeia de fornecimento saudável (GWEC, 2015).

A maioria dos países líderes no setor eólico utiliza instrumentos de incentivos políticos e fiscais, com o intuito de estimular a tecnologia e o mercado. O Brasil também seguiu por esse caminho: criou e implantou o PROINFA, que iniciou a inserção da energia eólica na matriz elétrica nacional. A partir de 2007, a fonte passou a competir nos leilões de compra e venda de energia elétrica no ambiente regulado e tem despertado o otimismo do governo federal devido aos preços bastante competitivos, alcançados nos últimos certames (média de R\$ 100,00/MWh) (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012).

Entretanto, não obstante a visão otimista do governo quanto à competitividade da energia eólica diante dos bons resultados dos últimos leilões, muitas empresas do segmento acreditam que, sem apoio, a indústria se manterá apenas com tecnologias defasadas e sem utilizar o grande potencial eólico do Brasil. Considera-se essencial o apoio à formação de uma cadeia produtiva nacional consistente, bem como o incentivo ao desenvolvimento tecnológico, a fim de reduzir a dependência tecnológica e promover o desenvolvimento de competências nacionais no setor eólico. Essas são estratégias que podem conduzir o Brasil a uma posição de liderança no mercado mundial de fornecimento de equipamentos eólicos (CGEE, 2012).

Diversos foram os catalisadores que motivaram o desenvolvimento de institutos e laboratórios de pesquisa em energia eólica no Brasil. Os principais fatores responsáveis por esse desenvolvimento foram o crescimento dos parques eólicos e alguns poucos incentivos financeiros das agências de fomento. Entretanto, o aquecimento do mercado e a pouca disponibilidade de mão de obra possibilitaram uma forte migração dos profissionais da academia para o mercado, desmobilizando os poucos grupos e centros de pesquisa em atuação e trazendo um impacto negativo no setor de produção de novas tecnologias. Esse desafio gera a necessidade de investimentos em capacitação e formação de recursos humanos para prover especialistas, tanto na universidade quanto no mercado, e para criar uma massa crítica sobre o tema. Para isso, é preciso tornar mais atrativa a investigação sobre tais questões, capacitar pesquisadores seniores (agentes multiplicadores) e prover as infraestruturas necessárias ao processo (CGEE, 2012).

Do ponto de vista ambiental, a evolução das discussões sobre os aspectos relacionados à energia eólica e à regulamentação do processo de licenciamento é crucial para consolidar e aumentar a participação dessa fonte na matriz energética do país. Como avanço, vale mencionar estudos em andamento que tratam do mapeamento e do monitoramento do potencial eólico no país. Nessa linha, também foram desenvolvidos estudos sobre a energia solar<sup>1</sup> (EPE, 2014b).

Para 2015, há uma tendência positiva de crescimento para a indústria eólica. Quatro novos leilões de energia estão previstos para ocorrer no Brasil. Desses, dois já foram realizados: Leilão de Fontes Alternativas (LFA) em abril de 2015 (EPE, 2015b) e Leilão de Energia Nova (A-3) em julho de 2015 sendo adiada para 21 de agosto de 2015, sendo contratado 669MW (EPE, 2015c). Ao longo de 2015, a previsão é instalar 3,9GW de energia eólica, incluindo 157 novos parques eólicos em todo o Brasil, com a entrada da Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica – (GWEC, 2015). Em agosto de 2015, há no Brasil 268 usinas eólicas instaladas com uma potência de total de 6,5GW, representando 4,46% da produção nacional de energia (ANEEL, 2015).

### 1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo desta Dissertação é apresentar um estudo técnico simplificado, aplicado sobre a região de Urussuquara, e, considerando uma demanda energética local, apresentar também uma análise financeira simples para atendimento utilizando-se de aerogeradores comercialmente disponíveis, com o intuito final de contribuir para a ampliação e diversificação da matriz energética capixaba. Esta iniciativa pode servir de base para se buscar, no futuro, subsídios para a diminuição da dependência que o ES atualmente possui por energia elétrica gerada em outros Estados, e, mais do que isso, tornar a matriz elétrica do ES menos dependente de fontes de energia não

---

<sup>1</sup> No que diz respeito ao potencial eólico destaca-se a elaboração do Acompanhamento de Medições Anemométricas (AMA), que reúne dados sobre o sistema eólico existente, de modo a fundamentar os estudos necessários para a expansão do sistema elétrico. Em relação à fonte solar ressalta-se a publicação da Nota Técnica “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, cujo objetivo é subsidiar o Ministério de Minas e Energia (MME) no processo de decisão quanto à estratégia de inclusão da fonte solar na matriz de geração elétrica brasileira. Ambos disponíveis no site da EPE (<http://www.epe.gov.br>).

renováveis, por meio do uso de uma fonte renovável limpa e com forte tendência a se tornar cada vez mais barata.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este Capítulo focou em apresentar a motivação, o problema e o objetivo desta Dissertação de Mestrado. O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre algumas experiências internacionais sobre o uso da energia eólica, políticas de incentivo adotadas por alguns países de vanguarda no uso desta fonte de energia e os elementos que possibilitaram o desenvolvimento do setor eólico em tais países, e uma comparação entre os parques eólicos *onshore* e *offshore*, apresentando as vantagens e desvantagens de cada um. Trata ainda do cenário energético brasileiro, da história da política de incentivos ao setor eólico e da situação atual do setor. O Capítulo 3 apresenta as características do ES e sua matriz energética. O Capítulo 4 expõe os materiais utilizados e a metodologia adotada neste trabalho, a qual corresponde à metodologia tradicionalmente adotada em outros trabalhos similares. O Capítulo 5 apresenta um estudo de caso, enquanto o Capítulo 6 apresenta as conclusões.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia eólica apresenta-se como uma energia renovável e gratuita, não importando a quantidade que se utiliza hoje, já que ela estará igualmente disponível no futuro. Além disso, trata-se de uma fonte de energia limpa, isto é, não produz gases de efeito estufa (GEE), nem outros agentes de poluição. A geração eólica de energia elétrica no Brasil tem o papel de complementaridade na produção de energia hidráulica, sendo que contribui para a diversificação dos modos de produção para diminuir a dependência materializada na utilização de combustíveis fósseis – petróleo, gás natural e carvão (DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2010).

A energia eólica tem adquirido uma importante função como fonte de eletricidade, já que agrega abundantes vantagens frente às energias tradicionais, mesmo em comparação a outras fontes renováveis. Entre as particularidades mais atrativas, em termos de planejamento energético, pode-se citar a implantação rápida e, em geral, o impacto reduzido na ocasião da construção dos parques eólicos (EPE, 2014b).

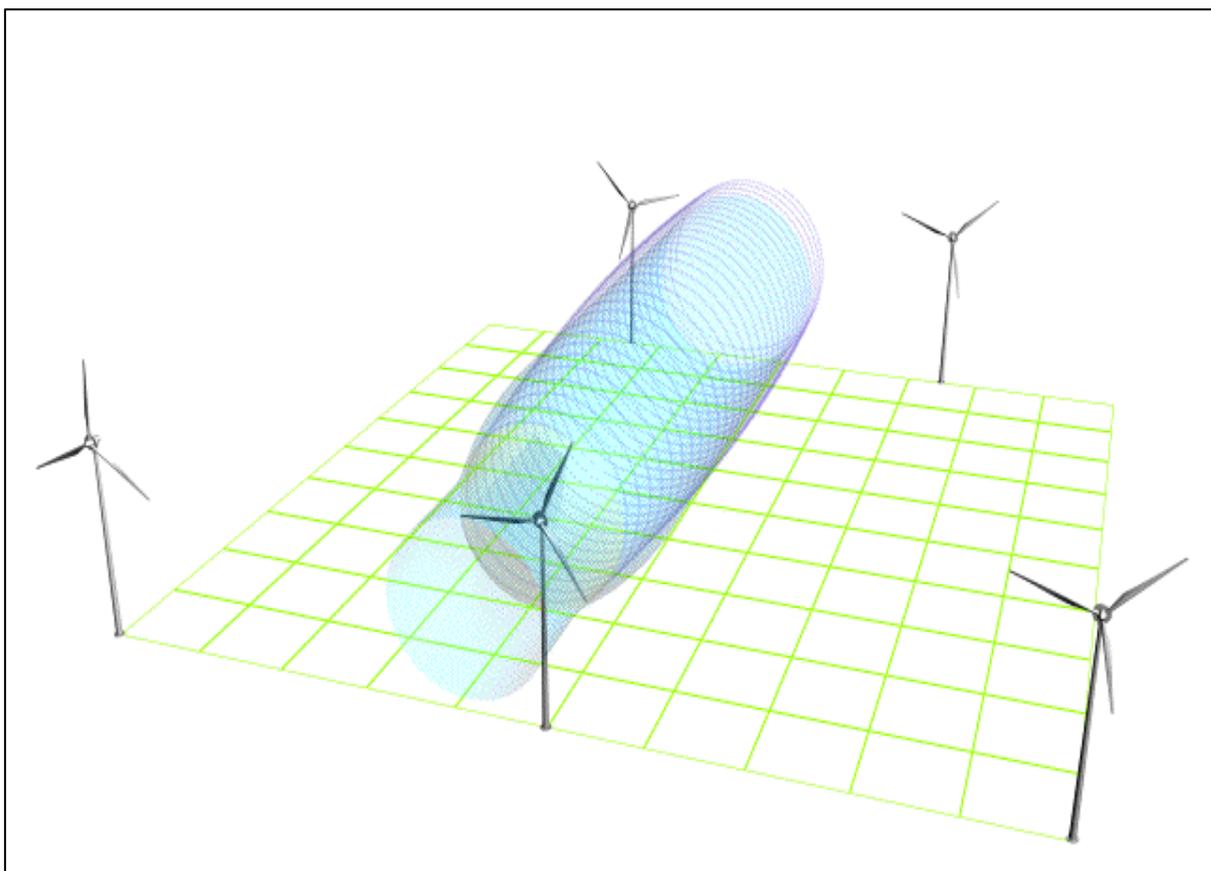
O seu aproveitamento em nível mundial se consolida como uma alternativa viável e limpa. Esse tipo de energia compõe, complementarmente, matrizes energéticas de muitos países e, uma vez que os ventos oferecem uma opção de suprimento no século XXI, em conjunto com outras fontes renováveis, poderá conciliar as necessidades de uma sociedade industrial moderna, com os requisitos de preservação ambiental (AMARANTE; BROWER; ZACK, 2001a).

Primeiramente, é necessário que se conheça a formação dos ventos, para poder se adentrar no contexto de energia eólica. Em meio aos mecanismos atuantes na formação dos ventos, destacam-se os aquecimentos desiguais da superfície terrestre, que ocorrem tanto em escala global (diferentes latitudes, estações do ano e ciclos dia-noite), quanto local (mar-terra, montanha-vale). O resultado disso é que as velocidades e direções do vento têm caráter aleatório, pois o ar mais quente tende a subir e o mais frio tende a descer, para ocupar o espaço deixado. Desse fenômeno, nasce a energia dos ventos (eólica), a qual é uma excelente fonte alternativa de energia, por ser abundante, limpa e renovável. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética

de rotação a partir do emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores (Figura 4), que contam ainda com um último estágio de conversão de energia mecânica (energia cinética de rotação) em energia elétrica, a partir do uso de um gerador elétrico também embutido no aerogerador (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

A energia eólica vive um crescimento de mercado em que se nota uma diminuição dos preços dos aerogeradores ao longo das últimas décadas. Não se trata apenas de questões de custo. Nesse mesmo período de queda de preços, a tecnologia aplicada à energia eólica desenvolveu-se muito, tornando a fonte eólica cada vez mais competitiva. O curto espaço de tempo necessário para sua instalação e operação, o custo “zero” de seu combustível, o baixo custo de manutenção, entre outros fatores, são razões pelas quais a energia eólica tem consolidado seu espaço entre as demais fontes de energia (DUTRA, 2001).

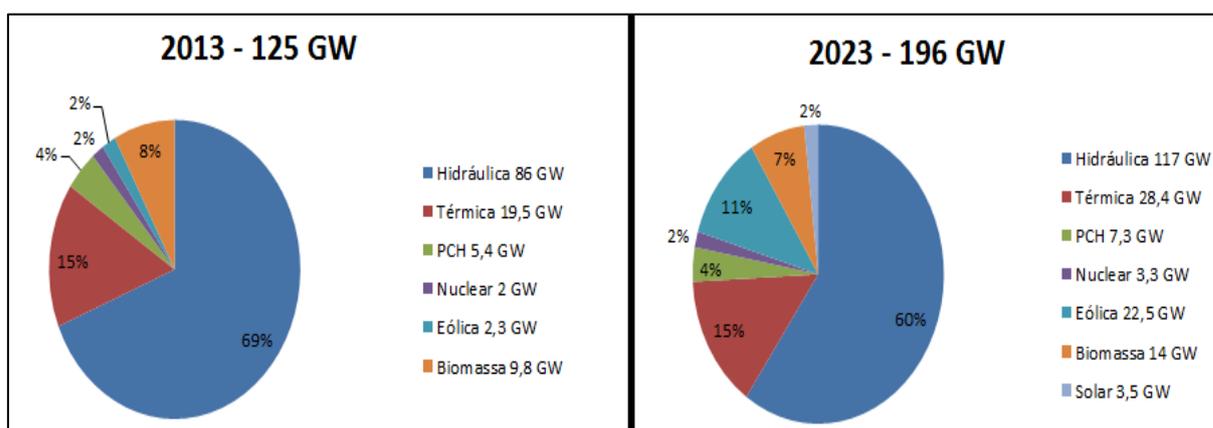
Figura 4 - Funcionamento dos aerogeradores



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 29).

De fato, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) de 2023 da EPE prevê que a capacidade instalada no SIN, no Brasil, deve evoluir de cerca de 125GW (dezembro de 2013) para 196GW (dezembro de 2023), com a priorização das fontes renováveis (hidráulica, eólica e biomassa). Se, por um lado, a participação das hidrelétricas cairá de aproximadamente 73% para 64%, apesar do aumento absoluto de 32,9GW nesse horizonte, por outro lado a participação da geração oriunda de outras fontes alternativas, como a de usinas eólicas, de biomassa e energia solar, tem previsão de crescer 4,1 vezes em dez anos, sendo que a previsão aponta também que a eólica deva crescer 10 vezes no mesmo período, conforme ilustrado na Figura 5 (EPE, 2014b).

Figura 5 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração de 2013-2023



Fonte: EPE (2014b, p. 94).

## 2.1 MECANISMOS DE GERAÇÃO DO VENTO

O vento tem sua origem na associação entre a energia solar e a rotação planetária. Todos os planetas envoltos por gases em nosso sistema solar demonstram a existência de distintas formas de circulação atmosférica e apresentam ventos em suas superfícies. Trata-se de um mecanismo solar-planetário permanente, pois sua duração é mensurável na escala de bilhões de anos, considerado, portanto, como fonte renovável de energia (AMARANTE; BROWER; ZACK, 2001a).

Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que aproximadamente 2% da energia solar absorvida pela Terra são convertidos em energia cinética dos ventos. Esse percentual, embora pareça pequeno, representa centenas de vezes a potência anual instalada nas

centrais elétricas do mundo. Os ventos que sopram em escala global e aqueles que se manifestam em pequena escala são influenciados por diferentes aspectos, entre os quais se destacam a altura, a rugosidade, os obstáculos e o relevo (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, 2008).

As regiões tropicais que recebem os raios solares quase que perpendicularmente são mais aquecidas do que as regiões polares. Conseqüentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir (ascendente), sendo substituído por uma massa de ar mais fria proveniente das regiões polares que tende a descer (descendente) (MARINHA DO BRASIL, 2000). A Figura 6 apresenta esse mecanismo de deslocamento de massas de ar que determina a formação dos ventos.

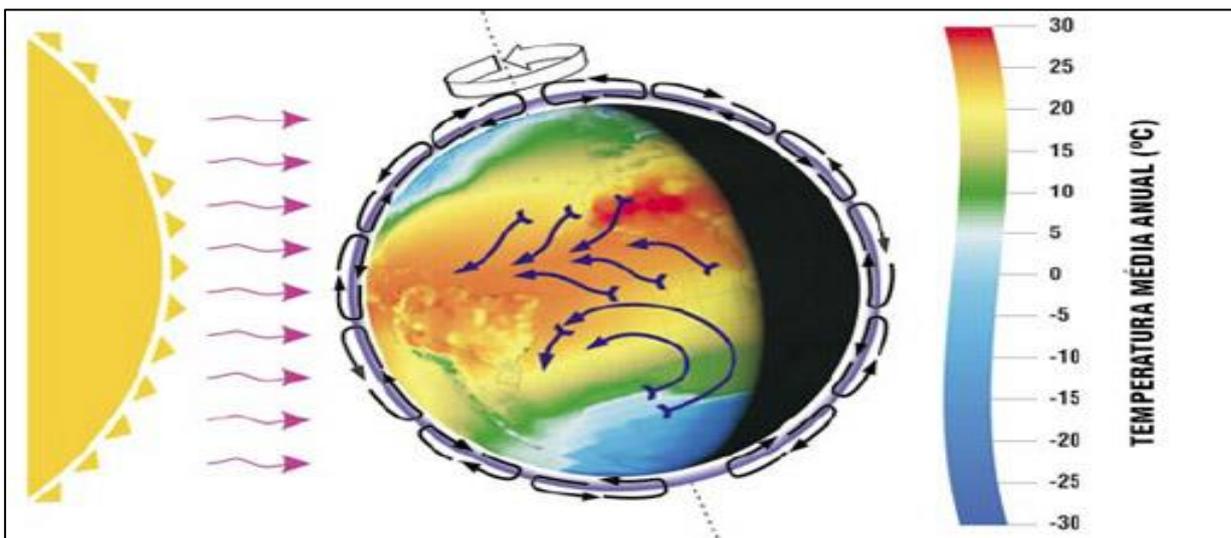
Existem locais no globo terrestre nos quais os ventos jamais cessam de “soprar”, pois os mecanismos que os produzem (aquecimento na linha do Equador e resfriamento nos polos) estão sempre presentes na natureza (CRESESB, 2008).

São chamados de ventos planetários ou constantes e podem ser classificados em:

- Alísios: ventos que sopram dos trópicos para a linha do Equador, em pequenas altitudes;
- Contra-Alísios: ventos que sopram da linha do Equador para os polos, em grandes altitudes;
- Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos;
- Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas (MARINHA DO BRASIL, 2000).

Tendo em vista que o eixo da Terra está inclinado  $23,5^{\circ}$  em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol, variações sazonais na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra resultam em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos em qualquer local da superfície terrestre. Como resultado, surgem os ventos continentais ou periódicos e compreendem as monções e as brisas (CRESESB, 2008).

Figura 6 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar, circulação atmosférica



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 28).

As monções são ventos periódicos que mudam de direção a cada seis meses aproximadamente. Em geral, as monções sopram em determinada direção em uma estação do ano e em sentido contrário em outra estação (MARINHA DO BRASIL, 2000).

Em função das diferentes capacidades de refletir, absorver e emitir o calor recebido do Sol, inerentes a cada tipo de superfície, tais como mares e continentes, surgem as brisas, que se caracterizam por serem ventos periódicos que sopram do mar para o continente e vice-versa. Portanto, no período diurno, devido à maior capacidade da terra de refletir os raios solares, a temperatura do ar aumenta e, como consequência, forma-se uma corrente de ar, que sopra do mar para a terra (brisa marítima). À noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a temperatura da água e, desse modo, forma-se uma corrente de ar que sopra da terra para o mar (brisa terrestre). Normalmente, a intensidade da brisa terrestre é menor do que a da brisa marítima, devido à menor diferença de temperatura que ocorre no período noturno, como mostra a Figura 7 (CRESESB, 2008).

Figura 7 - Fluxos térmicos brisa marítima (painel esquerdo) e brisa terrestre (painel direito)



Fonte: APOIO ESCOLAR 24 HORAS (2013).

Sobrepostos ao sistema de geração dos ventos, anteriormente descrito, encontram-se os ventos locais, que são originados por outros mecanismos mais específicos. São ventos que sopram em determinadas regiões e são resultantes das condições locais, que os tornam bastante individualizados. A mais conhecida manifestação local dos ventos é observada nos vales e montanhas. Durante o dia, o ar quente nas encostas da montanha se eleva e o ar mais frio desce sobre o vale para substituir o ar que subiu. No período noturno, a direção em que sopram os ventos é novamente revertida, e o ar frio das montanhas desce e se acumula nos vales (MARINHA DO BRASIL, 2000).

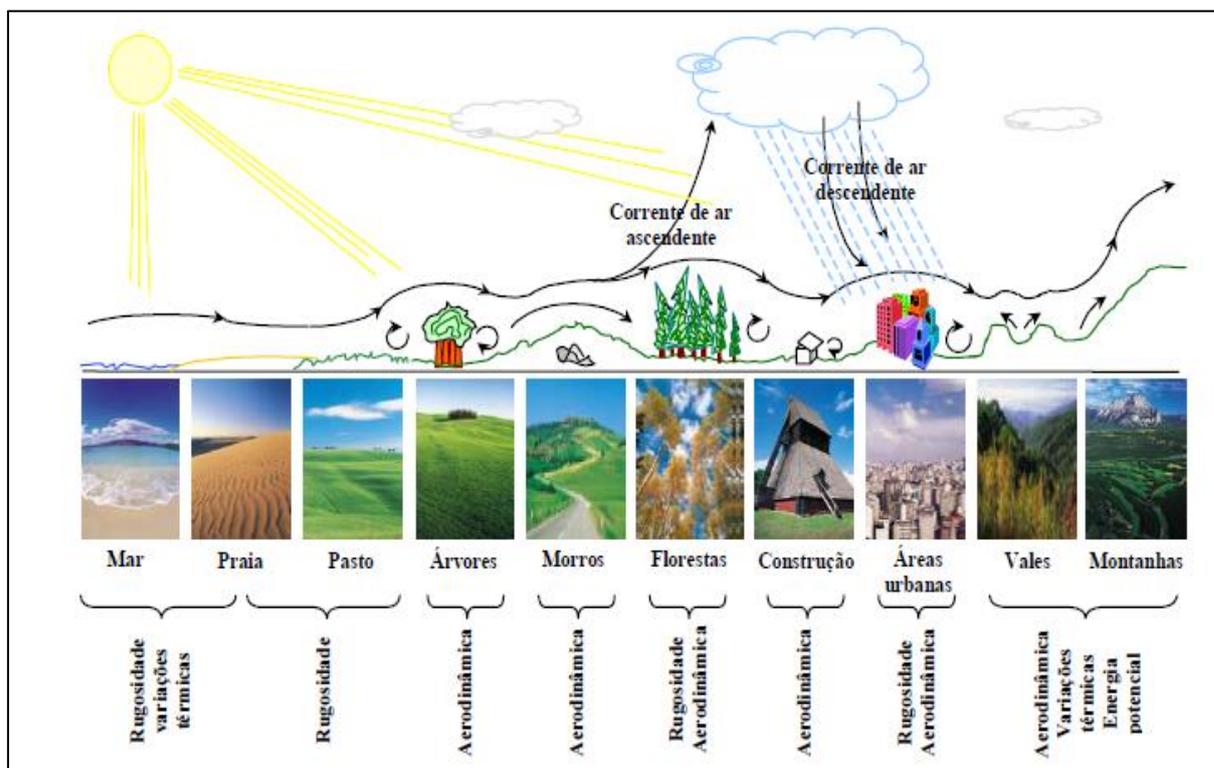
Os principais mecanismos de microescala são:

- Fenômenos aerodinâmicos associados a topografia local (elevações, depressões, entre outros) e a obstáculos naturais ou artificiais (vegetações, edifícios, entre outros) (SILVA, 2003);
- Fenômenos associados a diferenças de rugosidade entre as superfícies adjacentes ao fluxo atmosférico (SILVA, 2003);
- Fenômenos decorrentes da variação do fluxo de calor nos limites entre duas superfícies de características diferentes (capacidade térmica, por exemplo) (SILVA, 2003).

Entende-se por rugosidade de um terreno a influência que a superfície e seus acidentes exercem sobre o fluxo de ar próximo ao solo. Comumente, mede-se a

rugosidade por meio do comprimento da rugosidade da superfície ( $z_0$ ), dada unidade de comprimento. Na prática, o comprimento de rugosidade consiste na altura em que a velocidade do vento é igual à zero, considerando que o vento tenha um perfil logarítmico (CUSTÓDIO, 2009). Os diferentes efeitos de fatores locais estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 - Esquema dos diferentes efeitos de fatores locais



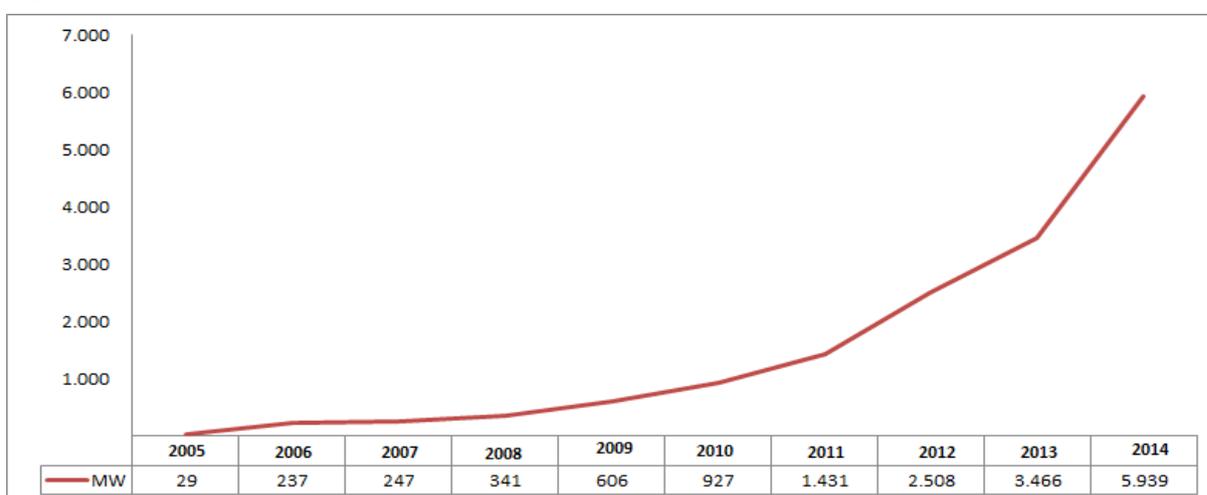
Fonte: SILVA (2003, p. 19).

## 2.2 ENERGIA EÓLICA ONSHORE

A empresa *Global Wind Energy Council* (GWEC) elabora relatórios anuais há dez anos sobre a situação da indústria eólica no mundo, fornecendo uma visão abrangente da indústria global. Trata-se de um setor que hoje está presente em mais de 80 países, sendo que 24 deles têm mais de 1.000 Mega watt (MW) instalados, enquanto 11 países possuem mais de 5.000MW instalados (GWEC, 2015). Os números indicam a crescente utilização de energia eólica em várias partes do mundo e comprovam a maturidade da tecnologia que a envolve e dos aspectos socioeconômicos que lhes são pertinentes. Como resultado, a geração eólio-elétrica expandiu-se no mundo de forma acelerada ao longo da década de 90, atingindo a escala de Giga watts (GW) (AMARANTE; BROWER; ZACK, 2001a).

Em 2014 e 2015, o Brasil passa por uma baixa alarmante na precipitação de chuva, resultando em escassez de água em muitas regiões, especialmente na região sudeste. Uma vez que o sistema elétrico brasileiro é fortemente dependente da energia hídrica, a insuficiência de água aumenta o risco de uma pane no fornecimento de eletricidade, mas esse risco foi reduzido graças à crescente contribuição dos ventos e outras fontes de energia renovável para a matriz energética brasileira. Outra conquista para a indústria eólica em 2014 foi a expansão de linhas de transmissão (LT), permitindo que a energia seja transferida a partir dos parques eólicos prontos para operar na região nordeste do Brasil. No entanto, 334MW de energia eólica ainda estão à espera da conclusão de redes de distribuição, o que indica um grave descompasso nacional na execução de tais projetos. Em termos de América Latina, o Brasil se destacou com instalações na ordem de 2.472MW neste ano, atingindo 5,9GW no acumulado de 2005-2014 (Figura 9), o que coloca o Brasil como sendo um dos mercados *onshore*<sup>2</sup> mais promissores para a geração de energia eólica para, pelo menos, os próximos cinco anos (GWEC, 2015).

Figura 9 - Capacidade total instalada acumulada de energia eólica no Brasil entre 2005 e 2014



Fonte: GEWC (2015, p. 33).

<sup>2</sup> Potencial eólico em terra.

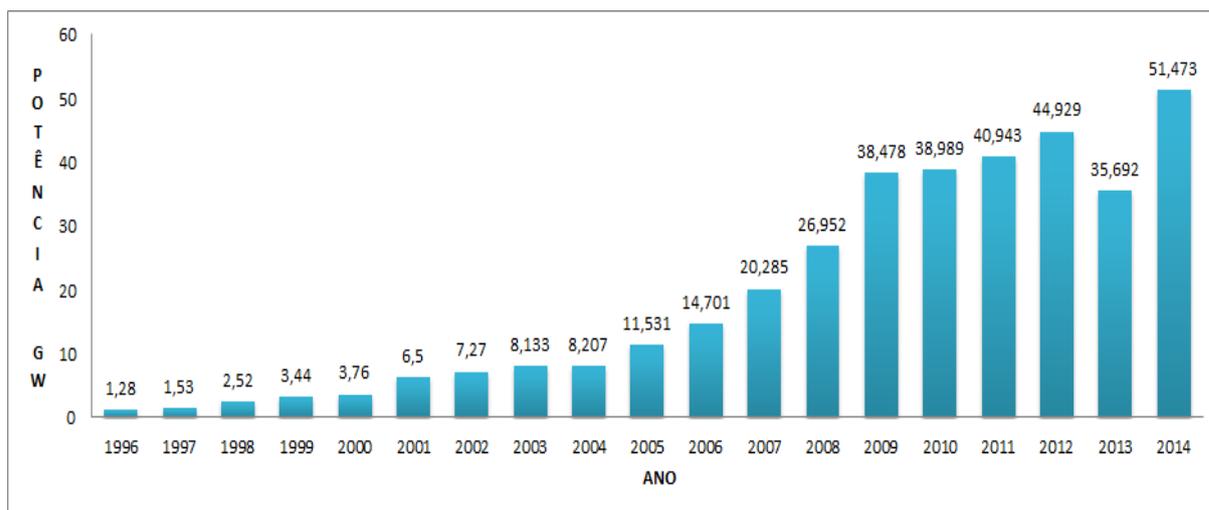
### 2.2.1 Energia Eólica *Onshore* no Mundo

O ano de 2014 foi um ano recorde para a indústria eólica, com instalações anuais que cruzaram a marca de 50GW pela primeira vez, isto é, acima da projeção para o período, que era de 47GW. Essa nova capacidade eólica foi inserida em linha, mostrando um forte aumento em comparação a 2013, quando as instalações globais foram pouco mais de 35,6GW. O recorde anterior foi estabelecido em 2012, quando quase 45GW de nova capacidade eólica foram instaladas, como mostra a Figura 10 (GWEC, 2015).

O novo acumulado global até o final de 2014 foi de 369,6GW, o que representa um crescimento cumulativo de mercado de mais 16%, inferior à taxa média de crescimento ao longo dos últimos 10 anos (2005-2014) de quase 23%, embora houvesse uma recuperação substancial em relação ao ano de 2013, como ilustrado na Figura 11 (GWEC, 2015).

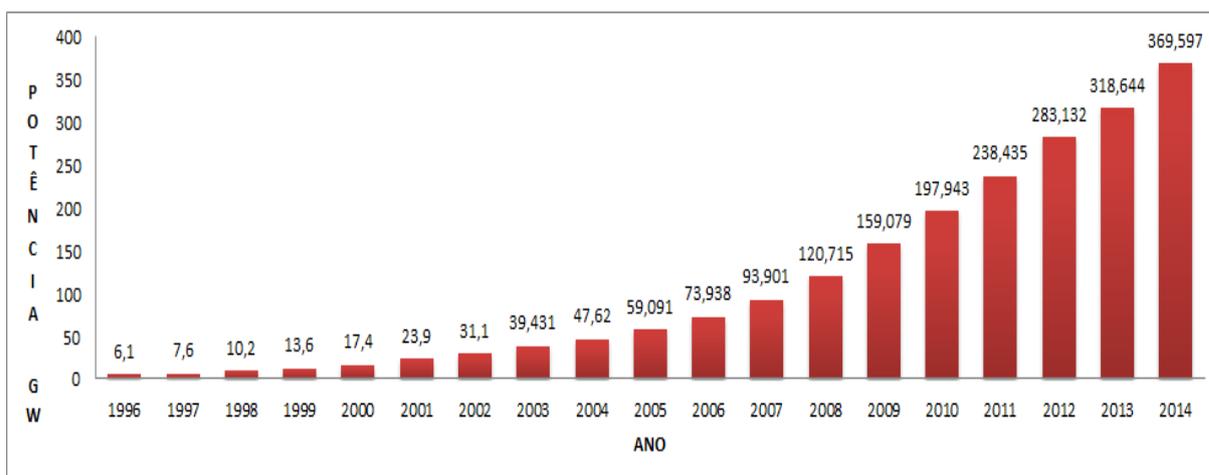
O continente asiático foi o que mais se destacou, pelo sexto ano consecutivo, em adições de geração de energia eólica, totalizando 26GW, sendo a China a grande responsável por esse feito. A China manteve-se na sua posição de liderança, acrescentando um pouco mais de 23GW de nova capacidade instalada em 2014, pretendendo quase duplicar a sua capacidade de geração eólica acumulada para 200GW até o final de 2020. O mercado eólico chinês quase dobrou sua capacidade de 62GW em 2011, para atingir 114,6GW até o final de 2014, alicerçando assim sua liderança global em termos de capacidade de energia eólica instalada acumulada. A Índia também teve um ano de 2014 espetacular, podendo-se esperar grandes investimentos para os próximos 5 a 10 anos. Houve também significativas instalações de parques eólicos no Paquistão e nas Filipinas, ajudando a Ásia a se manter em primeiro lugar entre todos os mercados continentais, e passar a Europa em termos de capacidade instalada acumulada (GWEC, 2015).

Figura 10 - Capacidade anual de energia eólica instalada no mundo de 1996-2014



Fonte: GWEC (2015, p. 11).

Figura 11 - Capacidade acumulada de energia eólica instalada no mundo de 1996 a 2014



Fonte: GWEC (2015, p. 11).

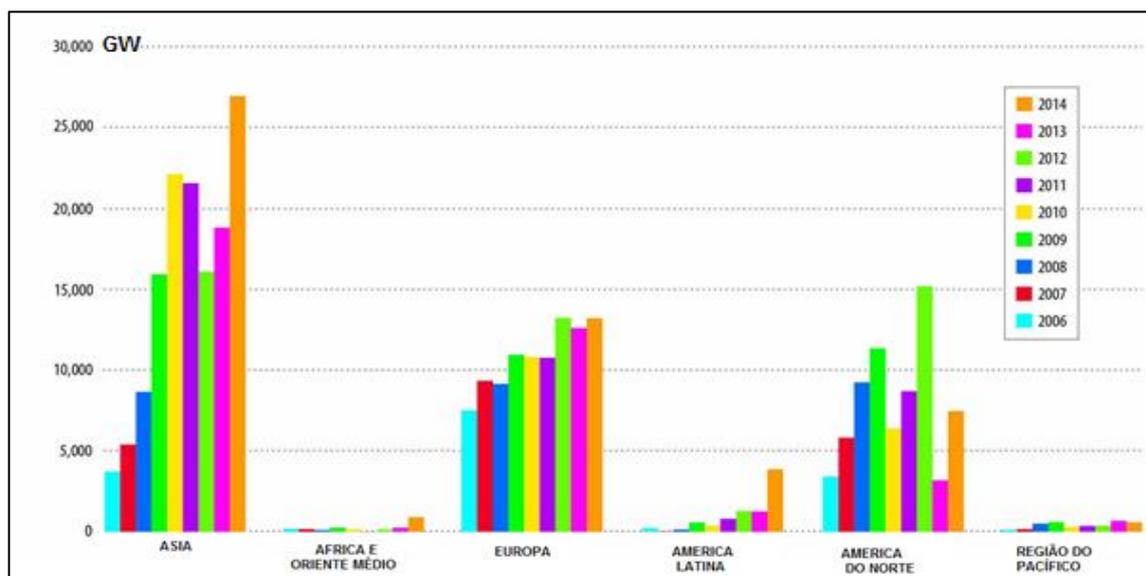
Nesse cenário global, sobressaiu-se ainda a Europa, com um sólido segundo lugar, cuja capacidade total instalada, que era menos de 50MW em 2000, passou para cerca de 134GW ao final do ano de 2014, resultando em uma taxa média anual de crescimento de cerca de 75% ao ano. A Alemanha também estabeleceu um novo recorde, com a instalação de cerca de 5,3GW. É a primeira vez que outro país, que não a China ou os Estados Unidos da América (EUA), instala mais de 5GW em um único ano. O Reino Unido, a Suécia e a França tiveram bons anos, assim como a Polônia e a Turquia. Já a América do Norte ocupa um distante terceiro lugar, mas o mercado dos EUA e do Canadá se recuperou substancialmente em 2014 (GWEC, 2015).

O mercado latino-americano, em 2014, triplicou de tamanho, em comparação a 2013, com um crescimento da capacidade instalada acumulada de quase 80%. O Brasil liderou o mercado, na 4ª posição mundial, com cerca de 2.500MW instalados no ano passado, e se mudou para o 10º lugar no *ranking* acumulativo global. Chile e Uruguai também despontaram com números expressivos e a região agora está finalmente começando a explorar o seu enorme potencial de energia eólica. A novidade, em 2014, foi a África do Sul, que instalou 560MW. O Marrocos também contribuiu com o Projeto Tarfaya, que instalou 300MW. Na Figura 12 pode-se verificar o desempenho das regiões entre os anos 2006-2014 (GWEC, 2015).

Pelo terceiro ano consecutivo, o mercado latino-americano instalou mais de 1.000MW de nova capacidade. Em 2012, seis mercados da região foram de 1.225MW para 3,5GW de capacidade total instalada. Em 2013, apenas cinco mercados, incluindo o Brasil, Chile, Argentina, República Dominicana e Uruguai, foram responsáveis por 1.219MW de nova capacidade eólica para uma capacidade total instalada de 4,7GW. Em 2014, dez mercados adicionaram novas capacidades. Isto incluiu Brasil, Chile, Uruguai, Peru, Argentina, Honduras, Costa Rica, Nicarágua, Venezuela e Equador (GWEC, 2015).

Até o final do ano de 2014, eram 24 o número de países com mais de 1.000MW de capacidade instalada, dos quais dezesseis estavam na Europa, quatro na Ásia do Pacífico (China, Índia, Japão e Austrália), três na América do Norte (Canadá, México, EUA) e um, na América Latina (Brasil). Seis países tinham mais de 10.000MW de capacidade instalada: China (114.609MW), EUA (65.879MW), Alemanha (39.165MW), Espanha (22.987MW), Índia (22.465MW) e Reino Unido (12.440MW). Neste mesmo ano, a Ásia ultrapassou a marca de 100.000MW, acrescentando mais um marco para sua história, já excepcional, de desenvolvimento de energias renováveis desde 2005. Em grande parte impulsionada pela China, a Ásia ultrapassou a Europa como a região com maior capacidade eólica instalada, como pode verificar-se na TABELA 1 (GWEC, 2015). Em muitos mercados, a energia eólica já está competindo com sucesso contra operadores altamente subsidiados, em um número crescente de mercados ao redor do mundo (GWEC, 2014a).

Figura 12 - Capacidade instalada anual por região 2006 – 2014



Fonte: GWEC (2015, p. 11).

TABELA 1 - CAPACIDADE GLOBAL INSTALADA DE ENERGIA (MW) – DISTRIBUIÇÃO REGIONAL

		Energia Acumulada até 2013	Energia Nova até 2014	Energia Acumulada até 2014
<b>ÁFRICA E ORIENTE MÉDIO</b>				
	Marrocos	487	300	787
	África do Sul	10	560	570
	Egito	550	60	610
	Tunísia	245	-	245
	Etiópia	171	-	171
	Cabo Verde	24	-	24
	Outro <sup>1</sup>	115	14	129
	<b>Total</b>	<b>1.602</b>	<b>934</b>	<b>2.536</b>
	PR China	91.413	23.196	114.609
	Índia	20.150	2.315	22.465
	Japão	2.669	130	2.789
	Taiwan	614	18	633
	Coréia do Sul	561	47	609
	Tailândia	223	-	223
	Paquistão	106	150	256
	Filipinas	66	150	216
	Outros <sup>2</sup>	167	-	167
	<b>Total</b>	<b>115.969</b>	<b>26.006</b>	<b>141.964</b>
<b>REGIÃO DO PACÍFICO</b>				
	Austrália	3.239	567	3.806
	Nova Zelândia	623	-	623
	Ilhas do Pacífico	12	-	12
	<b>Total</b>	<b>3.874</b>	<b>567</b>	<b>4.441</b>

CONTINUAÇÃO DA TABELA 1 - CAPACIDADE GLOBAL INSTALADA DE ENERGIA (MW) –  
DISTRIBUIÇÃO REGIONAL

		Energia Acumulada até 2013	Energia Nova até 2014	Energia Acumulada até 2014
<b>AMÉRICA NORTE</b>				
	Canadá	7.823	1.871	9.694
	México	1.917	634	2.551
	<b>Total</b>	<b>70.850</b>	<b>7.359</b>	<b>78.209</b>
<b>EUROPA</b>				
	Alemanha	34.250	5.279	39.165
	Espanha	22.959	28	22.987
	Reino Unido	10.711	1.736	12.440
	França	8.243	1.042	9.285
	Itália	8.558	108	8.663
	Suécia	4.382	1.050	5.425
	Portugal*	4.730	184	4.914
	Dinamarca	4.807	105	4.883
	Polónia	3.390	444	3.834
	Turquia	2.958	804	3.763
	Romênia	2.600	354	2.954
	Holanda	2.671	141	2.805
	Irlanda	2.049	222	2.272
	Áustria	1.684	411	2.095
	Grécia	1.866	114	1.980
	Resto da Europa <sup>3</sup>	5.715	835	6.543
	<b>Total Europa</b>	<b>121.573</b>	<b>12.857</b>	<b>134.007</b>
	<b>EU-28<sup>4</sup></b>	<b>117.384</b>	<b>11.829</b>	<b>128.790</b>
<b>AMÉRICA LATINA E CARIBE</b>				
	Brasil**	3.466	2.472	5.939
	Chile	331	506	836
	Uruguai	59	405	464
	Argentina	218	53	271
	Costa Rica	148	50	198
	Nicarágua	146	40	186
	Honduras	102	50	152
	Peru	2	146	148
	Caribe <sup>5</sup>	250	-	250
	Outros <sup>6</sup>	55	28	83
	<b>Total</b>	<b>4.777</b>	<b>3.749</b>	<b>8.526</b>
	<b>Total mundial</b>	<b>318.644</b>	<b>51.473</b>	<b>369.597</b>

<sup>1</sup> Argélia, Irã, Israel, Jordânia, Quênia, Líbia, Nigéria.

<sup>2</sup> Bangladesh, Mongólia, Sri Lanka, Vietnã.

<sup>3</sup> Bulgária, Chipre, República Checa, Estónia, Finlândia, Ilhas Faroé, FYROM, Hungria, Islândia, Letónia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Roménia, Rússia, Suíça, Eslováquia, Eslovénia, Ucrânia.

<sup>4</sup> Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Polónia, Portugal, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Reino Unido.

<sup>5</sup> Caribe: Aruba, Bonaire, Curaçao, Cuba, Dominica, Guadalupe, Jamaica, Martinica, Granada, São Cristóvão e Nevis.

<sup>6</sup> Bolívia, Colômbia, Equador, Venezuela.

Nota:

O projeto atrasado de aproximadamente 523MW afetam as somas finais.

\* Valor previsto

\*\* Os projetos inteiramente comissionado, ligação à rede pendente em alguns casos.

Fonte: GWEC (2015).

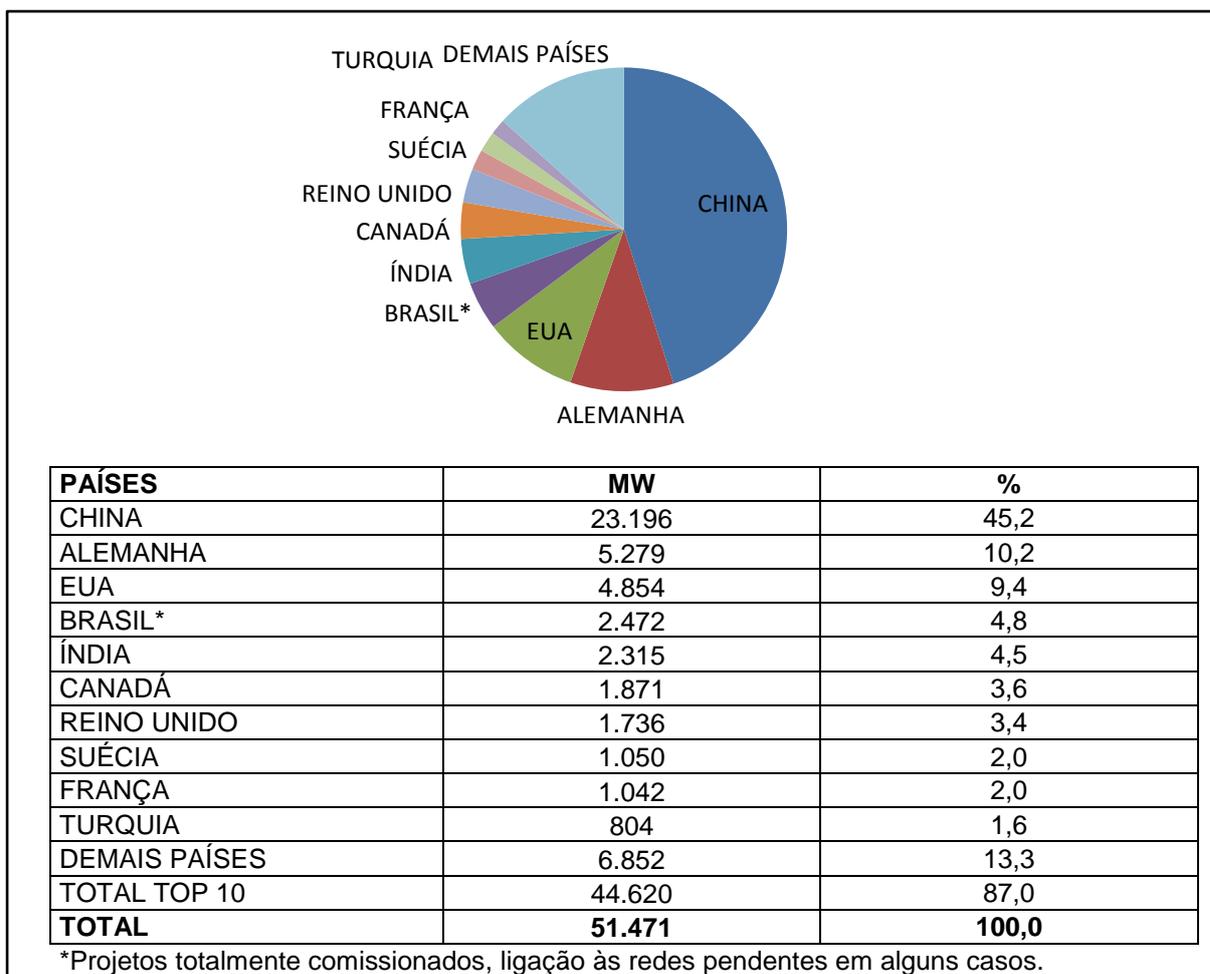
No cenário asiático, o país que mais se destacou foi a China. O maior mercado global para a energia eólica, desde 2009, mais uma vez ganhou o primeiro lugar em 2014 (GWEC, 2015), o que leva a crer que essa liderança será mantida nos próximos anos. Esse país também se destaca no mercado fornecedor para a geração eólica, com quatro empresas listadas entre as 10 maiores do segmento. Provavelmente, essas lideranças são reflexos do seu promissor mercado interno, em conjunto com uma política com certo grau de protecionismo (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012).

A Figura 13 apresenta os dez países com maior capacidade instalada no mundo, baseada em produção de energia eólica no ano de 2014. O Brasil aparece em quarto lugar, com 2.472MW de energia gerada a partir de aerogeradores, o que corresponde a 4,8% de toda a energia eólica gerada no mundo em 2014, estando, portanto, logo atrás dos Estados Unidos. Sendo o segundo ano que o Brasil se encontra entre os dez países que mais geraram energia elétrica a partir da força dos ventos, a capacidade instalada mais que dobrou nesse ano, sendo previsto um fato idêntico para 2015 (GWEC, 2015).

A energia eólica representou quase 44% de toda a nova capacidade instalada na União Europeia (UE) no ano de 2014 e foi responsável por investimentos de 13 milhões de euros a 18 milhões de euros. Instalações anuais de energia eólica na UE têm aumentado ao longo dos últimos 14 anos, passando de 3,2GW em 2000 para 11,8GW em 2014, a uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 9,8% (GWEC, 2015).

A Figura 14 apresenta os dez países com maior capacidade instalada acumulada do mundo em produção de energia eólica até dezembro de 2014. O Brasil aparece em décimo lugar, com 5.939MW de energia gerada a partir de aerogeradores, o que corresponde a 1,6% de toda a energia eólica produzida no mundo até 2014 (GWEC, 2015).

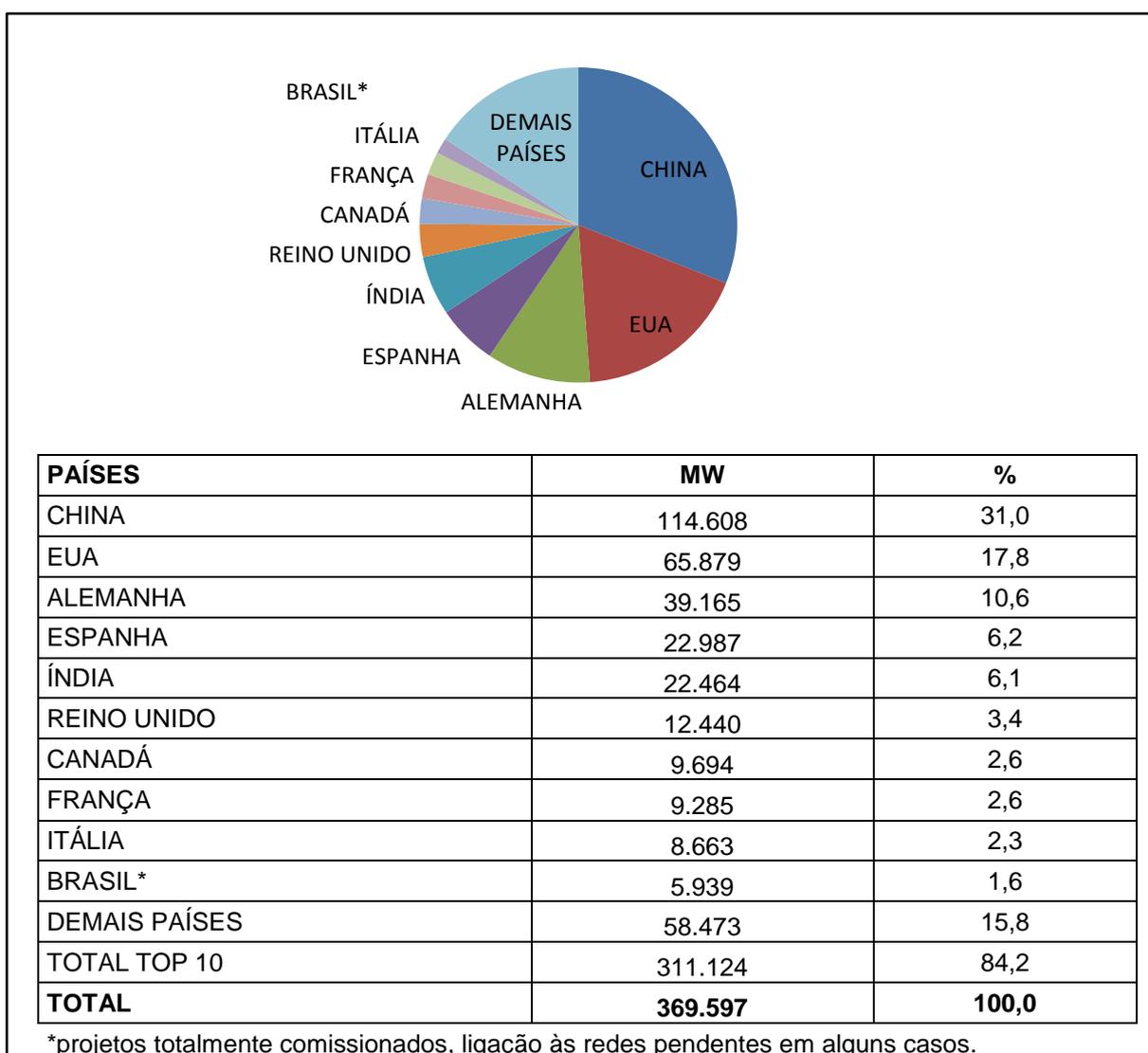
Figura 13 - Os dez países com maior capacidade de energia eólica instalada no ano de 2014



Fonte: (GWEC, 2015, p. 8).

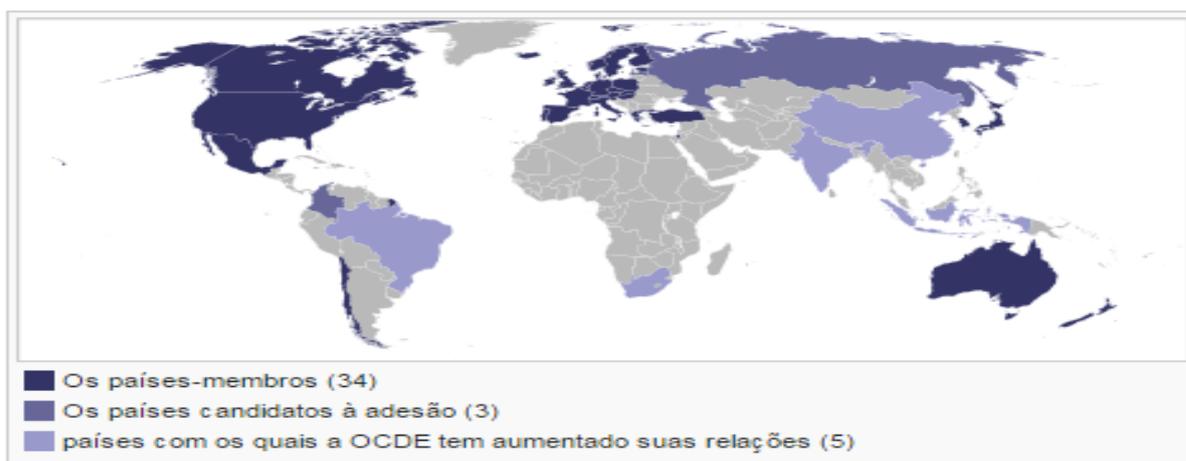
A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) é uma organização internacional composta de 34 países, que aceita os princípios da democracia representativa e da economia de livre mercado, e que procura fornecer uma plataforma para comparar políticas econômicas, solucionar problemas comuns e coordenar políticas domésticas e internacionais. A maioria dos membros são economias com um elevado Produto Interno Bruto (PIB) e um elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), sendo considerados países desenvolvidos. A Figura 15 mostra que os países destacados em azul escuro são membros da OCDE, em cor azul intermediária são candidatos a entrar na organização e os países em tom de azul mais claro são os que têm chances de adesão. Ressalva-se que o Brasil é um dos países com chances de adesão pela organização, por ter aumentado suas relações (OECD, 2007). Cabe ressaltar que a maioria das instalações eólicas do mundo está fora da OCDE e provavelmente será o caso no futuro, segundo uma previsão de curto prazo (GWEC, 2015).

Figura 14 - Os dez países com maior capacidade acumulada de energia eólica até dezembro 2014



Fonte: GWEC (2015, p. 8).

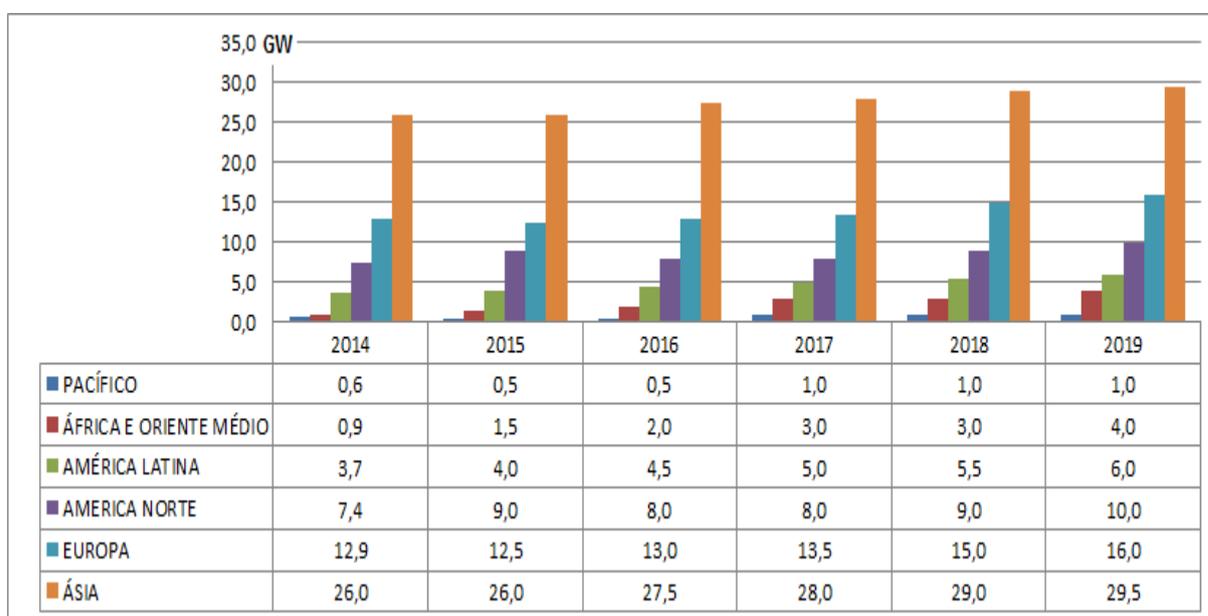
Figura 15 - Países membros e com chances de tornarem-se membros da OCDE



Fonte: WIKIPÉDIA (2015a).

Olhando para o futuro, a GWEC prevê alguns cenários para as várias regiões do mundo, entre os anos de 2015 a 2019. É provável que sejam anos bons, mas a Europa terá certa estagnação ao longo de 2015, com um crescimento considerável a seguir; a América do Norte terá altos e baixos entre o período avaliado; a Ásia deverá continuar a crescer pelos próximos 4 a 5 anos; os mercados emergentes na África, no Oriente Médio e na América Latina provavelmente continuarão a crescer; no Pacífico será dado início à exploração dessa forma de energia, como ilustrado na Figura 16 (GWEC, 2015).

Figura 16 - Previsão do mercado anual por região 2014-2019



Fonte: GWEC (2015, p. 19).

## 2.2.2 Energia Eólica *Onshore* no Brasil

No início deste milênio, houve uma grande seca no Brasil, que diminuiu o nível de água nas barragens hidrelétricas do país, causando uma grande escassez de energia. A crise que assolou a economia do país e levou ao racionamento de energia elétrica, ressaltou a necessidade urgente do país em diversificar suas fontes de energia (EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA, 2012b). Fato similar se repetiu nos anos de 2014 e 2015. O problema foi amenizado com o acionamento de termelétricas, com um impacto considerável no custo da energia, que aumentou quase 30% até meados do ano de 2015.

O esgotamento das fontes usuais, junto à necessidade de um crescimento sustentável, minimizando o impacto ambiental gerado pela ação antropogênica, induziu à busca por novas fontes, nas quais se enquadram as fontes alternativas de energia, com destaque para a energia eólica. Com um potencial promissor, a energia eólica vem ganhando força no cenário nacional, por não ser poluente e ser uma fonte inesgotável (VALENÇA, 2010).

O Brasil, por sua configuração geográfica, suas condições climáticas e a necessidade de ampliar, diversificar e revigorar a matriz energética, tem se mostrado “um campo fértil” para a geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas. No Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001, estão inseridos os mapas do potencial eólico, que revelam uma importante complementaridade geográfica entre os potenciais eólico e hidráulico brasileiro. De modo geral, as melhores áreas para o aproveitamento eólico se situam nas extremidades do sistema elétrico, ou seja, estão distantes da geração hidrelétrica. Os mapas do potencial eólico e hídrico mostram a existência de complementaridade sazonal entre os regimes naturais de vento e as vazões hídricas naturais na parcela hidrelétrica predominante do sistema elétrico brasileiro atual, de modo que a inserção de energia eólica potencializa uma maior estabilidade sazonal na oferta de energia elétrica (AMARANTE; BROWER; ZACK, 2001a). Em ambos os casos, a inserção de energia eólica no sistema elétrico pode vir a melhorar o seu desempenho na busca pelo desenvolvimento.

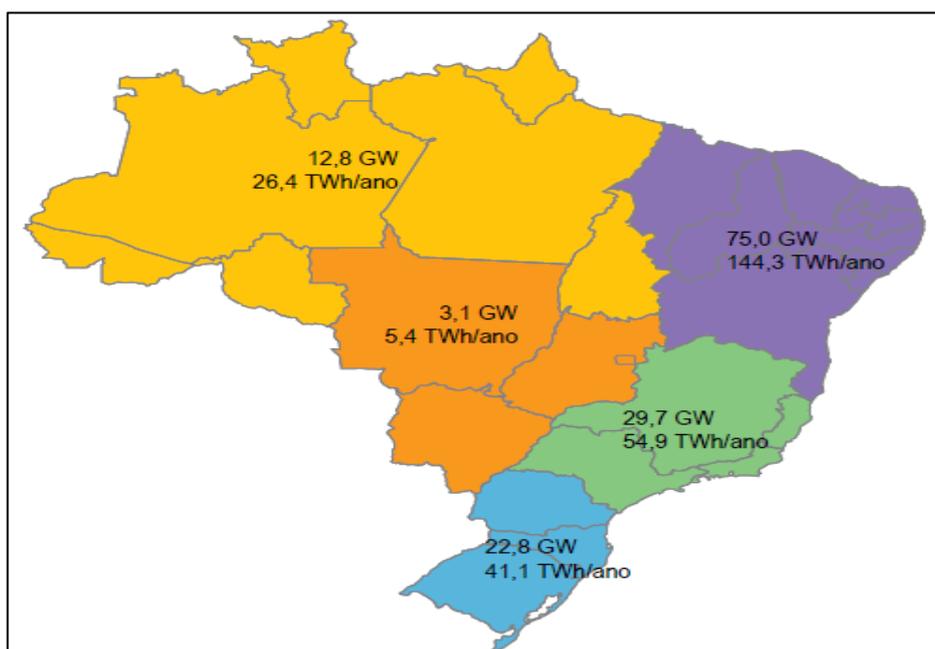
Em termos de ventos, o Brasil é favorecido com a presença duas vezes superior à média mundial e pela volatilidade de 5% (oscilação da velocidade), o que dá maior previsibilidade ao volume a ser produzido. Além disso, como a velocidade costuma ser maior em períodos de estiagem, é possível operar as usinas eólicas em sistema complementar com as usinas hidrelétricas, de forma a preservar a água dos reservatórios em períodos de poucas chuvas. Sua operação permitiria, portanto, a “estocagem” da energia elétrica. Finalmente, as estimativas apresentadas no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001 (último estudo realizado a respeito) apontam para um potencial de geração de energia eólica de 143.000MW no Brasil (ANEEL, 2008).

A partir de 2013, estimou-se um acréscimo de cerca de 2GW por ano e projetou-se que o Brasil ocuparia a 4ª ou a 5ª posição em capacidade instalada no *ranking*

mundial em 2016 (CGEE, 2012), o que já se realizou no ano de 2014, quando o Brasil ocupou o 4º lugar em capacidade instalada no *ranking* mundial (GWEC, 2015). O crescimento da energia eólica no Brasil demonstra o dinamismo dessa indústria, a qual apresenta um grande potencial de geração de empregos e de desenvolvimento da economia (CGEE, 2012). Entretanto, embora o potencial *onshore* no Brasil seja consideravelmente grande, apenas uma pequena parcela poderia ser utilizado adequadamente, devido ao relevo, ocupação da terra e impactos ambientais (ORTIZ; KAMPEL, 2011).

A Figura 17 mostra que as regiões brasileiras com maior potencial medido são: Nordeste, principalmente no litoral (75GW); Sudeste, particularmente no Vale do Jequitinhonha (29,7GW), e Sul (22,8GW) (ANEEL, 2008), região em que está instalado o maior eólico do país até o momento, o Parque Eólico Geribatu, no município de Santa Vitória do Palmar, no extremo Sul gaúcho, com 258MW de potência instalada e 129 aerogeradores que ocupam um terreno de 4,8 mil hectares, Geribatu é um dos três parques que compõem o Complexo Eólico Campos Neutrais, o maior da América Latina (PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO, 2015). Entretanto, no país, o vento é utilizado principalmente para produzir energia mecânica utilizada no bombeamento de água na irrigação (ANEEL, 2008).

Figura 17 - Potencial eólico do Brasil



Fonte: ANEEL (2008, p. 81).

No entanto, encontram-se em operação no Brasil parques eólicos *onshore* em Estados do Nordeste, Sudeste e Sul, com capacidade instalada de geração total de 3,5GW, o que representa 4% do consumo nacional de eletricidade (GWEC, 2014a). Devido aos custos cada vez mais competitivos e aos incentivos do governo federal, essa fonte de energia renovável deverá apresentar um crescimento significativo durante os próximos anos (NEOENERGIA, 2009).

No Brasil, o impulso dessa tecnologia aconteceu por meio de um programa federal, o PROINFA, que possibilitou a implantação de algumas usinas no litoral nordestino e no Sul brasileiro. Há usinas em Mucuripe - Fortaleza, Prainha - Ceará, Osório - Rio Grande do Sul e Rio do Fogo - Rio Grande do Norte. O primeiro aerogerador foi instalado no Brasil em Fernando de Noronha – Pernambuco, em junho de 1992. O projeto, realizado em parceria com o Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), obteve financiamento do *Folkecenter* (um instituto de pesquisas dinamarquês). A turbina possui um gerador assíncrono de 75kW (quilo watt), rotor de 17m de diâmetro e torre de 23m de altura, conforme mostrado na Figura 18 (ANEEL, 2005a; AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Figura 18 - Primeira turbina eólica do Brasil instalada em Fernando de Noronha



Fonte: ANEEL (2005a, p. 105).

Em 1992, ano em que a turbina mostrada na Figura 18 foi instalada, sua capacidade de geração correspondia a cerca de 10% da energia gerada na ilha, proporcionando uma economia de aproximadamente 70.000 litros de óleo diesel por ano. A segunda turbina (Figura 19) foi instalada em maio de 2000 e entrou em operação em 2001. O projeto foi realizado pelo Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas (CBEE), com a colaboração do *RISØ National Laboratory of Denmark*, e financiado pela ANEEL. Juntas, as duas turbinas geram até 25% da eletricidade consumida na ilha. Esses projetos tornaram Fernando de Noronha o maior sistema híbrido eólico-diesel do Brasil (ANEEL, 2005a).

As três regiões geográficas com os maiores parques eólicos brasileiros são Litoral Nordeste, Bahia e Rio Grande do Sul. O Litoral Nordeste abrange os Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, enquanto a Bahia abrange, além do próprio Estado, também o centro-sul de Pernambuco (EPE, 2014a).

Figura 19 - Segunda turbina eólica de Fernando de Noronha



Fonte: ANEEL (2005a, p.106).

Em 2014, o Brasil construiu 95 novos parques eólicos, totalizando 2,5GW, dos quais 69 (1,8GW) vieram em linha; os outros 23 (600MW) foram ligados à rede em “fase de operação de teste”. No final do ano, três parques eólicos, que totalizam 90MW, ainda estavam esperando para serem conectados. Sendo, a capacidade eólica acumulada no Brasil de 5,9GW com 237 parques eólicos, dos quais 202 (5.005MW) estavam em pleno funcionamento e conectados à rede; 23 parques eólicos (600MW), conectados a rede sob “fase de operação de teste”; doze parques eólicos, totalizando 334MW, estão esperando para serem conectados, conforme mostrado na TABELA 2 (GWEC, 2015). A expectativa dos especialistas é que a matriz de geração de energia elétrica no Brasil baseadas em fontes renováveis deverá representar perto de 86% em 2023, superando a atual predominância destas fontes. A indústria eólica brasileira tem o objetivo de manter o crescimento de, pelo menos, 2 GW por ano e conservar os preços de leilões em um nível adequado, o PDE 2023 estabeleceu uma meta para a energia eólica chegar a quase 12% da capacidade nacional de geração ou 22GW em 2023 (TOLMASQUIM, 2012; EPE, 2014b).

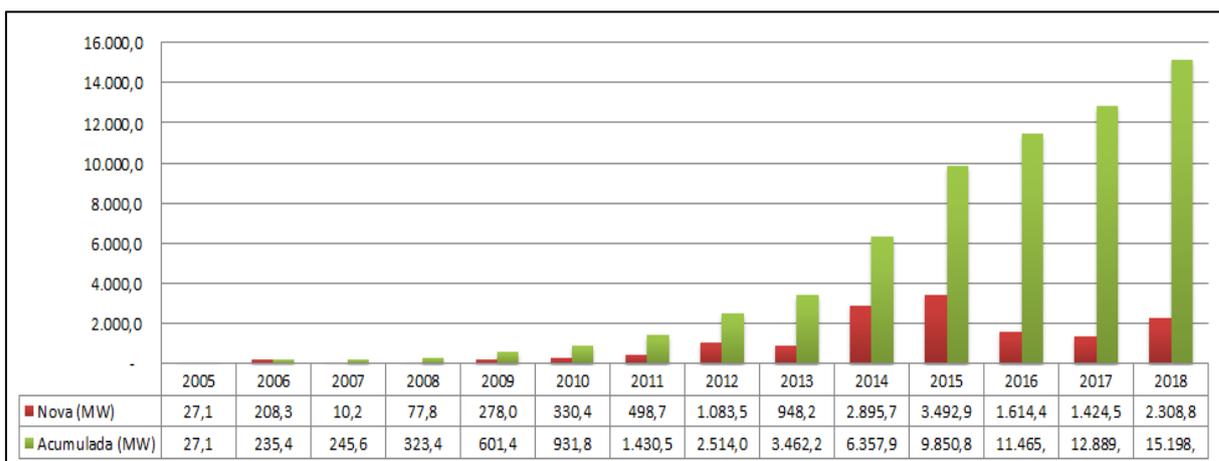
A curva da capacidade instalada da fonte eólica mostra o crescimento virtuoso da fonte no decorrer dos anos (Figura 20). A composição dos dados é feita por meio da consolidação das capacidades no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e no Ambiente de Contratação Livre (ACL). Ao final de 2018, serão 15,2GW instalados em território brasileiro, já contabilizando a contratação realizada no dia 31 de outubro de 2014, no 6º Leilão de Energia de Reserva – LER (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2014).

TABELA 2 - CAPACIDADE INSTALADA POR ESTADOS BRASILEIROS EM 2014 (MW)

<b>Estado</b>	<b>Capacidade Instalada em 2014</b>	<b>Capacidade Acumulada ao final de 2014</b>
Bahia	342,8	931,4
Ceará	572,2	1.233,2
Paraíba	-	69,0
Pernambuco	79,9	104,7
Piauí	70,0	88,0
Paraná	-	2,5
Rio de Janeiro	-	28,1
Rio Grande do Norte	752,6	2.092,0
Rio Grande do Sul	654,9	1.118,8
Santa Catarina	-	236,4
Sergipe	-	34,5
<b>Total</b>	<b>2.472,4</b>	<b>5.938,6</b>

Fonte: GWEC (2015, p. 33).

Figura 20 - Previsão da evolução da capacidade instalada no Brasil em (MW) de 2005-2018



Fonte: ABEEólica (2014, p. 04).

Todos os tipos de contratação de energia podem ser analisados na TABELA 3, destacando-se os leilões PROINFA, LER, LFA, A-3, A-5 e ACL, de 2009 a 2014, com suas respectivas potências e números de parques (ABEEÓLICA, 2014).

A Figura 21 ilustra o cronograma dos leilões que contrataram energia para suprimento ao acréscimo de carga prevista pelos especialistas para o decênio de 2014-2023 (EPE, 2014b). Observa-se o agendamento dos leilões para o primeiro quinquênio do período, embora o segundo quinquênio ainda esteja em planejamento.

TABELA 3 - A CONTRATAÇÃO DE ENERGIA EM MW

Leilão	Potência(MW)	Nº de Parques
<b>PROINFA</b>	1.303,70	53
<b>LER 2009</b>	1.904,80	71
<b>LER 2010</b>	545,2	20
<b>LFA 2010</b>	1.521,40	50
<b>LER 2011</b>	862	34
<b>A-3 2011</b>	1.055,00	44
<b>A-5 2011</b>	1.014,80	41
<b>A-5 2012</b>	249,6	9
<b>LER 2013</b>	1.503,50	66
<b>A-3 2013</b>	867,6	39
<b>A-5 dez/13</b>	2.332,80	97
<b>A-3 2014</b>	551	21
<b>LER 2014</b>	769,1	31
<b>ACL</b>	717,8	36

Fonte: ABEEólica (2014, p. 04).



(CCEA). Os contratos devem ser obrigatoriamente registrados na CCEE, instituição responsável por realizar a liquidação financeira das diferenças entre os montantes contratados e os montantes efetivamente consumidos (CCEE, 2006).

No MCP, todos os contratos de compra e venda de energia, celebrados tanto no mercado ACR como no ACL, devem ser informados na CCEE, que realiza a medição dos montantes efetivamente produzidos/consumidos por cada agente. As diferenças apuradas, positivas ou negativas, são contabilizadas para posterior liquidação financeira no MCP e valoradas ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Assim, o MCP pode ser definido como o segmento da CCEE em que são contabilizadas as diferenças entre os montantes de energia elétrica contratada pelos agentes e os montantes de geração e de consumo efetivamente verificados e atribuídos aos respectivos agentes. No MCP, não existem contratos, ocorrendo a contratação multilateral, conforme as Regras de Comercialização (CCEE, 2006).

O Estado do Espírito Santo não é referência em nenhum tipo de geração de energia. No entanto, foi elaborado o atlas eólico para promover um desenvolvimento socialmente inclusivo, ambientalmente responsável e geograficamente desconcentrado, visando a dar subsídios aos futuros investidores interessados em construir parques eólicos em Municípios capixabas. Entre os locais considerados promissores no ES, conforme o estudo contratado pela Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado (ASPE), ligada à Secretaria de Estado de Desenvolvimento (SEDES), estão os Municípios de Linhares, Presidente Kennedy e Marataízes (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

O Estado ainda não possui usinas eólicas (seja *onshore*, seja *offshore*) instaladas em seu território. Contudo, possui um potencial eólico considerável, comparado com os Estados produtores de energia eólica do Brasil. A potência eólica no mar do Espírito Santo é aproximadamente cinco vezes superior à capacidade de geração de energia em terra. O potencial eólico sobre o mar (*offshore*) ao longo do litoral do ES é estimado em 4,7GW, sendo que, em alguns locais, a velocidade média do vento é superior a 7m/s, a uma altura de 75m. Tal potencial pode vir a ser explorado para a construção de usinas eólicas no futuro (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

O levantamento do atlas concluiu que o potencial de geração eólica sobre a terra (*onshore*) do Estado do Espírito Santo é promissor (1,79GW a 75m de altura para áreas com ventos iguais ou superiores a 6,5m/s) e poderá ser aproveitado gradativamente nos limites de inserção do sistema elétrico regional. O uso da energia eólica pode alavancar o crescimento econômico e a autossustentabilidade energética do ES, em função do seu potencial para duplicar a capacidade atual de geração elétrica (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Embora haja tanta pré-disposição em ser autossustentável, a realidade do ES é diferente, visto que ainda se importa aproximadamente 67% de toda a energia que se consome, enquanto cerca de 63,9% da sua capacidade de geração é oriunda de fonte térmica, destoando, em muito, do que é visto no Brasil como um todo, que tem a maior parte de sua geração de energia elétrica vinda de usinas hidrelétricas (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

### 2.3 ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

Desde o início do século XX, alguns cientistas já vinham sugerindo que o suprimento de energia para a sociedade deveria provir de fontes renováveis (ORTIZ; KAMPEL, 2011). “Quaisquer que sejam nossos recursos de energia no futuro, devemos ser racionais, obtê-la sem o consumo de nenhum material” (TESLA, 1900). No entanto, essa idéia foi logo suprimida pela exploração dos combustíveis fósseis ao longo de décadas e, somente há pouco tempo, a preocupação com a sustentabilidade de nosso padrão de vida e dos recursos naturais retornou às mesas de discussões (ORTIZ; KAMPEL, 2011).

A tecnologia de construção de usinas eólicas sobre o mar (*offshore*) tem se desenvolvido bastante nos últimos anos. O Departamento de Energia dos Estados Unidos da América diz que a energia eólica, incluindo os parques eólicos *offshore*, poderia ser responsável por até 20% da geração de eletricidade dos Estados Unidos da América (EUA) até 2030. Por enquanto, os EUA estão ainda tentando construir seu primeiro parque eólico *offshore*, enquanto a Europa tem mais de duas dezenas de parques, onde já se pensa em programar grandes sistemas de energia interligados no mar para compensar as sazonalidades. Isso vem acontecendo,

principalmente, nos últimos anos, em países do norte da Europa, como Suécia, Dinamarca, Irlanda, Reino Unido e Holanda (MOSEMAN, 2009).

Para confirmar tal situação, a multinacional francesa de soluções energéticas e transportes, *Alstom*, concluiu a instalação da maior turbina eólica *offshore* do mundo em águas marítimas. Com uma capacidade de 6MW, a turbina *Haliade 150* foi instalada ao largo de *Ostend*, na Bélgica. A Figura 22 mostra como o transporte da turbina exigiu uma grande operação (PORTOGENTE, 2013).

Embora, atualmente, a maioria dos sistemas operacionais *offshore* esteja concentrada em um pequeno número de países do Norte europeu, o interesse em parques eólicos *offshore* está aumentando rapidamente em todo o mundo (GREEN; VASILAKOS, 2011). As instalações *offshore* foram responsáveis por quase 14% da energia eólica total da União Europeia (UE), instaladas em 2013. Houve um aumento de 10% em relação a 2012, sendo um recorde anual para instalações *offshore*, com 1.567MW de nova capacidade conectada à rede (GWEC, 2014a). Até 2006, os parques eólicos *offshore* mais profundos tinham cerca de 20m de profundidade e mais 15m de fundação, mas em 2007 inauguraram-se projetos a 45m de profundidade (VITERBO, 2008).

Figura 22 - Transporte de turbina exigiu grande operação



Fonte: PORTOGENTE (2013).

Ainda que essas usinas sejam consideravelmente mais caras que os empreendimentos convencionais (*onshore*), existe uma tendência a torná-las mais competitivas. Além disso, observa-se uma tendência à elevação dos custos de implantação de novas unidades geradoras, mesmo das que usam energias convencionais (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Um estudo mais recente mostrou que o potencial eólico brasileiro *offshore* pode ser três vezes maior, ou seja, em torno de 600GW a 80m de altura e em uma profundidade entre 0 e 10 m para toda a costa (ORTIZ; KAMPEL, 2011). Pela primeira vez, foi avaliado esse potencial de energia, com dados obtidos pelo satélite *Quick Scatterometer* (QuikSCAT), entre agosto de 1999 e dezembro de 2009. Estima-se que o potencial energético *offshore* na Zona Econômica Exclusiva (ZEE)<sup>3</sup> brasileira é cerca de 12 vezes maior que na área continental do país, sendo capaz de alavancar o desenvolvimento sustentável do Brasil a longo prazo. Com essa perspectiva, diversos países estão investindo em energia eólica *offshore* (GWEC, 2014a).

O primeiro parque eólico *offshore* foi instalado em Vinderby, na Dinamarca, no ano de 1991, situado no Mar Báltico a cerca de 2km da costa, composto por 11 turbinas de 450kW, conforme mostrado na Figura 23. Anos mais tarde, em 1996, foi construído o parque Irene Vorrink, na Holanda, com 28 turbinas gerando 16,8MW (DAHER, 2006).

Figura 23 - Primeiro parque eólico *offshore* do mundo, em Vinderby na Dinamarca



Fonte: CASTRO (2009, p. 9).

<sup>3</sup>Zona Econômica Exclusiva (ZEE), onde o país tem jurisdição para agir em questões ligadas à alfândega, à saúde, à imigração, aos portos e à circulação (PODER NAVAL, 2010).

Em 2002, o parque eólico de Horns Reef, instalado na costa oeste da Dinamarca, tinha uma capacidade total de 160MW, com 80 turbinas (NUNES, 2010). A disposição para a ampliação da potência unitária, conexas ao melhor conhecimento da tecnologia das fundações das turbinas no mar e das condições de vento no local, está a cotizar-se para tornar mais competitiva essa forma de aproveitar a energia do vento em condições ambientais díspares das de terra (DAHER, 2006).

Nos primeiros seis meses de 2014, a Europa possuía 224 turbinas eólicas *offshore* inteiramente ligadas à rede, em 16 parques eólicos comerciais e com uma capacidade combinada, de 781MW. Havia ainda 310 turbinas eólicas a serem conectadas à rede, correspondendo a um adicional de mais de 1.200MW. A capacidade total de todos os parques eólicos em construção é superior a 4.900MW quando totalmente instalados (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 2014).

Em 2014, a capacidade total instalada acumulada de energia eólica *offshore* para a Europa estava em 8GW, compreendido em 74 parques em 11 países. Quase 1,5GW de energia eólica *offshore* foi instalado em 2014, 5,3% menor do que 2013. As instalações de energia eólica *offshore* representaram 12,6% ao ano do mercado da UE, abaixo dos 14% em 2013. O Reino Unido tem a maior capacidade de energia eólica *offshore* da Europa — 4,5GW —, representando mais de 55% de todas as instalações. A Dinamarca segue com 1,2GW ou 15,8% do mercado em ação. A Alemanha é a terceira, com uma quota de 13%, seguida pela Bélgica (8,8%), pelos Países Baixos (3,1%), pela Suécia (2,6%) e por outros países daquele continente, com menos de 1% (GWEC, 2015).

Vale ressaltar que o Japão, em 2011, possuía capacidade eólica instalada de 2.304MW distribuídas em 1.746 turbinas, sendo que sete delas são de 2MW e estão instaladas em uma região cuja profundidade do mar é de 40m, a 300km do epicentro do terremoto de março de 2011. Logo, naquele ano, tais aerogeradores foram atingidos por *tsunami* de 5m. Embora algumas turbinas eólicas tenham parado de funcionar, como resultado de falha na rede causada pela catástrofe, a maioria das turbinas permaneceu totalmente operacional e contribuiu para suprir a geração de energia no Japão durante a crise. Os aerogeradores resistiram e foram colocados em operação três dias mais tarde. Apenas uma turbina, em Kamisu Figura 24, foi posta fora de serviço, uma vez que se inclinou ligeiramente devido à extrema

liquefação do solo. Esse foi o único dano causado pelo terremoto a tais turbinas, sendo colocada de volta na posição e novamente posta em serviço durante o curso de 2011. Isso comprova claramente que a tecnologia usada é segura e o Japão evidenciou que é líder nos denominados projetos *battle proof design* (GWEC, 2012).

Figura 24 - Parque eólico *offshore* de Kamisu após o *tsunami*



Fonte: GWEC (2012).

## 2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO EÓLICA *OFFSHORE*

A energia eólica merece atenção especial no Brasil pela sua complementariedade à matriz energética, pois age como um reforço para a energia produzida principalmente pela base hidrelétrica, o que é de grande benefício, dado que os períodos de estiagem (quando os reservatórios de água estão em baixa e geram menor potência para produção de energia elétrica) ocorrem nos mesmos períodos em que há maior incidência de ventos, sendo, dessa forma, uma importante maneira de contornar o problema de sazonalidade de tais fontes renováveis PEREIRA et. al, 2012; SILVA et al, 2013). Embora a origem da energia eólica *offshore* date da década de noventa do século passado, o crescimento dessa tecnologia está apenas

começando a acontecer (ESTEBAN ET AL., 2011). As razões pela opção de parques eólicos *offshore* em geral são as seguintes:

- Potencial eólico superior em alto-mar, comparado ao potencial em terra (ADELAJA et al., 2012; ESTEBAN et al., 2011; GWEC, 2013; SNYDER; KAISER, 2009);
- Maior eficiência energética dos atuais aerogeradores, consequência do amadurecimento da tecnologia e da capacidade de cada unidade de produzir uma maior quantidade de energia, devido ao grande potencial dos parques eólicos (NUNES, 2010);
- Menor rugosidade (LOPES, 2010; ISEL-DEEA, 2007) e, conseqüentemente, maior produção de energia pelas turbinas (TAVARES, 2010). Além disso, a menor rugosidade faz com que a variação da velocidade do vento com a altura seja pequena, fazendo-se necessárias torres menos elevadas. A velocidade média do vento em *offshore* pode ser 20% maior que a velocidade do vento *onshore*. Em contrapartida, a propagação das turbulências *offshore* é menor do que *onshore*, devido à rugosidade limitada da superfície do mar (GEOLOGIA, 2009). A TABELA 4 apresenta os valores de rugosidades em algumas superfícies típicas, inclusive a do mar.

TABELA 4 - VALORES TÍPICOS DE RUGOSIDADE ( $Z_0$ ) EM DIFERENTES SUPERFÍCIES

Descrição do tipo de terreno	$Z_0$ (m)
Superfícies muito lisas, neve ou lama	0,00001
Mar calmo	0,0001
Mar com ondas	0,0005
Areia	0,0003
Superfície com neve	0,001
Solo descoberto	0,005
Gramma rasteira, estepe	0,01
Campo não cultivado	0,03
Campos agrícolas	0,05
Abrigos	0,3
Florestas e áreas arborizadas	0,5
Subúrbio	0,8
Cidade	1,0

Fonte: Adaptação. EWEA (2009).

- Menor turbulência, o que diminui a fadiga das turbinas e aumenta seu tempo de vida útil (ESTEBAN et al., 2011; TAVARES, 2010);
- Esgotamento de locais em terra para instalar turbinas eólicas (NUNES, 2010);
- Geralmente as grandes cidades estão situadas em regiões costeiras (GWEC, 2013; SNYDER; KAISER, 2009);
- Grande disponibilidade de área marítima, sem que seja necessário arrendamento de terrenos ou compra de faixas de terras que elevam o custo do projeto, devido à disponibilidade de largas áreas não exploradas (ADELAJA et al., 2012; GWEC, 2013; NUNES, 2010);
- Dificuldade em transportar os aerogeradores de grandes dimensões (tipicamente rotores de 80m de diâmetro e a estrutura das torres com mais de 100m de altura) por terra, devido às restrições do transporte (dimensão dos caminhões e das vias terrestres). Com isso, o transporte marítimo, por meio de navios de grandes dimensões, se torna uma alternativa muito mais viável (NUNES, 2010);
- Mitigação do impacto sonoro e visual para as cidades ou comunidades próximas (ADELAJA et al., 2012; ESTEBAN et al., 2011; SNYDER; KAISER, 2009; MARKARD; PETERSON, 2009; NUNES, 2010);
- Geração de créditos de carbono via Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (NUNES, 2010);
- Complementaridade com a geração hidráulica, no caso do Brasil especificamente (NUNES, 2010);
- Estudos de impacto ambiental (inicialmente, o principal problema ambiental era com o impacto de pássaros nas pás, o que praticamente desapareceu com as turbinas de grande porte, com menores velocidades angulares dos rotores) são mais simples e mais rápidos do que os requeridos para a exploração de fontes tradicionais de geração de energia elétrica como a hidráulica.

Essas e outras razões, relacionadas com as restrições ambientais sobre a utilização do solo, o impacto visual e o ruído produzido pelos aerogeradores têm levado, nos últimos anos, à procura constante de locais para construção de parques *offshore* (NUNES, 2010). Em contrapartida, boa parte das desvantagens das instalações *offshore* refere-se a uma maior complexidade de instalações no mar, podendo-se citar:

- Custos mais elevados, os quais podem ser compensados por meio de parques eólicos *offshore* maiores e com turbinas mais potentes (MUSIAL; BUTTER; RAM, 2006);
- Condições de trabalho desfavoráveis (JONKMAN, 2007);
- Maiores dificuldades de instalação (ESTEBAN et al., 2011);
- Acessibilidade limitada para manutenção (JONKMAN, 2007);
- Necessidade de medidas especiais para prevenção de corrosão (MUSIAL; BUTTER; RAM, 2006);
- Tecnologia específica contra corrosão (ESTEBAN et. al., 2011);
- Risco de tempestades e ciclones tropicais, que podem danificar os equipamentos (ESTEBAN et al., 2011; JONKMAN, 2007).

## 2.5 CONCLUSÃO

O ano de 2014 foi um grande ano para a indústria mundial de energia eólica, com 44% de crescimento anual do mercado e registro de instalação de mais de 51GW de energia, recuperando-se, portanto, da maior queda na história dessa indústria ocorrida no ano de 2013. O país que mais contribuiu para esse trunfo singular foi a China, que obteve uma instalação surpreendente de 23GW no ano de 2014, contribuindo sozinha com 45% do mercado anual. Os novos mercados emergentes, particularmente na África e na América Latina, e algumas surpresas na Ásia também pesaram positivamente nesse melhor desempenho do setor no ano de 2014.

Mercados da OCDE continuam a fazer progressos constantes, embora a distribuição do mercado não seja tão ampla quanto se necessite (GWEC, 2015).

O Brasil, maior economia da América Latina, é também o líder em instalações de energia eólica nessa região. Historicamente, o Brasil tem dependido fortemente da geração de energia hidrelétrica, que até recentemente produziu 80% das necessidades de eletricidade do país. Como as fontes eólica e hidrelétrica se completam do ponto de vista da sazonalidade, essa combinação se mostra bastante viável, pois, além disso, o país tem um enorme potencial ainda não explorado para a energia eólica, atrelado a uma demanda por energia elétrica crescente e uma base industrial sólida (GWEC, 2014b).

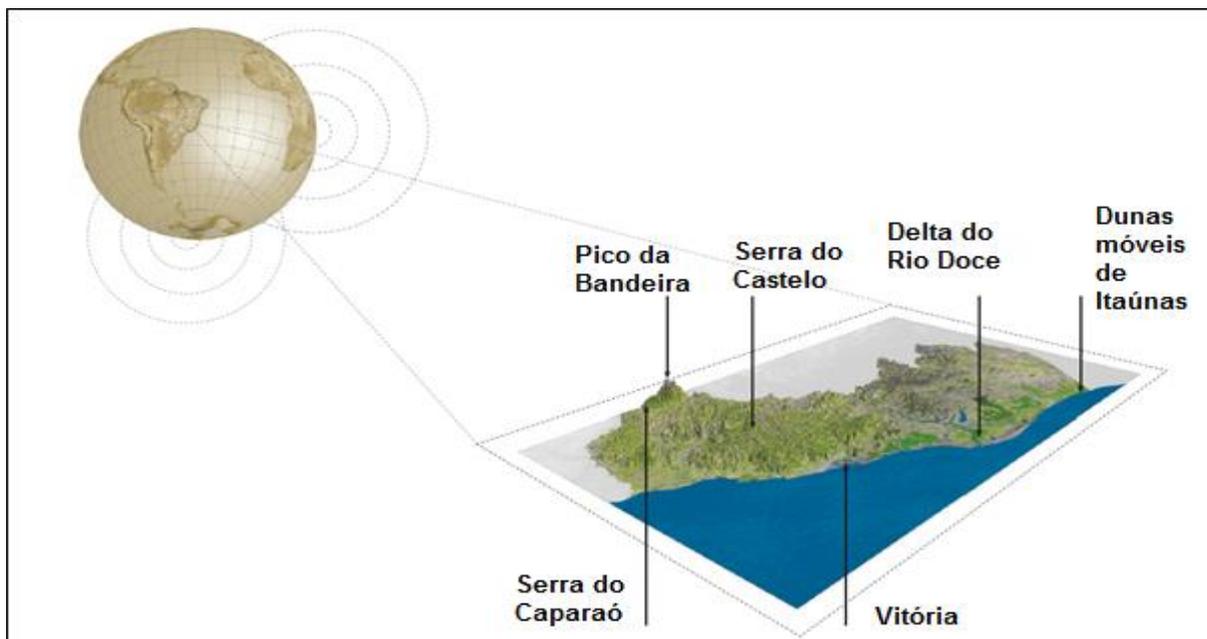
Depois de um início bastante lento para encerrar empreendimentos de energia eólica no primeiro semestre da última década deste século, o mercado eólico brasileiro vem se desenvolvendo bem. Em 2011, 582MW foram adicionados, aumentando a capacidade instalada acumulada em 1.509MW. Até o final de 2013, a capacidade instalada total situou-se em mais de 3,4GW. Em agosto de 2014, o Brasil tinha quebrado a marca de 5GW em capacidade total instalada. Chegou perto de 6GW até o final de 2014, representando quase 70% de crescimento acumulado, algo até então visto apenas na China. O Brasil é o mercado mais promissor para a energia eólica na região, pelo menos durante o resto da década (GWEC, 2014b; GWEC, 2015). No entanto, o país ainda não ousou empreender em parques eólicos *offshore*, embora possua um enorme potencial a ser explorado, distribuído em mais de 7.000km de litoral.

### 3 CARACTERÍSTICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

O Estado do Espírito Santo localiza-se na região sudeste do Brasil, entre os paralelos 17°53'29"S e 21°18'03"S e os meridianos 39°41'18"W e 41°52'45"W (INSTITUTO DE PESQUISA DA MATA ATLÂNTICA, 2005), ocupando uma área territorial de 46.077km<sup>2</sup>, o que representa 0,54% do território brasileiro (SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO DO ESPÍRITO SANTO, 2006). Seus limites são formados pelo Oceano Atlântico, ao leste, e pelos Estados da Bahia, ao norte; Minas Gerais, a oeste, e Rio de Janeiro, ao sul. A Figura 25 apresenta uma síntese das características geográficas do Estado do Espírito Santo, por meio do mosaico do satélite *LANSAT 5*, sobreposto ao relevo, com a escala vertical exagerada em 10 vezes para melhor visualização (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

O ES pode ser dividido geograficamente em duas zonas principais: a região dos tabuleiros e a região serrana (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009). A região dos tabuleiros, com altitudes em torno de 50m, compreende a área da baixada litorânea, a qual é alargada ao norte da capital, Vitória. Caracteriza-se pela floresta de tabuleiros, uma vegetação densa, com árvores de altura superior a 30m e espaçadas (INSTITUTO DE PESQUISA DA MATA ATLÂNTICA, 2005; AMORIM, 1984). Densamente povoado em torno da capital, o litoral capixaba é marcado por belas praias, pela planície costeira do delta do Rio Doce, pelas dunas móveis de Itaúnas e pela Ilha de Vitória (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009). A região serrana é formada por maciços montanhosos, cortados por rios de vales profundos. Sobre ela, a cobertura original de floresta atlântica de altitude foi intensamente explorada, dando lugar, em grande parte, a uma capoeira alta e rica em imbaúbas (AMORIM, 1984; IPMA, 2005). Os principais elementos geográficos da região serrana capixaba são a Serra do Castelo e a Serra do Caparaó, que abriga o terceiro ponto mais alto do Brasil, o Pico da Bandeira, com altitude de 2.892m (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004).

Figura 25 - Representação da localização do Estado do Espírito Santo e suas características geográficas

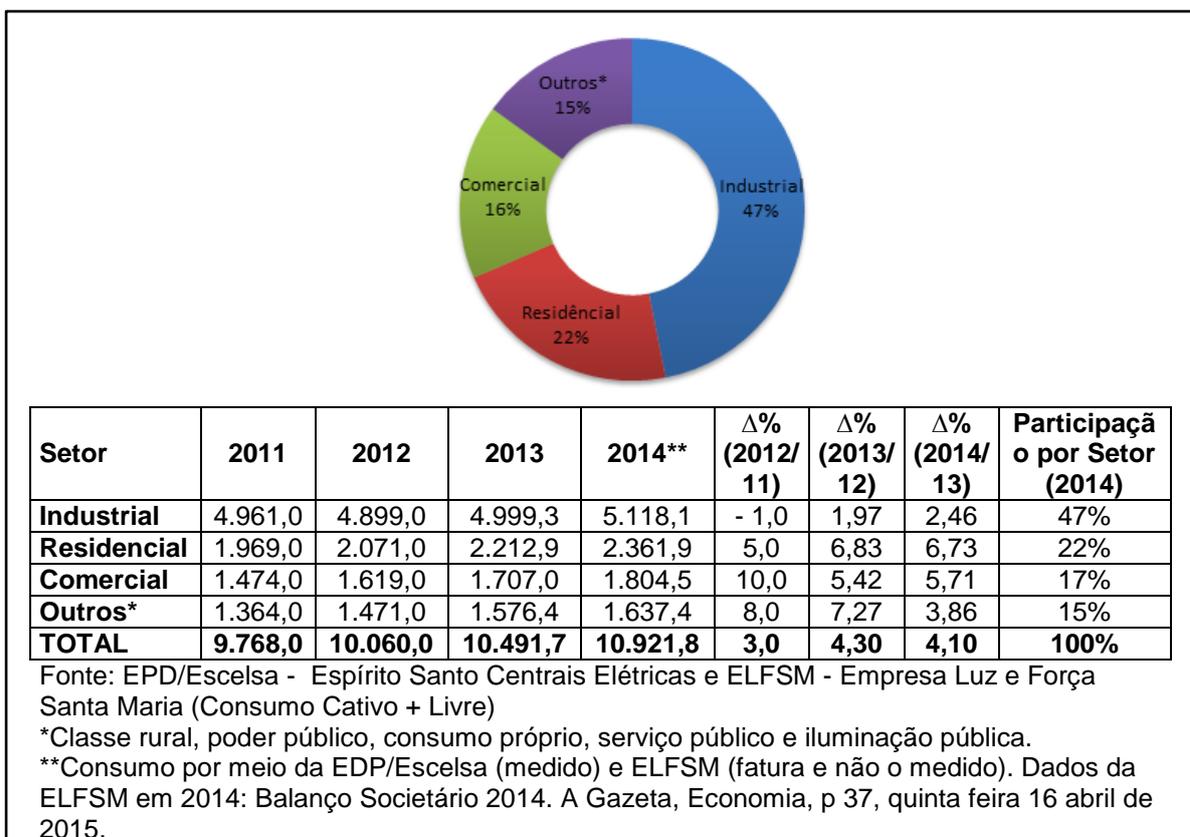


Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 12 ).

De acordo com a Figura 26, entre os anos de 2011 e 2012, o consumo de eletricidade no Espírito Santo cresceu a uma taxa de 3% ao ano (a.a.), chegando a 10.060GWh (Giga watt Hora) em 2012. Observa-se também que a redução no consumo da classe industrial foi compensada com o incremento dos setores residencial, comercial e outros (ASPE, 2013b). Em 2014, as duas concessionárias de energia elétrica juntas, registraram um crescimento da ordem 4,1% no mercado consumidor do Estado, fornecendo 10.921,8 GWh de energia elétrica, destacando-se o consumo da classe industrial com 47% (ASPE, 2015a).

Na TABELA 5, são apresentados os consumos de energia elétrica por Município, em ordem decrescente de consumo, entre os anos de 2010 a 2014. Observa-se que cerca de 90% do consumo do Estado está concentrado em 10 Municípios, sendo o de São Mateus o 10º lugar no *ranking* de consumo de energia, englobando uma participação de 1,6% de toda a energia consumida no Estado no ano de 2014. Foram cerca de 170.000 Mega watt Hora (MWh) em 2014 contra cerca de 159.000MWh em 2013, o que corresponde a um aumento de 6,9% (ASPE, 2015a). Tal aumento tem sido impulsionado pelo desenvolvimento experimentado pelo Município nos últimos anos, em função da instalação de grandes empresas dos setores petrolífero e automotivo.

Figura 26 - Participação por setor do consumo de energia elétrica no ES em 2012 (GWh)



Fonte: Adaptação. ASPE (2015a); ASPE (2013b).

TABELA 5 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR MUNICÍPIO NO ESPÍRITO SANTO (MWH)

Municípios	2010	2011	2012	2013	2014*	Participação % 2014
<b>Vitória</b>	2.516.748	2.584.264	2.530.069	2.329.807	2.598.640	25,0
<b>Anchieta</b>	1.004.097	1.022.880	1.009.987	1.031.131	1.174.222	11,3
<b>Serra</b>	744.471	819.378	925.045	1.184.243	1.034.890	9,9
<b>Vila Velha</b>	732.031	754.327	801.012	844.375	888.426	8,5
<b>Cachoeiro do Itapemirim</b>	651.817	688.079	725.588	739.520	732.389	7,0
<b>Aracruz</b>	675.657	706.808	673.013	664.208	673.897	6,5
<b>Cariacica</b>	577.708	634.514	648.419	701.181	651.802	6,3
<b>Linhares</b>	296.024	320.400	346.353	399.213	433.657	4,2
<b>Guarapari</b>	167.713	171.608	182.535	194.062	203.020	2,0
<b>São Mateus</b>	128.837	135.105	147.241	159.617	170.590	1,6
<b>Demais Municípios</b>	1.890.068	1.929.468	2.069.863	2.244.301	1.839.672	17,70
<b>Total (MHh)</b>	<b>9.385.171</b>	<b>9.766.831</b>	<b>10.059.125</b>	<b>10.491.658</b>	<b>10.401.205</b>	<b>100,0</b>

Fonte: EDP/Escelsa e Empresa Luz e Força Santa Maria (ELFSM) (Consumo Cativo + livre).

\*Dados de 2014 somente da EDP.

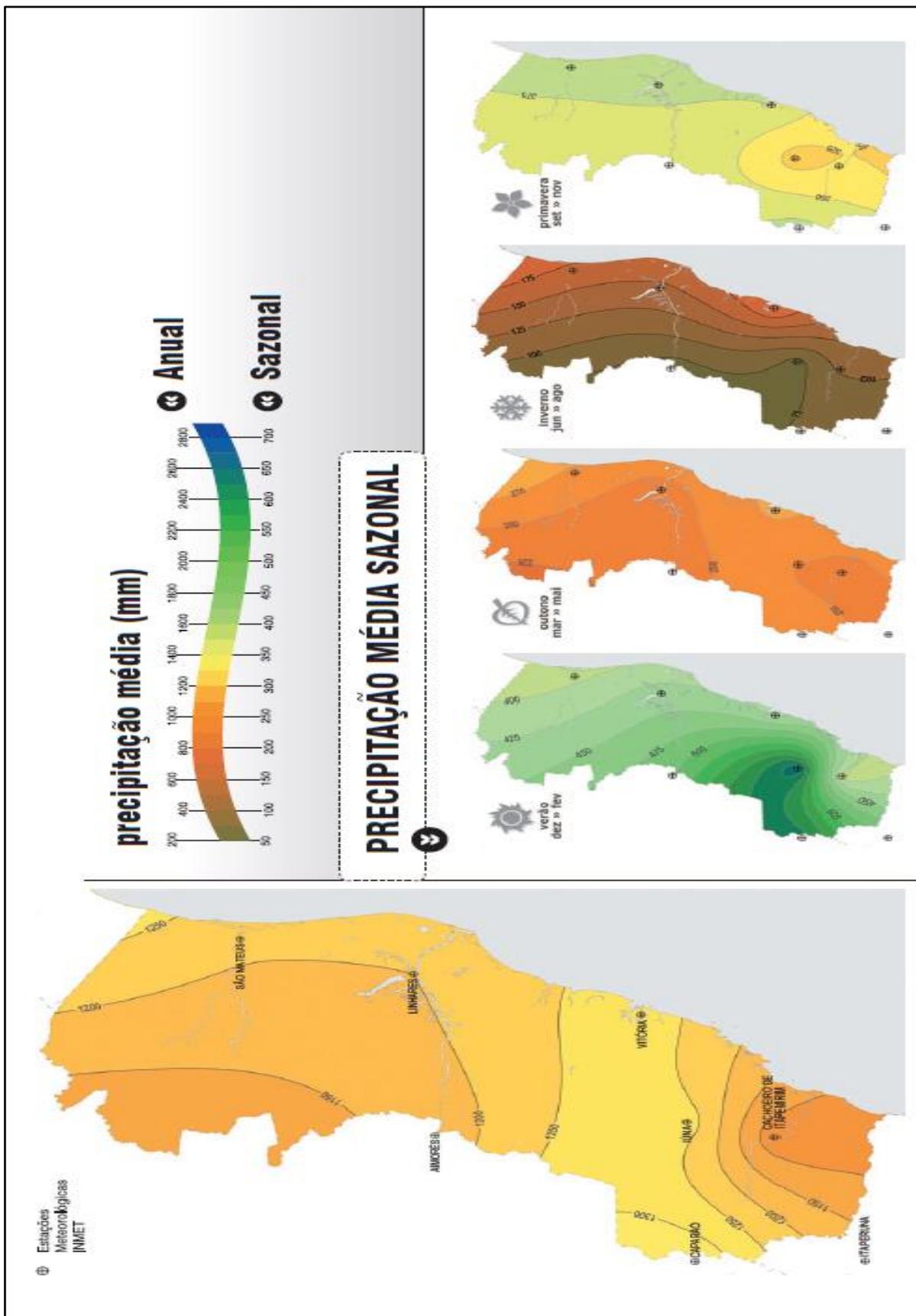
Fonte: ASPE (2015a).

### 3.1 CLIMATOLOGIA

O Estado do Espírito Santo possui clima tropical quente na maior parte de seu território, sendo quente superúmido no litoral norte e área de Vitória, passando a mesotérmico brando na região serrana (IBGE, 2002). A estação seca acontece no outono/inverno, sendo atenuada no litoral por precipitações relativamente abundantes nesse período, causadas por frentes frias provenientes do sul do continente (MORAES, 1974). Isso é facilmente observado nos mapas da Figura 27 (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2003). É perceptível também um aumento das chuvas na região das serras capixabas, notadamente no verão, o que é uma tendência característica do Sudeste brasileiro, isto é, maiores precipitações e temperaturas médias mais baixas nas áreas de maior altitude (SANT'ANNA NETO, 2005).

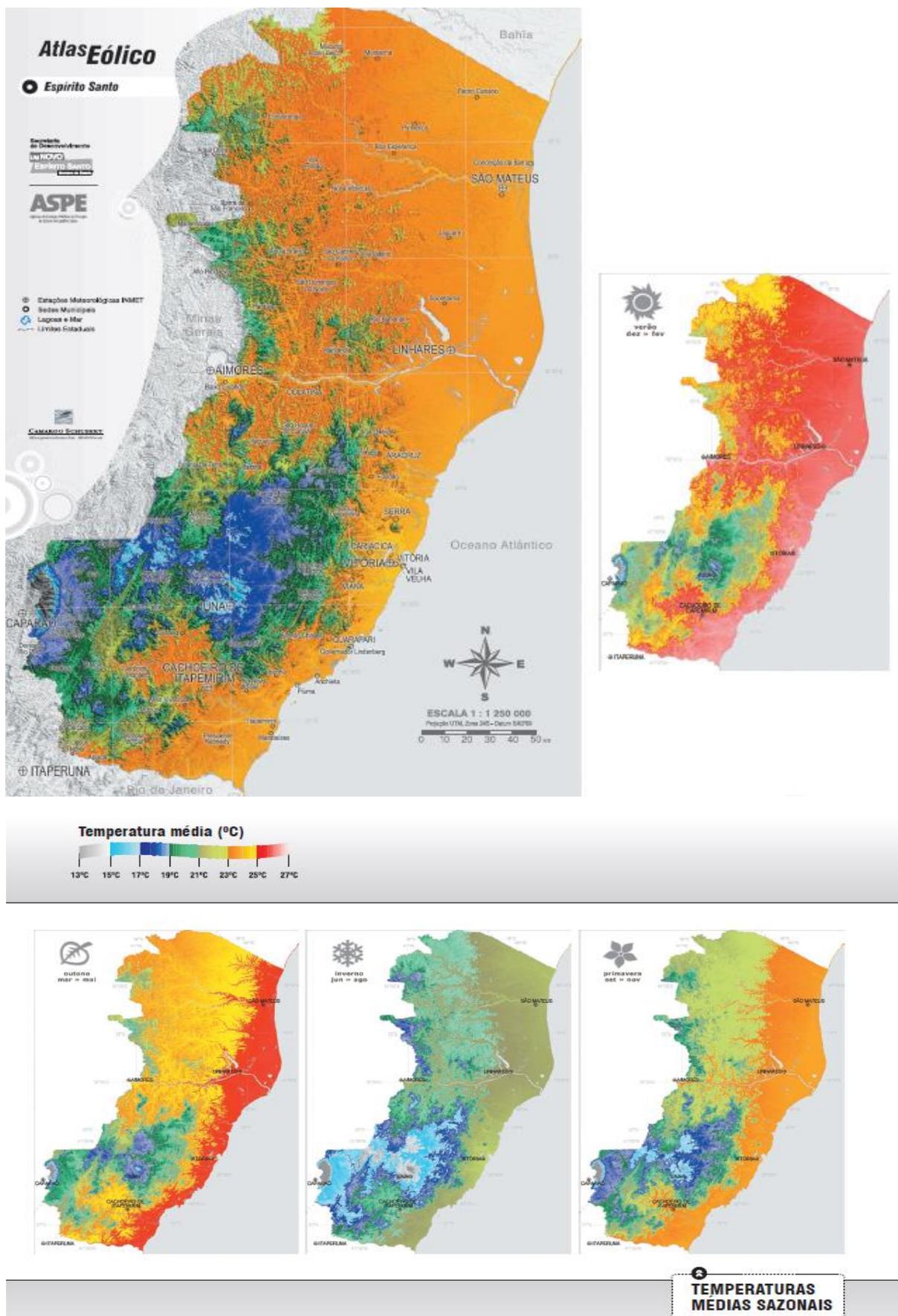
A Figura 28 apresenta as temperaturas médias anuais no estado do ES entre 1946 e 1990 ajustadas para a altitude, conforme equações de Atmosfera Padrão Internacional – ISA (*NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION*, 1962). O uso da temperatura se fará necessário para calcular a densidade do ar ( $\rho$ ), utilizando a Equação (4) no Capítulo 5 desta Dissertação. O relevo complexo é decisivo para o clima no Espírito Santo, que apresenta as temperaturas mais baixas a oeste e as temperaturas mais elevadas nas planícies costeiras. Na maior parte do território, as temperaturas médias são superiores a 18°C (graus Celsius) durante todos os meses do ano. Excetua-se as partes mais elevadas da região serrana, onde o clima é mesotérmico mediano, com temperaturas atingindo médias inferiores a 10°C nos meses mais frios. A amplitude térmica entre os meses mais quentes e frios do ano fica em torno de 5°C a 6°C na região litorânea, aumentando em direção ao interior (IBGE, 2002; MORAES, 1974).

Figura 27 - Mapas de precipitações médias anuais e sazonais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre 1946 e 1990



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p.19).

Figura 28 - Mapas das temperaturas médias anuais e sazonais do INMET entre 1946 e 1990



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 20-21).

O regime dos ventos que afetam o Espírito Santo é controlado pelas grandes escalas atmosféricas: a escala sinótica<sup>4</sup> e a circulação geral planetária (ROHATGI; NELSON, 1994). Esse perfil geral apresenta variações significativas na mesoescala e na microescala, devido à diversidade das características do terreno, tais como geometria e altitude, ocorrência de obstáculos, cobertura vegetal, albedo ou coeficiente de reflexão e grandes extensões de massas de água. Tais fatores atuantes nas escalas menores podem resultar em regimes de vento locais bastante distintos (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

O Espírito Santo está situado numa zona de predomínio da influência do centro de alta pressão Anticiclone Subtropical<sup>5</sup> do Atlântico Sul (Figura 29), resultando em acentuada ocorrência de ventos de quadrante leste e nordeste. Sobreposto a esse mecanismo, agem as intermitentes incursões de massas polares, as frentes frias, resultando em uma marcante sazonalidade. Tais mecanismos são as principais influências na escala sinótica da dinâmica atmosférica, as quais se combinam com os mecanismos de meso escala, como as brisas marinhas, terrestres e lacustres, ventos montanha-vale, jatos noturnos e outros (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

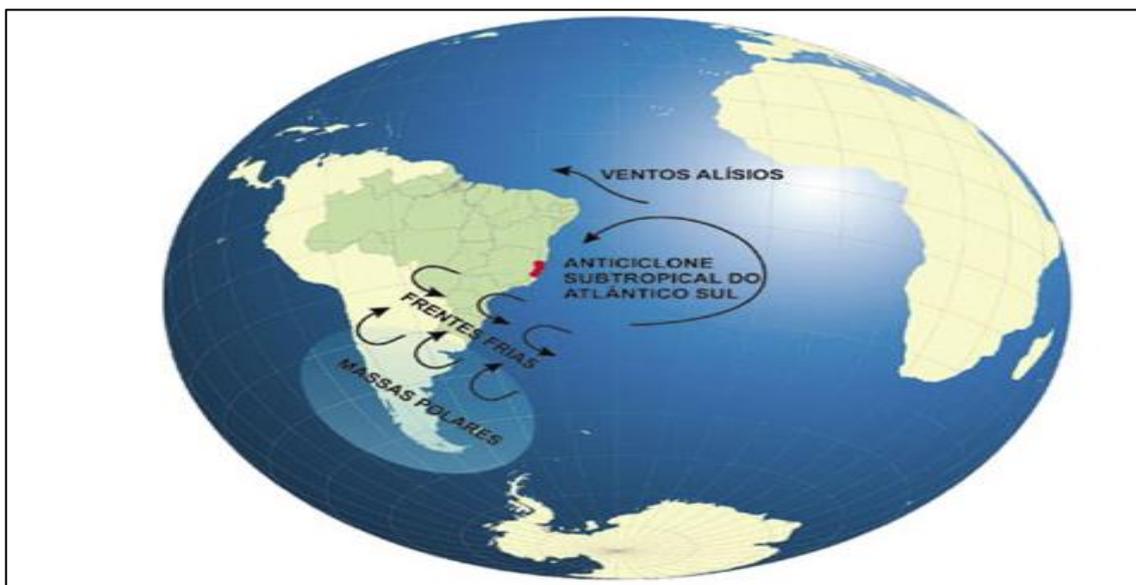
As regiões com ventos médios anuais mais intensos no Espírito Santo situam-se no litoral sul e centro-norte. Como se pode observar na Figura 30, a influência da mesoescala é também mais pronunciada ao longo dessa região, atuando por meio das brisas marinhas e terrestres, criando um ciclo diurno característico, com acentuada variação da velocidade do vento ao longo do dia (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

---

<sup>4</sup> Escala sinótica: tamanho dos sistemas migratórios de alta ou baixa pressão na mais baixa troposfera, levando em consideração uma área horizontal de várias centenas de quilômetros (km) ou mais. Contrasta com a macroescala, a mesoescala e as tempestades (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2000).

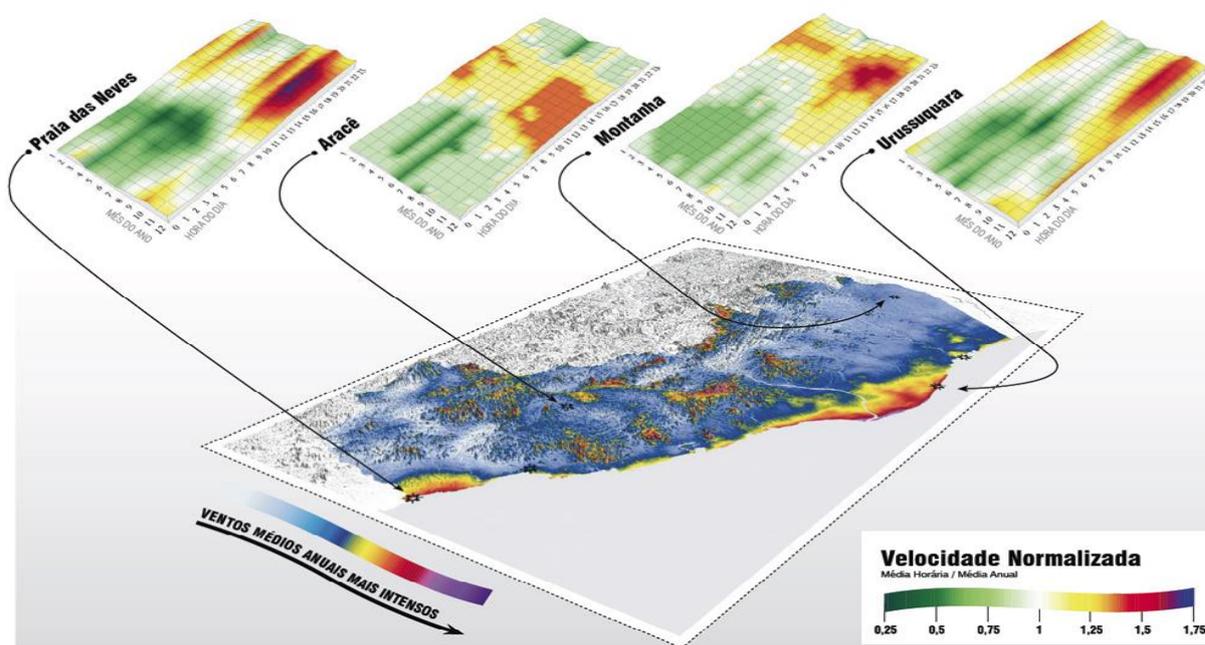
<sup>5</sup> Anticiclone Subtropical: séries de células de alta pressão alinhadas aproximadamente ao longo de uma linha de latitude em ambos os hemisférios. O eixo do cinturão se localiza nos níveis baixos, a cerca de 35° de latitude em média, e tem um pequeno deslocamento meridional anual (INMET, 2000).

Figura 29 - Grandes escalas atmosféricas atuantes nos regimes de vento brasileiro e capixaba



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p.22).

Figura 30 - Regimes diurnos sazonais de vento no Estado do Espírito Santo



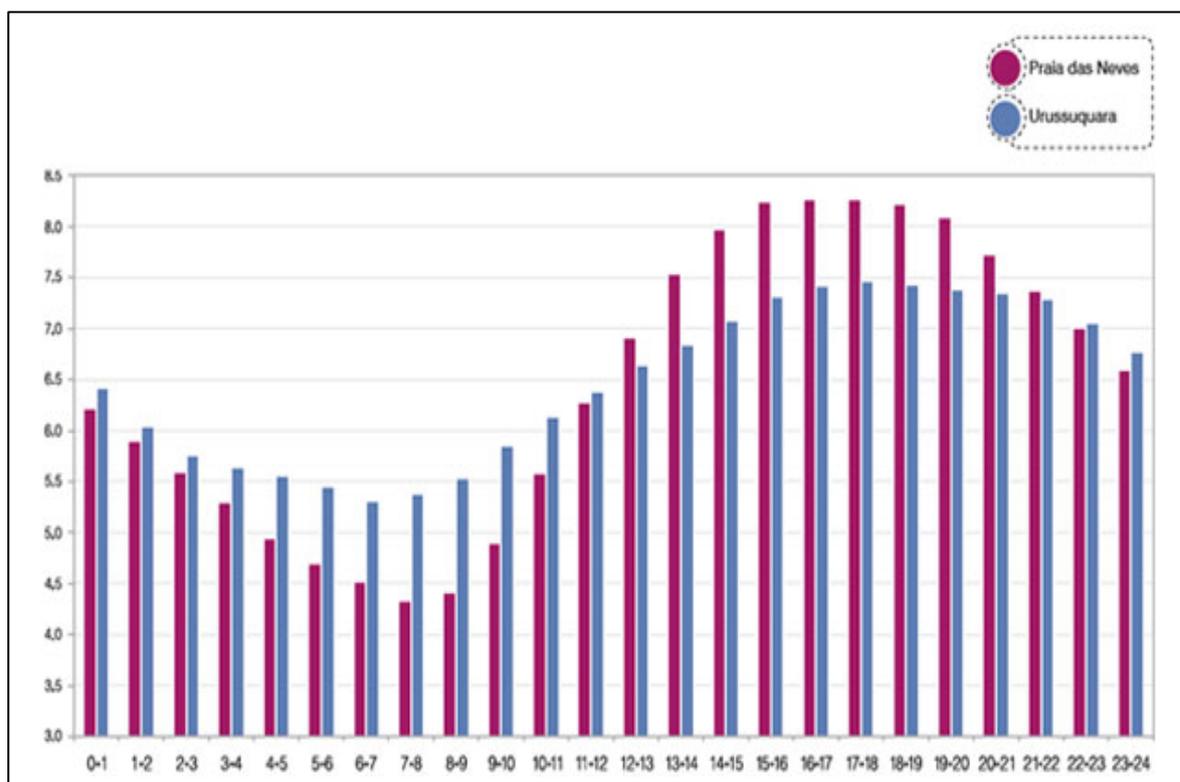
Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 23).

O litoral sul do Estado apresenta as maiores variações das médias diurnas anuais: no início da manhã: as velocidades atingem um mínimo com o nascer do sol; o aquecimento do continente acentua a influência das brisas marinhas, que atingem um máximo no período que se estende do meio da tarde ao início da noite; com o poente, o continente vai progressivamente esfriando, a atmosfera torna-se mais

estável e a intensidade das brisas marinhas diminui, até o raiar do novo dia, onde a dinâmica recomeça. No litoral norte do Estado, o regime é semelhante, mas a amplitude de velocidades é menor, como se observa na Figura 31, que mostra a diferença entre os regimes de vento medidos nas estações anemométricas de Praia das Neves, ao sul, e Urussuquara, ao norte (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Na região serrana, os ventos anuais mais intensos são geralmente encontrados nas maiores elevações, onde o efeito de compressão do escoamento atmosférico é mais acentuado. Também ocorrem os efeitos de brisas montanha-vale, acelerações orográficas, eventuais canalizações do escoamento entre passos de montanhas e outros fenômenos decorrentes da topografia e da complexidade do terreno, resultando um regime diurno em que o vento é normalmente mais intenso no período que vai do final da manhã ao meio da tarde (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009). Diante do que foi apresentado neste trabalho, sugere-se a localidade de Urussuquara para a implantação do parque eólico *offshore*.

Figura 31 - Regime diurno anual medido nas estações de Praia das Neves e Urussuquara (velocidade média horária anual a 48 m de altura)



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 22).

As velocidades médias do vento sobre o Estado apresentam uma notável sazonalidade, em geral com ventos mais intensos nos meses de primavera (setembro a novembro) e mais brandos nos meses de final de outono e início de inverno – abril a junho – (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

É importante observar, entretanto, que os resultados da campanha de medição não necessariamente correspondem aos apresentados nos Mapas Sazonais, os quais foram elaborados com base na modelagem *MesoMap*. O *MesoMap* reflete as variações médias sazonais de longo prazo, que tendem a ser menos acentuadas (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

### 3.2 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

As Unidades de Conservação (UCs) são espaços territoriais com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e com limites definidos sob regime especial de administração, às quais se aplicam garantias adequadas de proteção. Existem categorias de UCs, cada uma com objetivos e características distintas. Em 2000, a Lei nº 9.985 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que criou dois grandes grupos: Unidades de Conservação de Proteção Integral e Unidades de Conservação de Uso Sustentável. O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) é responsável pela administração de 16 UCs, totalizando cerca de 0,8% (45.957,50 ha<sup>6</sup>) do território do Espírito Santo (SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2011).

Em um âmbito geral, os aspectos legais estabelecem a maioria dos problemas dos empreendimentos, não só no ES, mas em todo o Brasil. As áreas mais propícias para exploração de energia muitas vezes coincidem com áreas de conservação e/ou terras indígenas. Além disso, não é raro acontecer de a área possuir documentação insuficiente (posse, herança, terreno de marinha etc.). Desse modo, tais localidades são normalmente rejeitadas pelos empreendedores, por impedirem a feitura dos termos de permissão e uso do solo, que são condições determinantes e preliminares

---

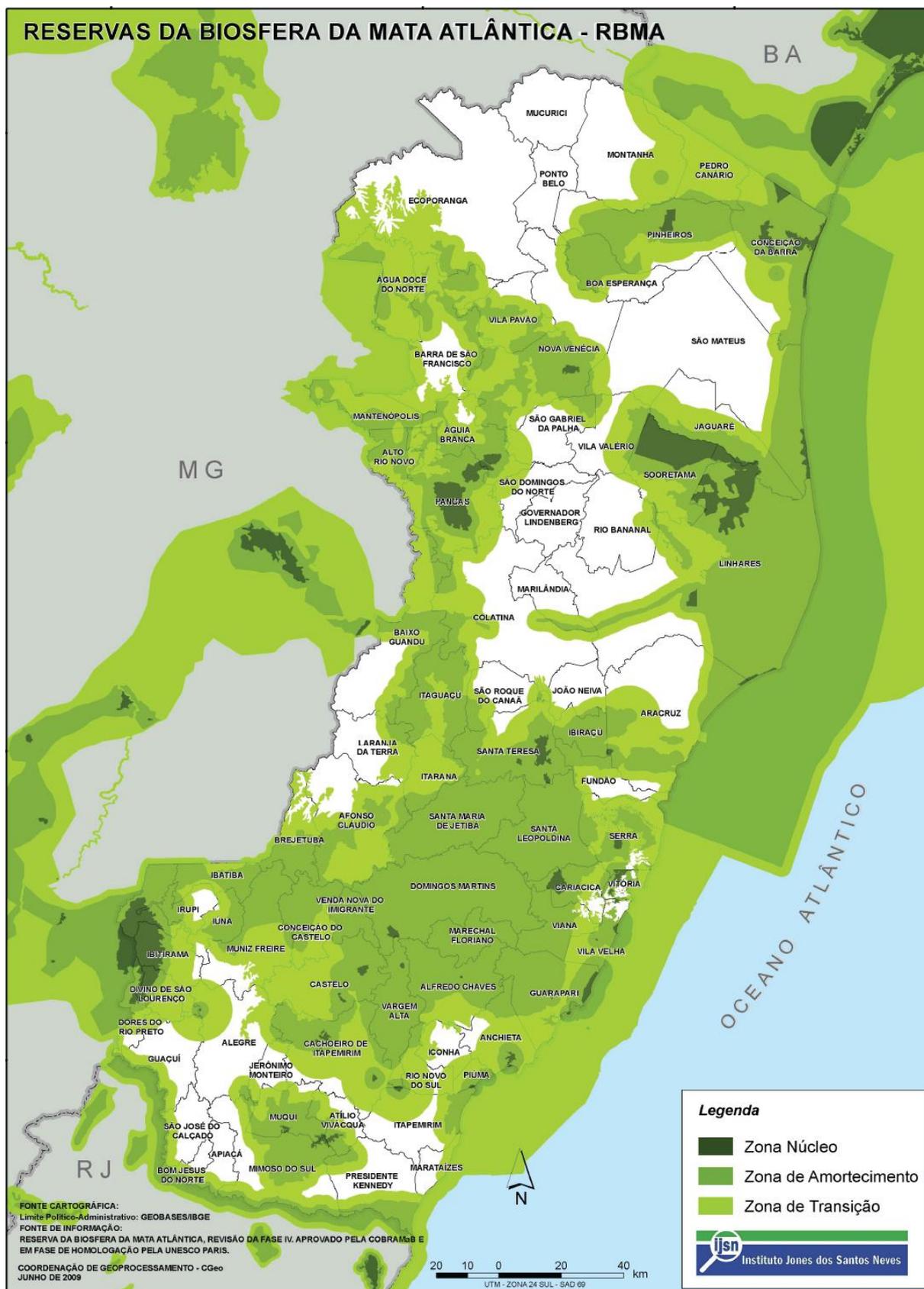
<sup>6</sup>Um hectare (ha) é igual a 10.000m<sup>2</sup>.

estabelecidas pela ANEEL para o credenciamento aos leilões de concessão (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011a).

A Figura 32 ilustra essa dificuldade, apresentando um mapa com a biosfera do ES, Reservas da Biosfera da Mata Atlântica – RBMA (SEAMA, 2011), em que se ressalta nessas limitações que acabam por inviabilizar o emprego de forma continuada dessas áreas mais prósperas no ES (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011b) e que estão exatamente no litoral capixaba (faixa verde), onde poderia ser possível a exploração em terra firme. Em torno dessa questão polêmica, o governo federal já se manifestou favorável à regulação e provavelmente autorizará a exploração de energia em áreas de preservação e terras indígenas após esgotarem-se os recursos hídricos, o que deverá acontecer em 2015, segundo as previsões do PNE-2030 (EPE, 2007). Entretanto, há propriedades rurais particulares mais afastadas do litoral capixaba com potencial eólico mais baixo, inclusive algumas áreas produtivas, que podem ser destinadas também à geração eólica, desde que atendam às exigências (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Conforme indicada na legenda da Figura 32, Zona Núcleo (ZN) são áreas de conservação da biodiversidade e dos demais recursos naturais, legalmente protegidas e claramente delimitadas no território; Zona de Amortecimento (ZA) são áreas entorno de uma UC, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade; e Zona de Transição (ZT) são zonas que envolvem todas as ZA e, por consequência, todas as ZN da reserva. Destinam-se prioritariamente ao monitoramento, à educação ambiental e à integração da reserva com seu entorno, onde predominam áreas urbanas, agrícolas e industriais de uso e ocupação intensos (LINO, 2007).

Figura 32 - Áreas de preservação no ES



Linhares desponta como o Município do ES com a maior vocação eólica, seguida por São Mateus, Santa Teresa e Presidente Kennedy, sendo que o maior potencial eólico está sobre o mar (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009). O norte do ES tem determinadas vantagens sobre as demais regiões do Estado, porque seu território é plano e a vegetação predominante é do tipo restinga baixa. Tais fatores são adequados aos ventos e amortizam o custo do projeto (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011a).

O litoral norte e sul do Município de Linhares é praticamente intocável, sendo que boa parte é área de conservação, de uso restrito ou controlado, embora algumas partes possam ser usadas com restrições e ressalvas. Por outro lado, estão disponíveis algumas áreas do interior do Município, porém com menor aproveitamento energético em razão da característica dos ventos. O Plano Estratégico de Linhares (PEL) relata o Desenvolvimento Econômico, considerando explicitamente o uso do solo para produção de energia por biomassa (cana de açúcar) e gás natural. Inclusive, há dutos submersos cortando o litoral de Linhares, onde, coincidentemente, o potencial eólico é atraente. Entretanto, o PEL não faz nenhuma alusão sobre a possibilidade de uso do solo para geração eólica ou qualquer outra fonte renovável (PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2007).

Os Municípios de São Mateus, Presidente Kennedy e Santa Teresa tampouco discutem a questão envolvendo o uso do solo para a geração de energia. Dessa forma, cabe ao governo estadual conduzir as políticas de ocupação do solo regional, estabelecer princípios de aproveitamento energético dos seus recursos naturais de forma otimizada, e integrada aos demais investimentos e vocações microrregionais do ES (FARDIN; ARAÚJO; SOUZA, 2011a).

### 3.3 MATRIZ ENERGÉTICA DO ESPÍRITO SANTO

Em 2013, a matriz energética do Espírito Santo era suprida por três linhas em 345kV (Quilo volt), duas em 230kV e um circuito duplo em 138kV, além do parque gerador local. Duas linhas de transmissão em 345kV têm origem na Subestação (SE) Campos, no Estado do Rio de Janeiro (RJ), e se conectam às SE Vitória e Viana,

ambas na região da Grande Vitória, as quais possuem transformações 345/138 kV e são os pontos onde se concentra a maior parte do atendimento às cargas da região. A terceira linha em 345kV conecta a SE Ouro Preto 2, em Minas Gerais, a SE Vitória. No sul do Estado, a SE Cachoeiro de Itapemirim, da empresa Espírito Santo Centrais Elétricas S. A. (EDP/ESCELSA), é o ponto de chegada de duas linhas provenientes do setor de 138kV da SE Campos. O atendimento em 230kV é feito via conexão entre a SE Aimorés, na divisa com Minas Gerais, e a SE Mascarenhas 230kV, de onde parte uma linha em 230kV para a SE Verona. As SE Mascarenhas e Verona possuem transformações de fronteira e atendem em 138kV a região central e norte do Estado, respectivamente (EPE, 2014b).

A Figura 33 ilustra o mapa do Estado do Espírito Santo com a área das distribuidoras de Energia Elétrica. A EDP é a maior distribuidora regional, com uma área de concessão que abrange cerca de 90% do Estado do ES. A região centro-norte é a área de concessão da Empresa Luz e Força Santa Maria (ELFSM), que é suprida pela EDP em 138kV e em 69kV, nas subestações de distribuição São Gabriel, Duas Vendinhas e São Roque (EPE, 2013).

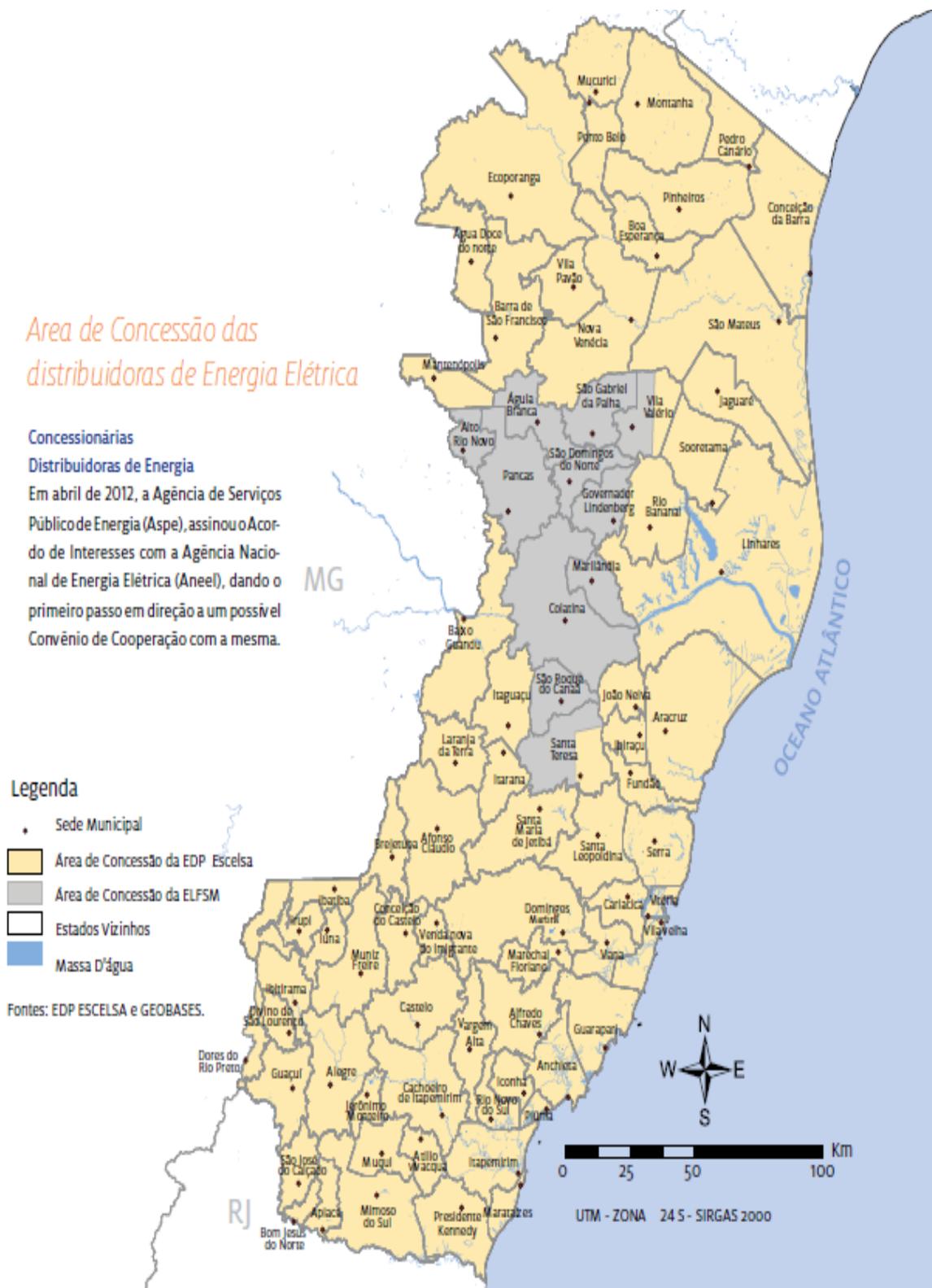
Os principais reforços estruturais atualmente previstos para a área consistem de nova linha em 500kV entre as subestações de Mesquita, em Minas Gerais, e Viana 2, no Espírito Santo, e a construção de nova SE em 230kV em Linhares, que será suprida por uma linha nessa tensão, proveniente da subestação Mascarenhas, da ESCELSA (EPE, 2013).

A TABELA 6 traz o detalhamento da capacidade de energia elétrica instalada no Espírito Santo entre térmicas, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), Central Geradora Hidrelétrica (CGHs), Usinas Hidrelétricas (UHEs). Destaca-se a alta participação das fontes térmicas na matriz energética capixaba, com 65,71% (ASPE, 2015b), o que explana a alta participação de formas de produção elétrica altamente poluidoras e caras.

A geração local do Estado do ES é de cerca de 1.500MW (cerca de 3% do total da região sudeste), distribuídos em 56 empreendimentos em operação sob a forma de geração apresentada na Figura 34. Em 2014, as maiores usinas eram a UHE

Mascarenhas, a Usina Termelétrica (UTE) Viana e a UTE Linhares (EPE, 2014b; ANEEL, 2015).

Figura 33 - Mapa do Estado do Espírito Santo com a área das distribuidoras de energia elétrica



Fonte: ASPE (2013b, p.37).

Nesse contexto, cabe ressaltar que o ES efetivamente só produz um terço da energia que consome, o que o torna importador de energia elétrica. De fato, no ano de 2013, 66% da energia consumida no Estado era proveniente de FURNAS - Rio de Janeiro (ASPE, 2015c). A energia adquirida pelo ES chega ao Estado por meio de linhas de transmissão que cortam do sul do ES até a capital Vitória. Em seguida, é distribuída para as indústrias, comércios e residências do Estado (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

A TABELA 7 apresenta todas as termelétricas instaladas no Estado do Espírito Santo com as respectivas potências geradas.

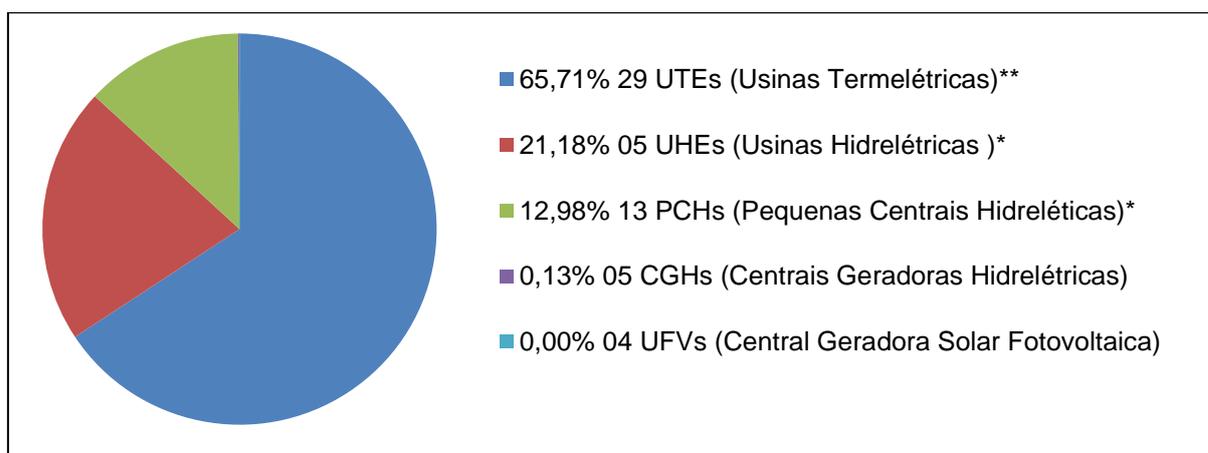
TABELA 6 - DETALHAMENTO DA CAPACIDADE INSTALADA NO ESPÍRITO SANTO

<b>GERAÇÃO DOMÉSTICA</b>	<b>POTÊNCIA (MW)</b>	<b>%</b>
29 UTEs (Usinas Termelétricas)**	1.011,64	65,71
05 UHEs (Usinas Hidrelétricas )*	326,02	21,18
13 PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas)*	199,85	12,98
05 CGHs (Centrais Geradoras Hidrelétricas)	2,06	0,13
004 UFVs (Centrais Geradora Solar Fotovoltaica)	0,01	0,00
<b>Total (56 empreendimentos)</b>	<b>1.539,59</b>	<b>100,00</b>

\*Foi considerado somente empreendimentos de fronteiras que injetam energia no Sistema do Espírito Santo  
 \*\*Estão incluídas 7 usinas com capacidade maior que 5MW, sujeitam a autorização da ANEEL e outras 22 de menor capacidade onde é necessário somente junto a ANEEL.

Fonte: ASPE (2015a).

Figura 34 - Detalhamento da Capacidade Instalada no Espírito Santo em 2014 (GWh)



Fonte: ASPE (2015b).

TABELA 7 - DETALHAMENTO DAS TERMELETRICAS NO ESPÍRITO SANTO

<b>USINA</b>	<b>POTÊNCIA (MW)</b>
CST <sup>1</sup>	225,10
Aracruz <sup>1</sup>	210,40
Luiz Oscar Rodrigues de Melo (Antiga Linhares)	204,00
Viana	174,60
Sol <sup>1</sup>	147,30
Alcon <sup>1</sup>	11,20
Biancogrês <sup>1</sup>	5,11
João Neiva <sup>1</sup>	3,50
Subestação CPD <sup>1</sup>	3,22
Paineiras <sup>1</sup>	3,20
Lasa <sup>1</sup>	3,20
Vale Complexo Tubarão GE2 <sup>1</sup>	2,56
Vale Complexo Tubarão GE1 <sup>1</sup>	2,56
Vitória Apart Hospital <sup>1</sup>	2,10
Shopping Praia da Costa <sup>1</sup>	1,80
Leão Linhares <sup>1</sup>	1,66
Vale Complexo Tubarão - 7GE <sup>1</sup>	1,60
Vale Complexo Tubarão - GE8 <sup>1</sup>	1,60
Fibrasa Embalagem <sup>1</sup>	1,10
Atacadão SA Vila Velha <sup>1</sup>	0,80
Shopping Vila Velha <sup>1</sup>	0,76
Atacadão SA Serra <sup>1</sup>	0,72
VTA JM <sup>1</sup>	0,70
WallMartSams Vitória <sup>1</sup>	0,64
ETE Coronel Borges	0,61
Fibrasa Sudeste <sup>1</sup>	0,55
Editora e Distribuidora Educacional - Pitagoras Linhares <sup>1</sup>	0,36
Auto Serviço Faé <sup>1</sup>	0,35
Laticínios Rezende <sup>1</sup>	0,35
<b>TOTAL: 29 Usinas</b>	<b>1011,65</b>

<sup>1</sup>Usinas Autoprodutoras

\*Foram considerados somente empreendimentos de fronteiras que injetam energia no Sistema do Espírito Santo

Fonte: ASPE (2015b).

A TABELA 8 detalha as centrais geradoras hidrelétricas do ES com um total de 2,06MW de potência instalada.

A TABELA 9 apresenta o detalhamento das pequenas centrais hidrelétricas instaladas no ES, encerrando uma potência de 199,9MW.

A TABELA 10 mostra as usinas hidrelétricas existentes no ES, as quais contribuem com 326MW de potência.

TABELA 8 - DETALHAMENTO DAS CGHS NO ESPÍRITO SANTO

USINA	POTÊNCIA (MW)
Cachoeira da Onça	0,90
Tabocas	0,46
Santa Maria	0,42
Cachoeira do Oito	0,24
Carnielli	0,04
<b>TOTAL: 5 Usinas</b>	<b>2,06</b>

Fonte: ASPE (2015b).

TABELA 9 - DETALHAMENTO DAS PCHS NO ESPÍRITO SANTO.

USINA	POTÊNCIA (MW)
São Pedro	30,0
Francisco Gross (Antiga Santa Fé)	29,0
São Simão	27,4
São João	25,0
São Joaquim	21,0
Pirapetinga	20,0
Pedra do Garrafão	19,0
Fruteiras	8,7
Jucu	4,8
Viçosa (Bicame)	4,5
Fumaça IV	4,5
Ilha da Luz <sup>1</sup>	3,8
Alegre	2,2
<b>TOTAL: 13 Usinas</b>	<b>199,9</b>

<sup>1</sup>Usinas Autoprodutoras

Fonte: ASPE (2015b).

TABELA 10 - DETALHAMENTO DAS UHES NO ESPÍRITO SANTO.

USINA	POTÊNCIA (MW)
Mascarenhas	189,0
Muniz Freire <sup>1</sup>	25,0
Suíça	34,5
Rosal	55,0
Rio Bonito	22,5
<b>TOTAL: 5 Usinas</b>	<b>326,0</b>

<sup>1</sup>Usinas Autoprodutoras

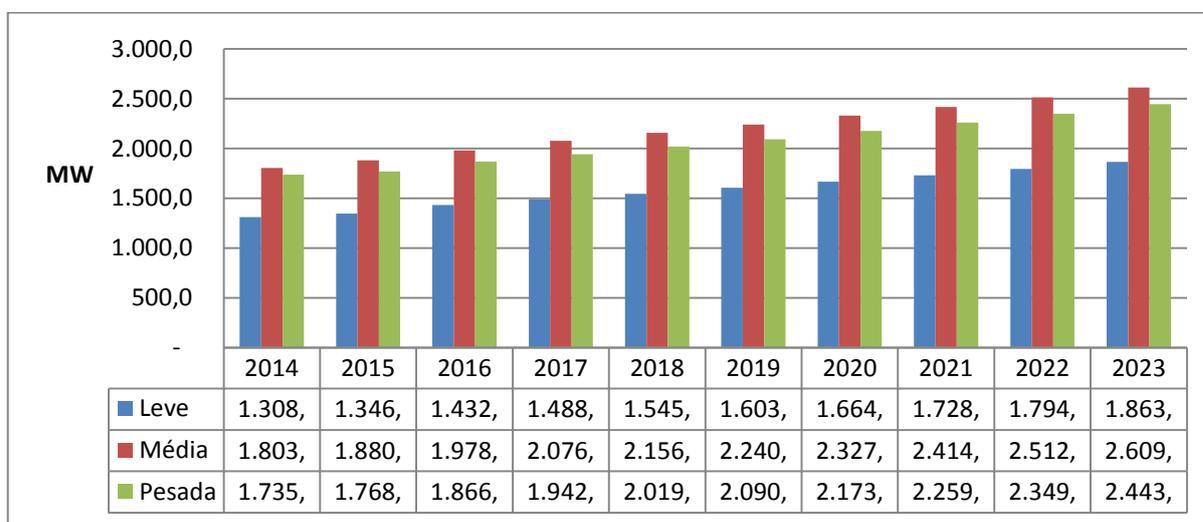
Fonte: (ASPE, 2015b)ASPE (2015b).

A carga local do Estado do Espírito Santo representa, em média, 4% do total da região sudeste, com crescimento médio anual estimado de 4% no período decenal de 2014-2023. A Figura 35 mostra a evolução dos três patamares de carga (EPE, 2014b). Esses patamares de cargas pesada, média e leve são períodos de tempo em que as características de consumo de energia elétrica tendem a ser semelhantes; o valor máximo de consumo, que é denominado de carga pesada, ocorre normalmente por volta das 19 horas (h) e constitui a chamada ponta de carga, com cerca de 2 a 3 h de duração; o valor mínimo de consumo, denominado de carga leve, dá-se por volta das 4 h da madrugada; tem-se também um período de carga média ou intermediária. Podem ocorrer variações nos períodos de tempo de ocorrência da carga pesada e da carga leve, de acordo com a região, os dias da semana e as estações do ano (ANEEL, 2005b).

As principais obras da Rede Básica previstas para o ES no período 2014-2023 estão apresentadas na TABELA 11, para linhas de transmissão da rede básica, e na TABELA 12, para subestações da rede básica e de fronteira, como Autotransformador regulador (ATR) (EPE, 2014b).

A TABELA 13 mostra claramente a alta dependência de importação de energia elétrica no ES, onde a geração de energia elétrica equivale a 6.368GWh e a importação de energia elétrica ficou em 8.714GWh em 2011. Logo, cerca de 58% da energia consumida no Estado foi gerada fora do ES.

Figura 35 - Evolução das cargas de energia elétrica do Estado do Espírito Santo de 2014-2023



Fonte: EPE (2014b, p. 182).

TABELA 11 - PROGRAMA DE OBRAS - LINHAS DE TRANSMISSÃO (LT) – REDE BÁSICA

DESCRIÇÃO DA OBRA	DATA PREVISTA
LT 500 kV Mesquita – Viana 2 – 248 km	2014
LT 345 kV Viana 2 – Viana – 10 km	2014
LT 230 kV Mascarenhas – Linhares – 99 km	2014
LT 500 kV Mesquita – João Neiva 2 – 240 km	2016
LT 345 kV Viana 2 – João Neiva 2 – 80 km	2016
LT 230 kV Linhares 2 – São Mateus 2 – 108 km	2016

Fonte: EPE (2014c, p. 182).

TABELA 12 - PROGRAMA DE OBRAS – SUBESTAÇÕES (SE) – REDE BÁSICA E REDE BÁSICA DE FRONTEIRA.

DESCRIÇÃO DA OBRA	DATA PREVISTA
SE Viana II (500/345 kV)	1º ATR - ((3+1)x300) MVA 2014
SE Linhares (230/138 kV)	1º ATR - ((3+1)x50) MVA 2014
SE São Mateus 2 (230/138 kV)	1º ATR - ((3+1)x50) MVA 1º Reator de Barra, 20 MVar 2016 2016
SE Rio Novo do Sul (345/138 kV)	1º ATR - ((3+1)x 133) MVA 2º ATR - (3 x 133) MVA 2016 2021
SE João Neiva 2 (500/345 kV)	1º ATR - ((3+1)x 350) MVA 2016
SE João Neiva 2 (345/138 kV)	1º e 2º ATR - ((7+1)x 133) MVA 3º ATR - (3 x 133) MVA 2016 2017
SE João Neiva 2 345 kV	Compensador Estático 150 MVar 2018
SE Pimenta	Substituição dos transformadores por 2 bancos de 225 MVA 2018
SE Itabirito 2	2º banco 500/345 kV 2018
SE Itajubá	3º Transformador 500/138 kV 2024

Fonte: EPE (2014c, p. 182).

TABELA 13 - PARÂMETROS ECONÔMICOS E SOCIAIS DO ESPÍRITO SANTO DE 2007 A 2011

PRINCIPAIS PARÂMETROS ECONÔMICOS E SOCIAIS	UNID.	2007	2008	2009	2010	2011
Produção de Petróleo <sup>1</sup>	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	6.668	6.545	5.716	12.769	19.608
Produção de Gás Natural	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	965.365	2.802.138	1.076.413	2.701.036	4.413.464
Geração de Energia Hidráulica	(GWh)	1.480	1.676	1.974	1.697	1.828
Geração de Energia Elétrica	(GWh)	5.430	6.227	7.010	6.313	6.368
Importação de Energia Elétrica	(GWh)	9.849	10.053	7.390	8.769	8.714
Consumo de Energia Elétrica <sup>2</sup>	(GWh)	8.040	8.193	8.994	8.482	13.485
Consumo de Combustíveis Líquidos <sup>3</sup>	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	2.457	2.431	2.365	2.180	2.264

CONTINUAÇÃO – TABELA 13 – PARÂMETROS ECONÔMICOS E SOCIAIS DO ESPÍRITO SANTO DE 2007 A 2011.

<b>PRINCIPAIS PARÂMETROS ECONÔMICOS E SOCIAIS</b>	<b>UNID.</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
População	(hab)	3.519.489	3.453.648	3.487.094	3.515.952	3.550.247
PIB - Produto Interno Bruto <sup>4</sup>	Milhões R\$	60.340	69.870	72.594	85.600	86.200
Produção de Petróleo per capita	m <sup>3</sup> /hab	1,99	1,9	1,64	3,63	5,52
Produção de Gás Natural per capita	m <sup>3</sup> /hab	287,95	881,47	308,68	768,44	1.243
Geração de Energia Hidráulica per capita	MWh/hab	0,44	0,48	0,51	0,48	0,51
Geração de Energia Elétrica per capita	MWh/hab	1,62	1,8	2,01	1,8	1,79
Importação de Energia Elétrica per capita	MWh/hab	2,94	2,91	2,12	2,49	2,45
Consumo de Energia Elétrica per capita	MWh/hab	2,4	2,37	2,58	2,41	3,80
Consumo de Combustíveis Líquidos per capita	m <sup>3</sup> /hab	0,73	0,73	0,68	0,62	0,64

<sup>1</sup>Fonte inclui petróleo mais condensado, mas não inclui outras parcelas componentes do LGN (Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) + C5+), conforme classificação da Portaria ANP n° 009/00.

<sup>2</sup>No ano de 2011 está incluso o consumo de energia elétrica autoproduzido, além do cativo + livre. Nos demais anos só o cativo + livre.

<sup>3</sup>Óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene, álcool.

<sup>4</sup>Indicador do PIB Trimestral acumulado em trimestres. Elaborado: Rede de Estudos Macroeconômicos (MACRO/CEE-IJSN/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)); Rede de Estudos Macroeconômicos (MACRO/CEE-IJSN/IBGE)

Fonte: ASPE (2012).

Diante do quadro apresentado, o governo capixaba elaborou algumas políticas voltadas à exploração do potencial eólico capixaba, como descrito no Plano Estratégico 2013-2020 do Estado do Espírito Santo, para tentar atenuar a dependência e, quem sabe, em um futuro próximo, o Estado tornar-se autossustentável eletricamente. Entre os projetos prioritários que envolvem a energia eólica estão (ASPE, 2013a):

➤ O estudo de mecanismos de incentivo à produção de energia eólica, pois, por ainda ter um custo elevado em investimento e produção, há a necessidade de se analisar mecanismo de incentivos à produção de energia eólica no Estado, envolvendo a divulgação de tecnologias já existentes, tendo o atlas eólico capixaba

como base, além de novas formas de incentivo fiscal, linhas de financiamento para investidores e divulgação de novas experiências e estudos realizados por outros Estados e países;

➤ Os mecanismos creditícios e fiscais de apoio ao uso de energia renovável e eficiência energética, com o objetivo de desenvolver estudos sobre incentivos ao uso de energia renovável e eficiência energética por meio de mecanismos de crédito e fiscais. Dessa forma, pretende-se estudar mecanismos capazes de incentivar o desenvolvimento de projetos de energias renováveis, bem como produtores de componentes, ou seja, os fornecedores da cadeia de geração de energias renováveis. É necessário, ainda, pesquisar mecanismos que incentivem os consumidores a demandarem energias renováveis por meio do consumo das indústrias em seus processos produtivos, bem como a utilização em domicílios e no setor público (ASPE, 2013a).

### 3.4 CONCLUSÃO

Neste capítulo, foram apresentadas as peculiaridades do regime de chuva, temperatura e regime dos ventos do Estado do ES. A Praia das Neves apresenta ventos médios anuais mais intensos, contudo com oscilações maiores durante o decorrer do dia, enquanto em Urussuquara a variação da velocidade do vento durante o dia é mais uniforme, tendo maiores condições para instalação de parques eólicos, por ser mais estável a variação da velocidade.

O potencial eólico do ES é um dos pontos fortes identificados, combinados com os métodos de tecnologia disponíveis, mas persistem, especialmente, na necessidade de complementação do déficit energético. A regulação é um problema latente, estando relacionada a aspectos de ausência de políticas apropriadas de ocupação e uso do solo nos Municípios com potencial elevado. Fazem-se necessárias ações governamentais, em todos os níveis, para delinear táticas, políticas e trabalhos conjuntos que possam resultar em ordenamento e balanceamento regional, visando adicionar, racionalizar e aperfeiçoar os empreendimentos de geração de energia com as demais aquisições previstas para o ES, a fim de contrabalancear a

sustentabilidade energética no estado. Internamente, é indispensável fazer campanhas para regularização das propriedades rurais, aprimorar os planos de desenvolvimento dos Municípios para adaptá-los, capacitá-los ao incentivo na produção de energia em pequena escala por meio de aerogeradores até 5MW, de emprego de tecnologias de menor porte, que exigem apenas registro na ANEEL, além de diversas ações voltadas à eficiência energética.

## 4 MATERIAIS E METODOLOGIA

A ciência do regime dos ventos é essencial para que se faça um projeto coerente de aplicação da energia eólica. Para adequada determinação do regime dos ventos, é indispensável analisar dados coletados durante um longo período de tempo, em geral alguns anos. Trabalhar com um amplo número de dados de vento torna-se impraticável. Por isso, como opção, utilizam-se modelos probabilísticos para modelar as curvas de frequência de velocidade. A expressão conhecida como distribuição de *Weibull* tem sido muito empregada na análise do aproveitamento da energia eólica. Com o procedimento adotado, obtêm-se os parâmetros da distribuição de *Weibull*, que fornecem um ajuste adequado para as curvas de distribuição de velocidade de vento.

A análise e o estudo técnico das séries temporais de vento, coletadas mediante campanha de medição na região em estudo, é de fundamental importância para corrigir possíveis erros no mapa eólico simulado. As medições de vento usadas para a meteorologia convencional não reúnem as especificações requeridas para serem empregadas na caracterização do potencial eólico. Portanto, a aquisição e o processamento dessas séries devem ser realizados sempre sob o mais estrito controle de qualidade, utilizando equipamento e metodologias apropriadas (SECRETARIA DE ENERGIA, 2012). Nesse sentido, na Seção 4.1 são apresentadas as ferramentas utilizadas na metodologia adotada nesta Dissertação, que por sua vez é descrita na Seção 4.2.

### 4.1 MATERIAIS

#### 4.1.1 Mapa do Potencial Eólico do projeto SWERA da NASA QuikSCAT

O *Quick Scatterometer* (QuikSCAT) é um satélite de observação da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), que tem coletado dados de escaterômetro (radar de microondas) baseado em satélites e que estima dados de vento sobre os oceanos desde 1987, tendo como sua principal missão medir a velocidade do vento

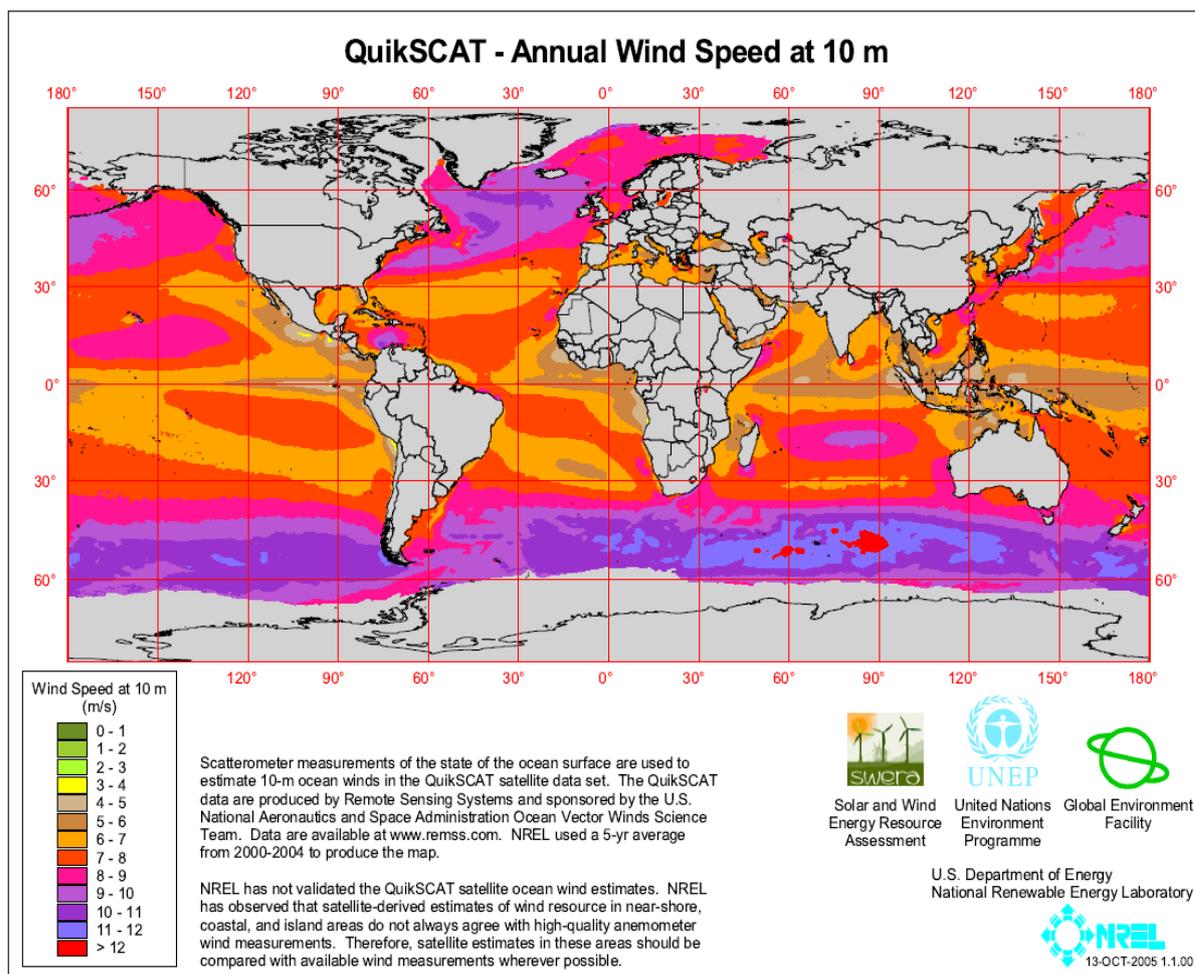
de superfície e direção sobre os oceanos livres de gelo. Suas observações têm servido para uma ampla gama de aplicações, como estudos climatológicos, previsão do tempo, meteorologia, investigação oceanográfica, segurança marítima, pesca comercial, monitoramento de grandes *icebergs*, estudos de terra e mar de gelo, entre outras (*EARTH OBSERVATION PORTAL*, 2002).

Para o projeto SWERA, o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) cria mapas globais da velocidade de vento nos oceanos e da densidade de potência eólica. As estimativas do escaterômetro são medições da velocidade e da direção do vento a 10m acima da superfície do mar. A Figura 36, apresenta um mapa produzido, onde se considerou uma média de 5 anos de 2000-2004 (OPENEI, 2005).

O SWERA de alta resolução (como a 1km e 5km) permitirá a identificação de áreas ricas em recursos que poderiam ser perdidas em conjuntos de dados de baixa resolução. O mapa do potencial eólico fornece estimativa de recurso eólico por meio de apresentações visuais do comportamento do vento em cada localidade e desenvolvimento do potencial; pode ser usado para identificar visualmente áreas ricas em recursos eólicos, dentro de um país ou região, e permitir um olhar simplificado para os dados, sem a necessidade de navegar por meio de grandes conjuntos de dados ou aplicação de *software Geographic Information System* (GIS) ou Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para investigações mais detalhadas, os usuários devem explorar os conjuntos de dados de vento disponíveis por meio do banco de dados SWERA. Os produtos de vento SWERA podem ser usados para determinar as áreas que justificam uma investigação mais aprofundada para a geração de energia eólica (OPENEI, 2011).

O objetivo do projeto SWERA é facilitar a tomada de decisão sobre políticas e investimentos em energias renováveis, tornando disponíveis gratuitamente tais informações de alta qualidade. Produtos SWERA incluem SIG e séries de dados temporais, junto com *links* para ferramentas de otimização de energia, necessárias para aplicação desses dados. Esses produtos estão sendo oferecidos por um time de especialistas internacionais e seus parceiros no país (AMARANTE; BROWER; ZACK, 2001a).

Figura 36 - Medições da velocidade média anual do vento a 10m



Fonte: OPNEI (2005).

Da Figura 36, retira-se o valor da velocidade média na altura de 10m para empregá-la na Equação (1).

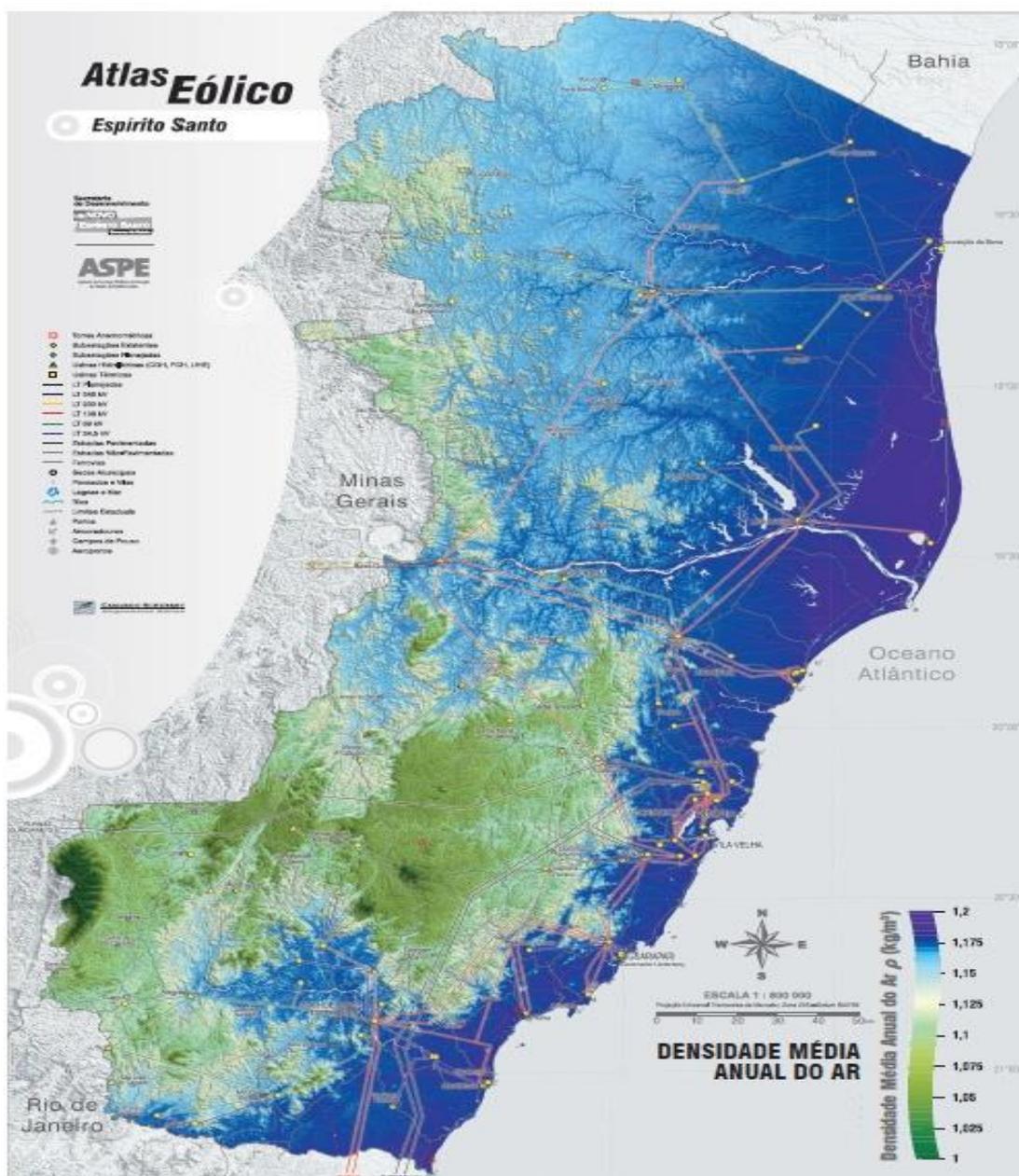
#### 4.1.2 Densidade do Ar

A potência gerada por uma turbina eólica é uma função direta da densidade do ar que impulsiona o rotor. As curvas de potência fornecidas pelos fabricantes são usualmente dadas para condições padrão da atmosfera (15°C, no nível do mar e densidade do ar de 1,225 kg/m<sup>3</sup>). Na Figura 37, apresenta-se o mapa de densidade média anual para todo o Estado do Espírito Santo, considerando um perfil vertical de temperatura, segundo a ISA +11,2°C (NOOA, 1962) – temperatura média anual medida na cidade de Vitória no período 1946-1990 –, calculado sobre o modelo de relevo na resolução de 200m x 200m e ajustado para dados de temperatura de

longo prazo (1946-1990), coletados em 11 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ao longo do Estado e nas suas proximidades (EMBRAPA, 2003).

Portanto, o desempenho das máquinas nas diversas condições de operação, deve ser corrigido para o efeito da variação da densidade com a altitude e a temperatura local. Pode-se utilizar a Figura 37 para retirar o valor da densidade. Porém, para obter-se mais precisão, usa-se também a Equação (4), a ser apresentada na Seção 4.2.

Figura 37 - Mapa da densidade média anual do ar



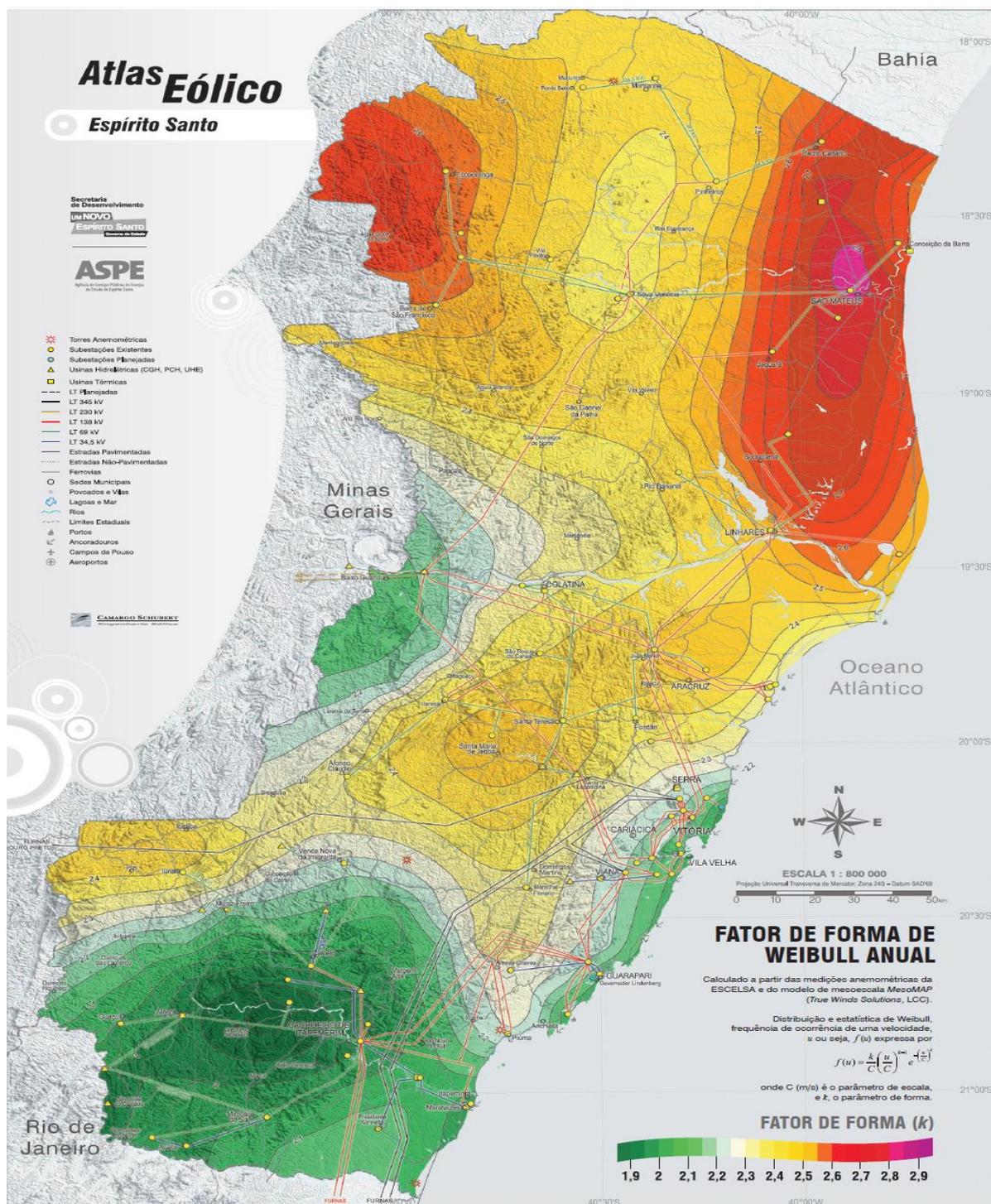
Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009).

### 4.1.3 Mapa do fator de forma *Weibull*( $k$ ) anual

Do ponto de vista estatístico, o parâmetro de forma de *Weibull*,  $k$ , é adimensional e controla a forma da distribuição de *Weibull*. Quanto maior o valor de  $k$ , mais a distribuição se aproxima de uma forma gaussiana, ou seja, em forma de sino (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009; PATEL, 2005; ROHATGI; NELSON, 1994; SILVA; GUEDES; ARAÚJO, 1999).

O parâmetro  $k$  está definido de 0 a  $+\infty$ . É chamado de declividade de *Weibull*, pois determina a declividade da função de distribuição acumulada, plotada em uma função de probabilidade *Weibull*. Variações no valor de  $k$  alteram drasticamente o comportamento da distribuição. Para  $k < 1$ , o fator exponencial da distribuição é predominante e a curva fica em um formato de J; para  $k = 1$ , a distribuição se reduz a uma distribuição exponencial; para  $k > 1$ , o fator polinomial da distribuição é predominante (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009; PATEL, 2005; ROHATGI; NELSON, 1994; SILVA; GUEDES; ARAÚJO, 1999).

O valor de forma de *Weibull* é retirado da análise da Figura 38, em que se apresenta a localização da região de interesse para retirar o valor do mapa (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009). Com o valor de  $k$ , calcula-se o valor de  $c$  pela Equação (2).

Figura 38 - Mapa que representa o fator de forma *Weibull* anual

Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 55).

#### 4.1.4 Carta náutica

As classificações de áreas oceânicas, mares, baías, rios, canais, lagos, lagoas ou qualquer outra massa d'água navegável e que se propõe a servir de base à navegação são resultados das informações cartográficas que se constroem

geralmente na Projeção de Mercator, que é um tipo de projeção cilíndrica do globo terrestre e representa os acidentes terrestres e submarinos, ministrando subsídios sobre profundidades, perigos à navegação (bancos, pedras submersas, cascos soçobrados ou qualquer outro obstáculo à navegação), natureza do fundo, fundeadouros e áreas de fundeio, auxílios à navegação (faróis, faroletes, boias, balizas, luzes de alinhamento, radiofaróis etc.), altitudes e pontos notáveis aos navegantes, linha de costa e de contorno das ilhas, dados de elementos de marés, correntes, magnetismo e diversas indicações necessárias à segurança da navegação (MARINHA DO BRASIL, 2013).

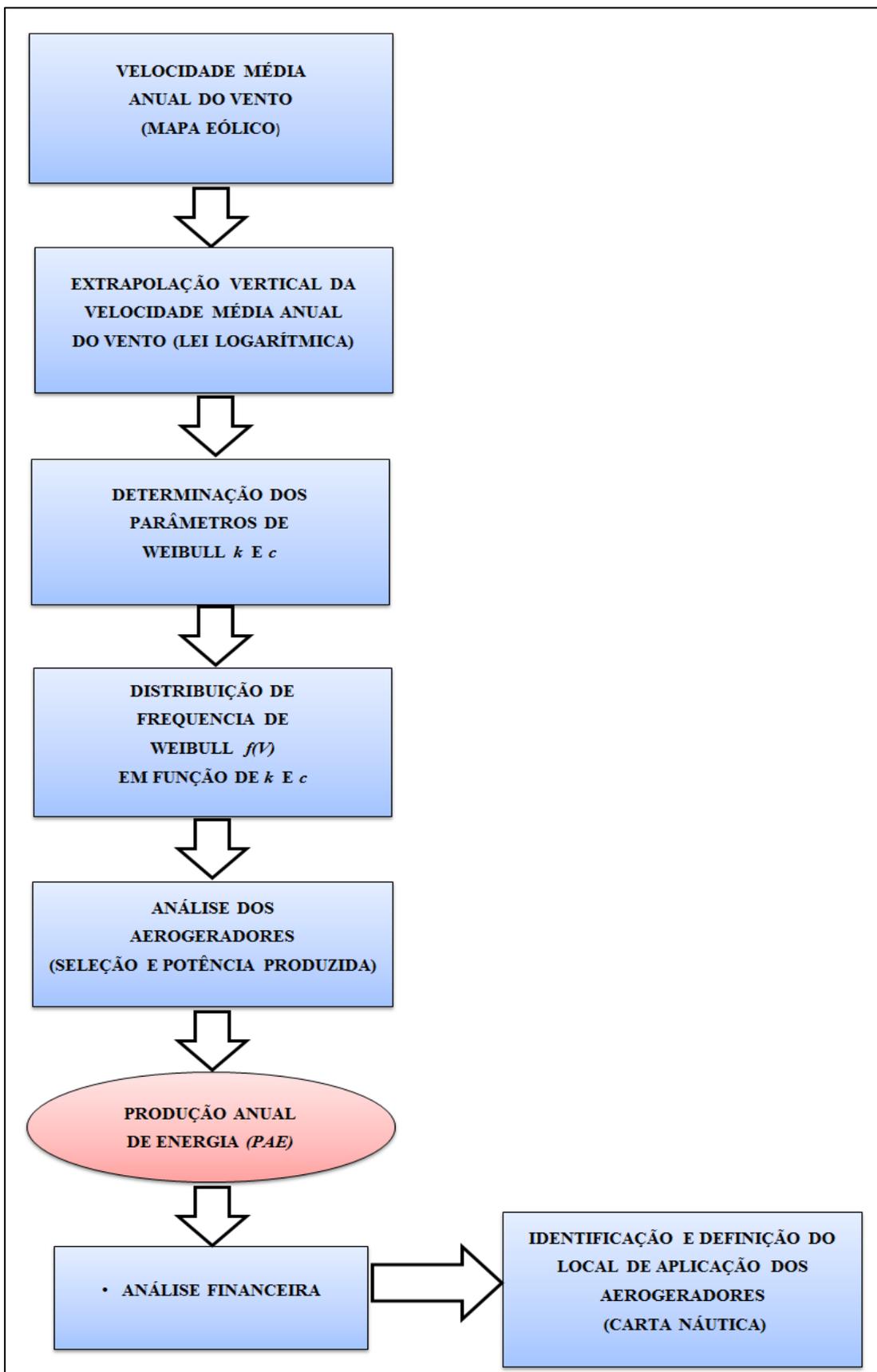
A carta náutica é disponibilizada pela marinha do Brasil, especificamente no portal eletrônico da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), em formato *raster*, e pode ser visualizada no Global Mapper® em sua versão *Trial* (MARINHA DO BRASIL, 2013). O *Global Mapper®* é um *software* de sistema de informação geográfica de uso geral, desenvolvido pela *Blue Marble Geographics*, para o sistema operacional *Microsoft Windows*. Podem-se importar mapas de diferentes formatos e georreferenciar essas imagens, por exemplo. Pode-se também medir distâncias, e obter e inserir dados diversos sobre os mapas utilizados (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2009).

A carta náutica é utilizada neste trabalho para obter as particularidades do solo marinho.

## 4.2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada nesta seção é a mesma empregada em (Oliveira Filho, 2011). Tal metodologia é empregada no Capítulo 5 desta Dissertação para proporcionar um projeto simplificado de um parque eólico *offshore* para atendimento de uma demanda específica do norte do Estado do Espírito Santo. A Figura 39 mostra um fluxograma de tal metodologia que, como pode ser observado, constitui um conjunto de procedimentos de projeto.

Figura 39 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Adaptação. Oliveira Filho (2011, p. 70).

A metodologia simplificada para se demonstrar a estimativa preliminar de produção de energia eólica *offshore* no norte do Estado do Espírito Santo baseia-se nas seguintes etapas (Figura 39):

- 1) Escolhe-se a altura da torre entre os modelos de turbinas comerciais para uso *offshore* existentes;
- 2) Por meio da Figura 36, analisa-se o Mapa Eólico *Offshore* para encontrar a faixa da velocidade média anual do vento para o local em estudo;
- 3) Da TABELA 4, retira-se o valor da rugosidade para a região de estudo;
- 4) Com as informações adquiridas pelas etapas (1) altura da torre, (2) velocidade do vento e (3) valor da rugosidade, faz-se a extrapolação da velocidade para a altura almejada, por meio da Equação (1). Em condições neutras de estratificação térmica vertical da atmosfera, o perfil de velocidade vertical do vento na camada-limite pode ser aproximado pela Lei Logarítmica, segundo a relação (MANWELL; MCCGOWAN; ROGERS, 2002; BLESSMANN, 1995; STULL, 1991)

$$V(z) = V(z_r) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) / \ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) (m/s), \quad (1)$$

onde:

$V(z)$  – é a velocidade média anual extrapolada [m/s];

$V(z_r)$  – é a velocidade na altura de referência [m/s];

$z$  – é a altura desejada [m];

$z_0$  – é o parâmetro de classes de rugosidade [m] (vide TABELA 4);

$z_r$  – é a altura de referência [m];

$\ln$  – é a função logaritmo natural.

- 5) Definem-se os parâmetros de *Weibull*, a saber:  $k$  (parâmetro de forma), adimensional, e  $c$  (parâmetro de escala) (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009; ROHATGI; NELSON, 1994).

O valor de forma de *Weibull* ( $k$ ) é retirado da análise da Figura 38, em que se mostra a localização da torre anemométrica de Urussuquara, representada pelo símbolo ☀

entre as latitudes 19°00'S e 19°30'S, e indica a uniformidade da distribuição dos valores da velocidade (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

O parâmetro  $c$  (parâmetro de escala) em metro por segundo (m/s) controla o valor do modo (a velocidade mais provável), isto é, quanto maior o parâmetro de escala, mais alto o modo e menor a probabilidade de ocorrer uma velocidade menor do que o modo (PATEL, 2005; ROHATGI; NELSON, 1994).

Para calcular o valor de  $c$ , utiliza-se a Equação (2) em função da velocidade média anual extrapolada  $V(z)$  calculada por meio da Equação (1) (LYSEN, 1983).

$$c = \frac{V(z)}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right), \quad (2)$$

onde:

$c$  – é a velocidade do vento mais provável [m/s];

$V(z)$  – é a velocidade média anual extrapolada [m/s];

$k$  – é obtida pela localização geográfica da Figura 38;

$\Gamma$  – é a função Gama, ou melhor, o logaritmo natural da função gama.

O parâmetro de *Weibull*  $c$  pode ser calculado no Excel®, utilizando-se, para o denominador a função LNGAMA – logaritmo natural da função gama (OLIVEIRA FILHO, 2011).

6) A Distribuição Estatística de Frequência *Weibull*  $f(V)$  é caracterizada pelos parâmetros de *Weibull*  $c$  e  $k$ . De acordo com Rohatgi e Nelson (1994), a frequência de ocorrência de uma velocidade  $V$  é dada por

$$f(V) = k \frac{V^{k-1}}{c^k} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right], \quad (3)$$

onde:

$f(V)$  – é a distribuição estatística de frequência *Weibull*;

$V$  – é a velocidade do vento de 0 a 25 [m/s] discretizadas em 1 m/s;

$k$  – é obtida através da localização geográfica na Figura 38;

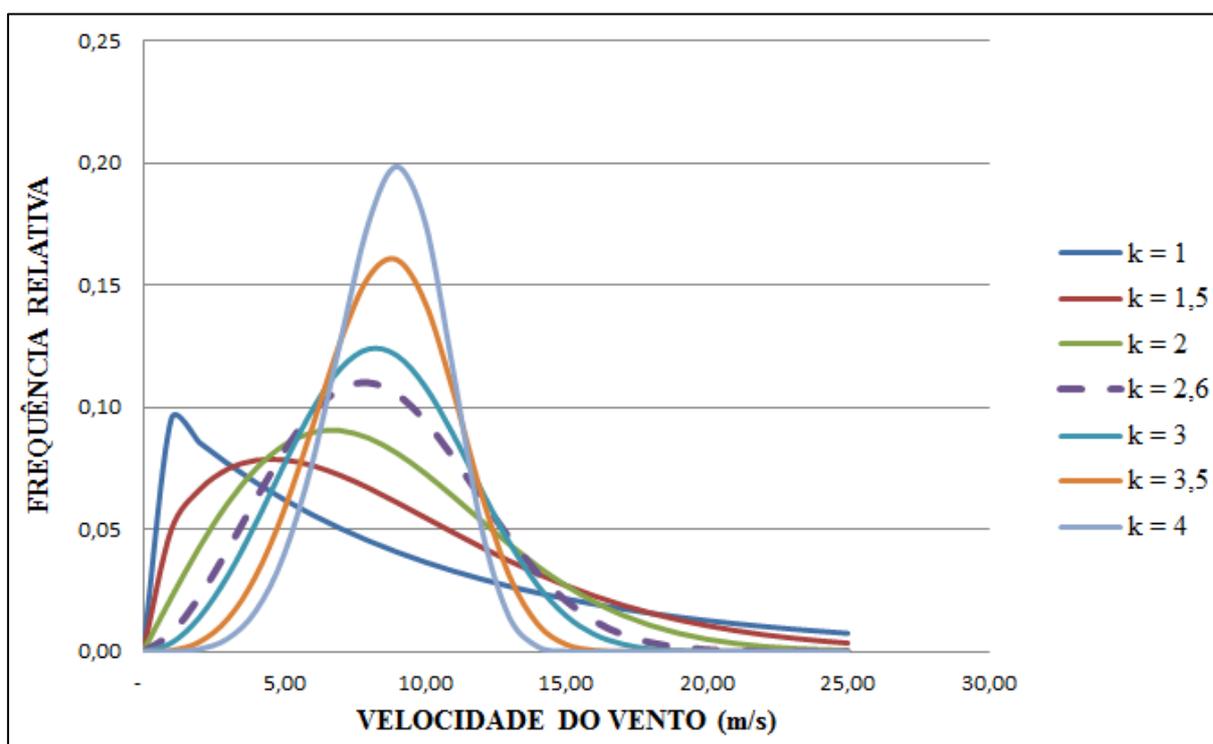
$c$  – é a velocidade do vento mais provável [m/s].

Os cálculos para essa distribuição podem ser feitos no Excel® com o uso da Função *Weibull* (OLIVEIRA FILHO, 2011). Na Figura 40, é ilustrada a Distribuição de *Weibull* e *Rayleigh* para diferentes parâmetros de forma ( $k$ ) com valores de 1 a 4, com intervalos de 0,5, e parâmetros de escala ( $c$ ) valor igual a 9,46m/s. Esse valor de  $c$  representa a velocidade média do vento na região considerada. A curva tracejada na Figura 40 é referente ao valor de  $k$  usado neste trabalho, isto é  $k = 2,6$ .

Por ser mais geral, a Distribuição de *Weibull* apresenta melhor aderência às estatísticas de velocidade do vento, uma vez que o fator de forma pode assumir valores superiores a 2 (AMARANTE, 2001b). Sendo assim, o valor de  $k$  igual a 2 já é normalmente aceito para apresentar uma melhor representação da distribuição de *Weibull* (ROHATGI; NELSON, 1994).

- 7) Escolhem-se modelos de turbinas comerciais para uso *offshore*;
- 8) Com as curvas de potência das máquinas, extrai-se a potência ( $P$  em kW) para cada velocidade;

Figura 40 - Distribuições de *Weibull* e *Rayleigh* para diferentes parâmetros de forma  $k$  e parâmetros de escala  $c = 9,46\text{m/s}$



Fonte: Elaboração própria (2015).

9) A densidade do ar é uma importante variável na dinâmica da atmosfera; o aquecimento e resfriamento do ar alteram a sua densidade, o que provoca o deslocamento do ar com a formação de brisas marítimas, ventos e a própria circulação atmosférica. A densidade do ar, assim como a pressão do ar, diminui com o aumento da altitude. Também sofre alterações com a variação da temperatura, umidade ou composição do ar seco. A ISA considera que, ao nível do mar e a 15°C, o ar tem uma densidade de cerca de 1,225kg/m<sup>3</sup> (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Para obter-se maior precisão no trabalho desenvolvido, calcula-se o valor da densidade do ar ( $\rho$ ) (em kg/m<sup>3</sup>) a partir da temperatura e da altitude do local em estudo, por meio da Equação (4) (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009), a fim de se obter as características do local onde será instalado o parque eólico *offshore*. Por meio dessa etapa, distingue-se a real potência do aerogerador instalado:

$$\rho = \frac{352,98 * \left(1 - \frac{z}{45271}\right)^{5,2624}}{273,15 + T} \text{ (kg/m}^3\text{)}, \quad (4)$$

onde:

$\rho$  – densidade do ar [kg/m<sup>3</sup>];

$z$  – Altitude em relação ao mar [m];

$T$  – Temperatura média do ano [°C].

10) De acordo com (DEWI, 1998), é possível obter uma estimativa da energia produzida, fazendo

$$PE = \frac{P * f(V) * 8760}{1000} \text{ (MWh/ano)}, \quad (5)$$

onde:

$PE$  – é a produção de energia [MWh/ano];

$P$  – é a potência da turbina [MW];

$f(V)$  é a distribuição estatística da frequência *Weibull*; e

365 dias \* 24h = 8760h (horas por ano) [h/ano].

Assim, a produção anual de energia ( $PAE$ ) é dada por

$$PAE = \sum PE \left( \frac{MWh}{ano} \right), \quad (6)$$

onde:

$PE$  – é a produção de energia [MWh/ano];

$PAE$  – é a produção de energia anual [MWh/ano];

$\Sigma$  – é o somatório de toda a produção de energia.

11) O fator de capacidade ( $FC$ ) é a razão entre a energia efetivamente gerada em um ano e a energia disponível, ou seja, a energia anual que a máquina produziria operando em sua potência nominal (CUSTÓDIO, 2002), isto é

$$FC = \frac{PAE}{PN * 8760} * 100\% \quad (7)$$

onde:

$FC$  – é o fator de capacidade;

$PAE$  – é a produção de energia anual [MWh/ano];

$PN$  – é a potência nominal do aerogerador [MW]; e

365 dias \* 24 horas = 8760 [h/ano].

12) Calcula-se a viabilidade financeira por meio do método *Payback* simples, que revela em quanto tempo o investimento retornará ao investidor

$$Payback = \frac{Investimento}{Lucro\ anual} \quad (8)$$

13) Por fim, deve-se identificar e determinar o local de instalação dos aerogeradores. A carta náutica é uma ferramenta essencial nessa avaliação. Nela se podem identificar as isóbatas e as características do material do leito e subleito marinho para a definição do local de aplicação dessas máquinas.

### 4.3 CONCLUSÃO

Neste Capítulo foi apresentado todo o ferramental necessário e suficiente para se realizar uma análise técnica e financeira simples de viabilidade de instalação de um parque eólico *offshore*, bem como a metodologia empregada para se chegar a tais conclusões. No Capítulo 5 é definido um estudo de caso, sobre o qual é aplicada a metodologia aqui apresentada.

## 5 ESTUDO DE CASO

O escopo deste estudo é revelar a avaliação preliminar de produção de energia eólica *offshore* por meio da instalação de turbinas eólicas adequadas para suprir uma demanda energética específica do norte do Espírito Santo. Este estudo de caso tomará por base a metodologia apresentada Capítulo 4.

### 5.1 CARACTERÍSTICA DA ILHA DE CAMPO GRANDE: PRAIA DE URUSSUQUARA

A Praia de Urussuquara está localizada na Ilha de Campo Grande, na cidade de São Mateus, junto à divisa com Linhares, distante 58km da sede do Município, e está geograficamente localizada a 19°04'09" S e 39°43'22" O (GOOGLE MAPS®, 2015). São aproximadamente 2km de praia, com vegetação de restinga, areia fina e amarelada em alguns trechos, dunas, manguezais, um trecho com Mata Atlântica e a foz do Rio Barra Seca (NARDOTO, 1999). Urussuquara é um termo proveniente da língua tupi e significa "toca do uru grande", por meio da junção dos termos *uru* ("uru"), *usu* ("grande") e *kûara* ("toca") (FERREIRA, 1986).

O mar da Praia de Urussuquara é muito forte, já que é uma praia oceânica, sendo propício para surf e pesca de arremesso. Bancos de areia existentes no local contribuem para a formação de piscinas naturais próprias para banhos. A natureza mostra toda sua beleza na formação de arenito na beira mar, onde as ondas provocam um belo espetáculo em suas rebentações (NARDOTO, 1999).

A Praia de Urussuquara possui um relevo predominantemente plano, estando a uma altura média de 2 metros (m) acima do nível do mar (INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2011; NARDOTO, 1999). Está localizada na região da planície quaternária do Rio Doce, descrita com um aglomerado de três compartimentações geológicas: uma de formação de período quaternário holocênico; a segunda por processo de deposição de sedimentos fluviomarinhas e a terceira do quaternário pleistocênico marinho, distribuída em uma faixa litorânea que abrange o sul do rio

Doce, os Municípios de Linhares, São Mateus e Conceição da Barra (SUGUIO; MARTIN; DOMINGUEZ, 1982).

Os dados climatológicos foram cedidos pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) a partir da estação do Município de São Mateus, a 37km da área de estudo. As temperaturas médias anuais registradas para a região atingiram máxima de 26,7°C e mínima de 21,7°C, com umidade relativa de 83% e precipitação média anual de 1308 milímetro (mm), sendo agosto o mês mais seco, quando ocorrem apenas 53mm, e novembro o mais chuvoso, em média com 198mm (CLIMA TEMPO, 2015; MONTEIRO et al., 2014). Pela classificação de *Köppen*<sup>7</sup>, a região está enquadrada no tipo Aw, portanto um clima tropical sazonal (WEBCITE, 2006; MONTEIRO et al., 2014), com as maiores taxas de precipitação nos meses de verão, chuvosos com temperaturas elevadas, e as menores nos meses de inverno, sendo secos e amenos (BRASIL, 2010; IBGE, 1978).

## 5.2 ANÁLISE E RESULTADOS

### 5.2.1 Determinação e extrapolação da velocidade média anual do vento

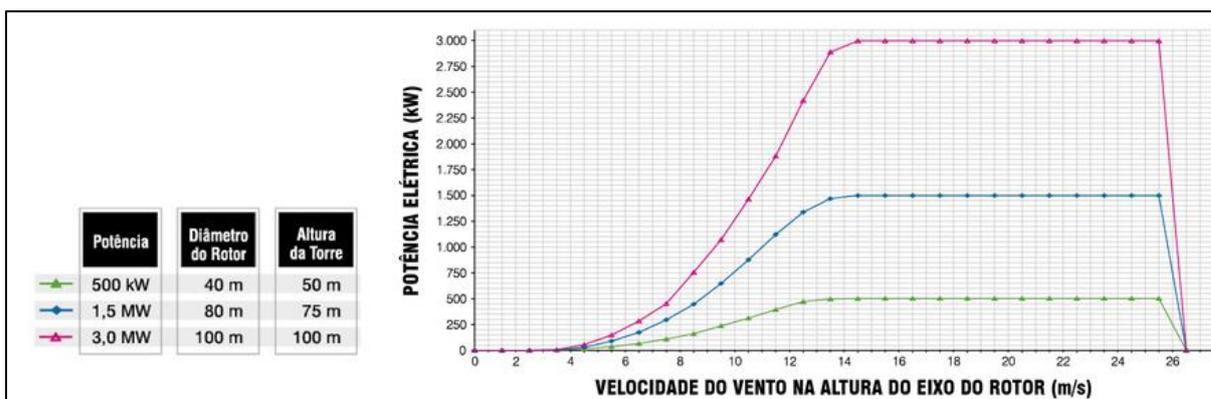
Considerando as velocidades de vento calculadas em três alturas de torres comerciais, isto é, a 50m, 75m e 100m, e as curvas médias de desempenho de turbinas eólicas comerciais das classes: 500kW, 1,5MW e 3,0MW, com diâmetros de rotor de 40m, 80m e 100m, respectivamente. A Figura 41 apresenta as curvas de potência das turbinas consideradas (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Da Figura 42, obtém-se a velocidade do vento a 10m de altura no litoral do Espírito Santo, destacado em azul.

---

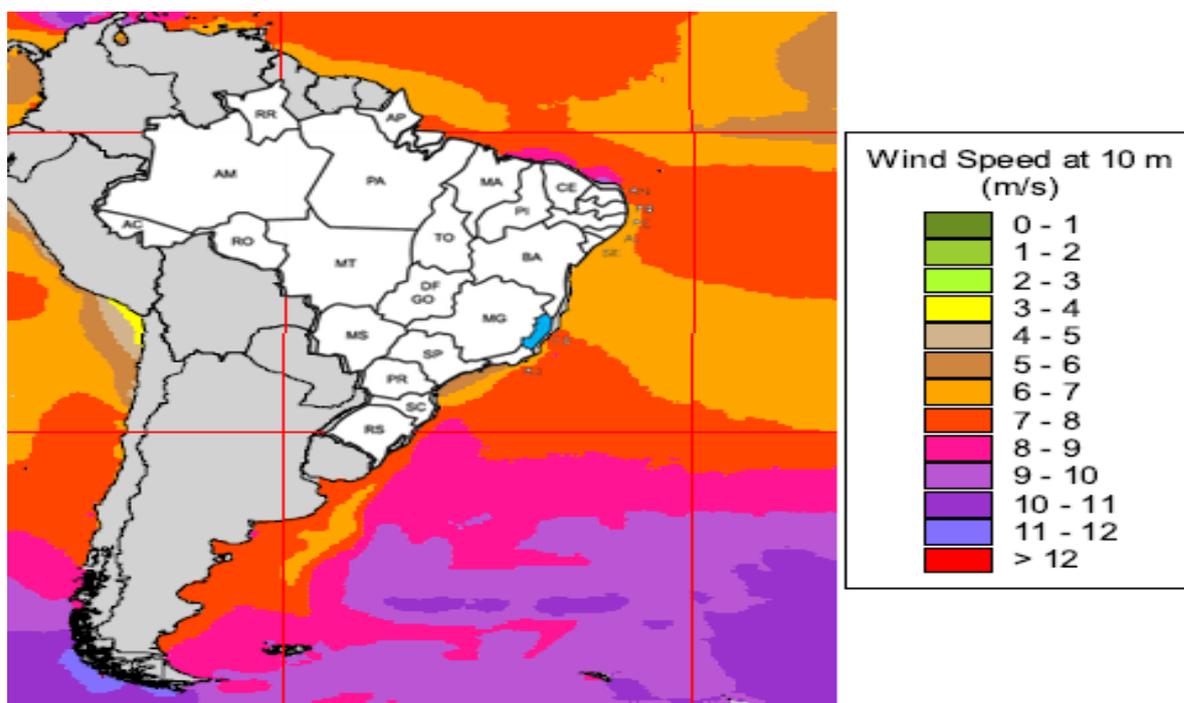
<sup>7</sup>Classificação climática de *Köppen* é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizados em geografia, climatologia e ecologia (ROLIM et al., 2007).

Figura 41 - Curvas de desempenho: potência gerada versus velocidade dos ventos pela altura do eixo do rotor



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p.70).

Figura 42 - Ampliação do mapa QuickSCAT, destacando o litoral do Espírito Santo



Fonte: Adaptação. OPENEI (2005).

A velocidade de vento no cubo do rotor será extrapolada de 10m (medidos) para 100m de altura, que será a altura analisada. Comumente as turbinas *offshore* são instaladas a uma altura do cubo do rotor entre 70 e 110m (PIMENTA; KEMPTON; GARVINE, 2008).

A Lei Logarítmica e a Lei de Potência são os dois modelos matemáticos mais empregados para avaliar a variação da velocidade do vento com a altura adotada. A Lei Logarítmica é empregada habitualmente para exceder a velocidade do vento, a

partir de uma altura de referência,  $z_r$ , a outra condição, empregando-se a Equação (1) (MANWELL; MCCGOWAN; ROGERS, 2002). O valor da rugosidade usada será a de mar calmo, ou seja,  $z_0 = 0,0001 \text{ m}$ , conforme mostrado na TABELA 4 (EWEA, 2009).

A velocidade média anual do vento no litoral de São Mateus está entre 7,0 e 8,0m/s a 10m de altura (Figura 42). Para o cálculo dessa extrapolação, utilizou-se o menor valor da velocidade de referência, no caso 7m/s.

A partir da Equação (1), calcula-se uma velocidade média anual de 8,4m/s a 100m de altura, que é a altura normalmente considerada em projetos de instalação de aerogeradores *offshore*.

### 5.2.2 Parâmetros de *Weibull*

O passo inicial para obter-se o parâmetro de *Weibull* é por meio da localização geográfica (Google Earth®), sendo disponibilizado na Figura 38. Com o valor de  $k$  para a velocidade extrapolada, calcula-se o parâmetro de escala  $c$  por meio da Equação (2). O valor de  $k$  para este projeto é um valor médio aproximado de 2,6. O valor de  $c$  calculado a partir da Equação (2) é de 9,46m/s.

### 5.2.3 Distribuição de Frequência de *Weibull*

Por meio da Equação (3), calcula-se a distribuição de frequência de *Weibull*  $f(V)$  com o valor de  $k$  e  $c$  definidos na seção anterior, para a faixa de velocidades de 0 a 25m/s, discretizadas em 1m/s, conforme a TABELA 14.

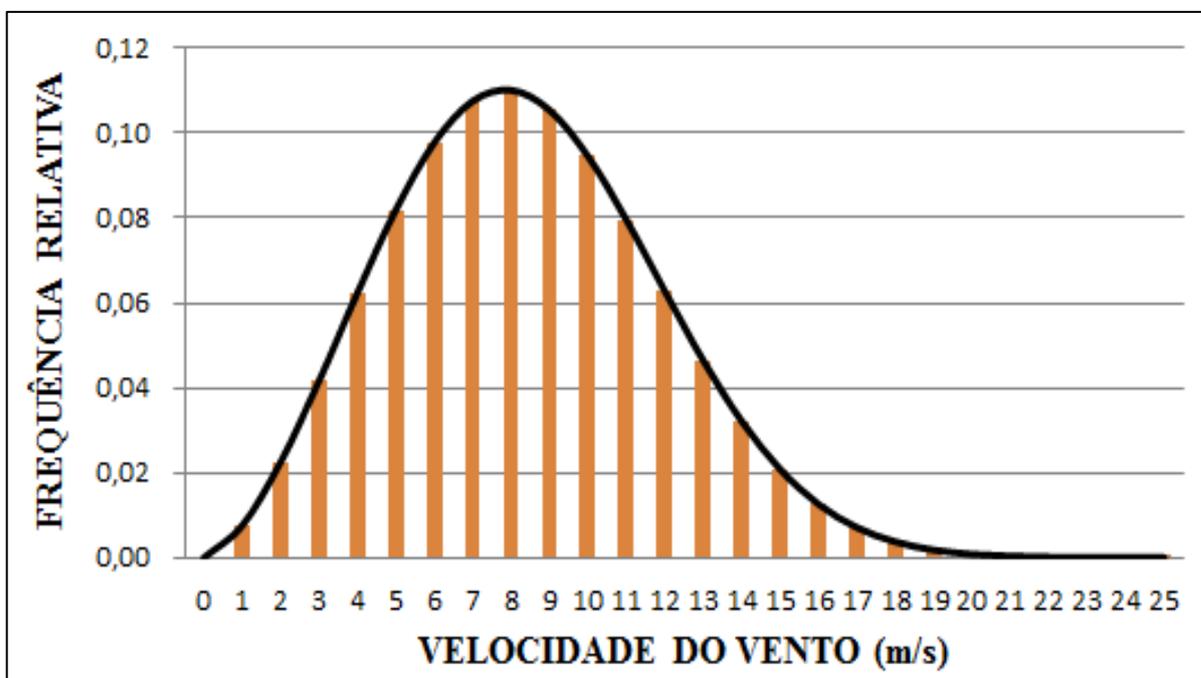
A distribuição de frequência de *Weibull*  $f(V)$  com a velocidade do vento e a probabilidade da ocorrência (histograma) é ilustrada pela Figura 43.

TABELA 14 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE WEIBULL  $F(V)$ 

Velocidade (m/s)	$f(V)\%$	Velocidade (m/s)	$f(V)\%$
0	0,00	13	4,65
1	0,75	14	3,22
2	2,25	15	2,08
3	4,16	16	1,26
4	6,24	17	0,71
5	8,19	18	0,37
6	9,77	19	0,18
7	10,75	20	0,08
8	11,01	21	0,03
9	10,54	22	0,01
10	9,46	23	0,00
11	7,96	24	0,00
12	6,28	25	0,00

Fonte: Elaboração própria (2015).

Figura 43 - Distribuição da frequência relativa de Weibull



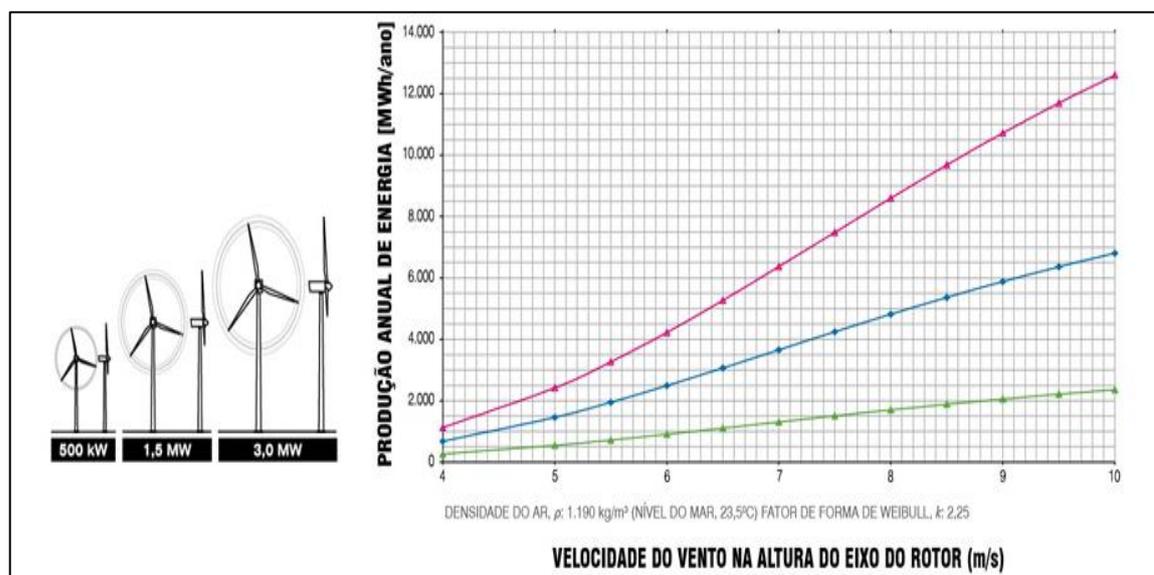
Fonte: Elaboração própria (2015).

### 5.2.4 Análise dos Aerogeradores

Na Figura 44 são apresentadas as curvas de potência das turbinas consideradas neste estudo de caso (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Por meio do que foi exposto, observa-se que turbinas com potência maior ou igual 3MW, torres com altura igual ou maior a 100m e com diâmetro do rotor igual ou maior a 100m terão melhor desempenho (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

Figura 44 - Curvas de desempenho: potência gerada *versus* a velocidade dos ventos pela potência do rotor



Fonte: Amarante, Silva e Andrade (2009, p. 70).

Entre as turbinas eólicas *offshore* disponíveis no mercado, foram selecionados as seguintes: Vestas V90 3MW, Siemens SWT-3,6-107, Repower 5M, Alstom Advantage Haliadetm 150-6MW, turbinas *offshore* com quase 100m de diâmetro de rotor, altura da torre aproximadamente 100m e potência nominal igual ou superior a 3MW, devido à análise das Figura 41 e Figura 44 . A TABELA 15 exhibe algumas características técnicas das turbinas estudadas. Essas informações foram retiradas dos respectivos *websites*.

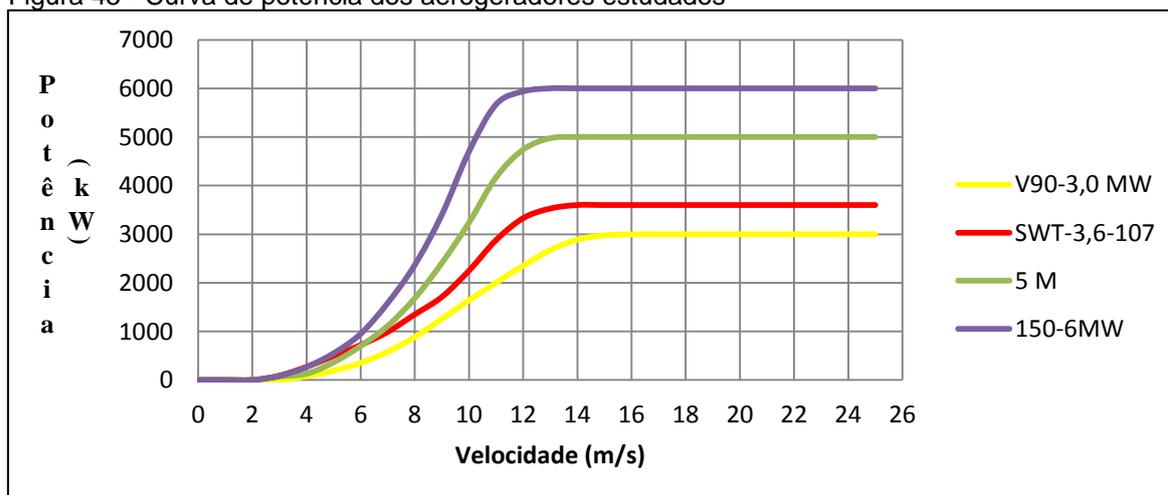
TABELA 15 - DADOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES

Características	Aerogeradores			
	V90 3,0MW	SWT-3,6-107	5M	150-6MW
Potência nominal (MW)	3,0	3,6	5,0	6,0
Velocidade de corte inferior (m/s)	3,5	3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	3,0
Velocidade nominal do vento (m/s)	15,0	13,0 – 14,0	12,0 – 13,0	15,0
Velocidade de corte superior (m/s)	25,0	25,0	25,0	25,0
Diâmetro do rotor (m)	90,0	107,0	120,0	150,95
Altura da torre (m)	105,0	100,0	100,0	100,0
Área de varredura (m <sup>2</sup> )	6.362	9.000	12.469	17.860
Velocidade do rotor (rpm)	8,6 – 18,4	5,0 – 13,0	6,9 – 12,1	4,0 – 11,5

Fonte: VESTAS (2003); SIEMENS (2011); REPOWER (2011); ALSTOM (2014).

A Figura 45 apresenta as curvas de potência que são extraídas por meio da potência *versus* velocidade do vento dos aerogeradores estudados. Para o levantamento dessas curvas de potência pela indústria eólica, é utilizado o valor da massa específica padrão, densidade do ar,  $\rho = 1,225$  Quilo por Massa ao cubo (kg/m<sup>3</sup>) à temperatura de  $T = 15^{\circ}\text{C}$  (TROEN, MORTENSEN e PETERSEN, 1987).

Figura 45 - Curva de potência dos aerogeradores estudados



Fonte: Adaptação. VESTAS (2003); SIEMENS (2011); REPOWER (2011); ALSTOM (2014).

Por meio das curvas de potência, conforme a Figura 45, extrai-se a potência produzida para cada velocidade, como apresentado na TABELA 16.

TABELA 16 - POTÊNCIA PRODUZIDA PELOS AEROGERADORES PARA CADA VALOR DA VELOCIDADE COM ( $\rho = 1,225\text{KG/M}^3$ )

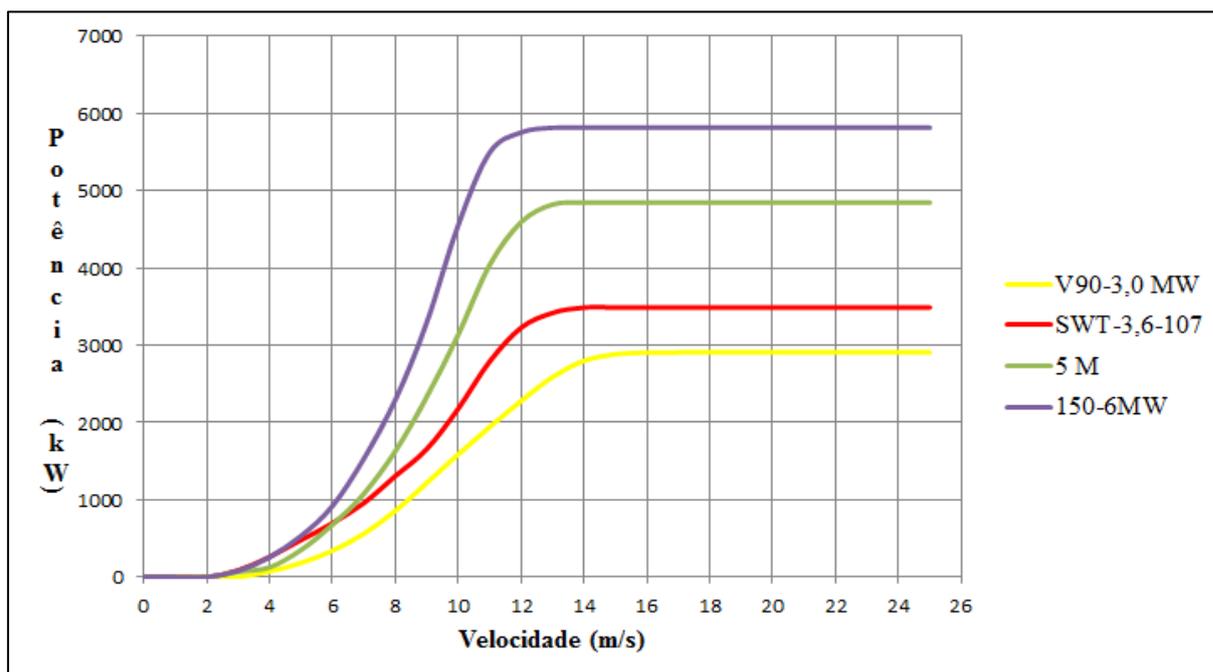
Velocidade (m/s)	Potência Produzida (kW)			
	V90-3,0MW	SWT-3,6-107	5 M	150-6MW
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	90	70	83
4	77	270	130	267
5	190	495	363	550
6	353	720	700	951
7	581	990	1.114	1.585
8	885	1.350	1.684	2.369
9	1.258	1.710	2.409	3.403
10	1.641	2.250	3.239	4.704
11	2.004	2.880	4.171	5.671
12	2.353	3.330	4.741	5.938
13	2.671	3.528	4.975	6.000
14	2.888	3.600	5.000	6.000
15	2.976	3.600	5.000	6.000
16	2.997	3.600	5.000	6.000
17	3.000	3.600	5.000	6.000
18	3.000	3.600	5.000	6.000
19	3.000	3.600	5.000	6.000
20	3.000	3.600	5.000	6.000
21	3.000	3.600	5.000	6.000
22	3.000	3.600	5.000	6.000
23	3.000	3.600	5.000	6.000
24	3.000	3.600	5.000	6.000
25	3.000	3.600	5.000	6.000

Fonte: VESTAS (2003); SIEMENS (2011); REPOWER (2011); ALSTOM (2014).

Porém, foi realizada a correção da massa específica, utilizando-se a Equação (4) com os dados da temperatura média anual igual a 24,2°C e altitude em relação ao nível do mar de 2m do local estudado, obtendo-se um valor de densidade do ar ( $\rho = 1,187 \text{ kg/m}^3$ ), sendo um valor bem próximo ao indicado na Figura 37.

Com esse valor corrigido da massa específica, pode-se estimar as curvas de potência dessas máquinas para o local, como ilustra a Figura 46.

Figura 46 - Curvas de potência para o valor da massa específica corrigida ( $\rho = 1,187 \text{ kg/m}^3$ )



Fonte: Elaboração própria (2015).

Ressalva-se que nas curvas da Figura 46 há uma perda perspicaz de potência em relação às curvas da Figura 45.

Por meio das curvas de potência para a massa específica local, conforme a Figura 46 extrai-se a potência produzida para cada velocidade, como apresentado na TABELA 17.

TABELA 17 - POTÊNCIA PRODUZIDA PELOS AEROGERADORES PARA CADA VALOR DA VELOCIDADE COM ( $\rho = 1,187 \text{ KG/M}^3$ )

Velocidade (m/s)	Potência Produzida (kW)			
	V90-3,0MW	SWT-3,6-107	5 M	150-6MW
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	87	68	80
4	75	262	126	259
5	184	480	352	533
6	342	698	678	921
7	563	959	1.079	1.536
8	858	1.308	1.632	2.296
9	1.219	1.657	2.334	3.297
10	1.590	2.180	3.139	4.558
11	1.942	2.791	4.042	5.495

CONTINUAÇÃO – TABELA 17 – POTÊNCIA PRODUZIDA PELOS AEROGERADORES PARA CADA VALOR DA VELOCIDADE COM ( $\rho = 1,187\text{KG/M}^3$ )

Velocidade (m/s)	Potência Produzida (kW)			
	V90-3,0MW	SWT-3,6-107	5 M	150-6MW
12	2.280	3.227	4.594	5.754
13	2.588	3.419	4.821	5.814
14	2.798	3.488	4.845	5.814
15	2.884	3.488	4.845	5.814
16	2.904	3.488	4.845	5.814
17	2.907	3.488	4.845	5.814
18	2.907	3.488	4.845	5.814
19	2.907	3.488	4.845	5.814
20	2.907	3.488	4.845	5.814
21	2.907	3.488	4.845	5.814
22	2.907	3.488	4.845	5.814
23	2.907	3.488	4.845	5.814
24	2.907	3.488	4.845	5.814
25	2.907	3.488	4.845	5.814

Fonte: Elaboração própria (2015).

### 5.2.5 Produção Anual de Energia (PAE)

Com as estimativas da distribuição de frequência de *Weibull* da TABELA 14 e das potências produzidas da TABELA 17, avalia-se a produção de energia (*PE*) por meio da Equação (5). O resultado está exposto na TABELA 18.

TABELA 18 - PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA CADA VALOR DE VELOCIDADE

Velocidade (m/s)	Produção de Energia (MWh)			
	V90-3,0MW	SWT-3,6-107	5 M	150-6MW
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	32	25	29
4	41	143	69	141
5	132	344	252	382
6	293	597	581	789
7	530	903	1.017	1.446
8	827	1.262	1.574	2.214
9	1.125	1.530	2.155	3.045
10	1.318	1.807	2.601	3.777
11	1.354	1.946	2.818	3.832

CONTINUAÇÃO – TABELA 18 – PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA VALOR DE VELOCIDADE

Velocidade (m/s)	Produção de Energia (MWh)			
	V90-3,0MW	SWT-3,6-107	5 M	150-6MW
12	1.254	1.775	2.527	3.165
13	1.054	1.393	1.964	2.368
14	789	984	1.367	1.640
15	525	636	883	1.059
16	321	385	535	642
17	181	217	301	362
18	94	113	157	188
19	46	55	76	92
20	20	24	34	41
21	8	9	13	15
22	3	3	4	5
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria (2015).

Com os dados da TABELA 18, por meio da Equação (6), estima-se a produção anual de energia (*PAE*). Em seguida, estima-se o fator de capacidade (*FC*) por meio da Equação (7). Uma síntese dessas análises está apresentada na TABELA 19.

TABELA 19 - ANÁLISE DOS AEROGERADORES ESTUDADOS

Aerogeradores	Vel. Média Anual a 100 m (m/s)	Potência Nominal (PN) (kW)	Energia Disponível (ED) (MWh/ano)	Produção Anual de Energia (PAE) (MWh/ano)	Fator de Capacidade (FC) (%)
V90-3.0MW	8,4	3,0	26.280	9.915	37,7
SWT-3,6-107	8,4	3,6	31.536	14.157	44,9
5M	8,4	5,0	43.800	18.952	43,3
150-6MW	8,4	6,0	52.560	25.233	48,0

Fonte: Elaboração própria (2015).

### 5.2.6 Análise Financeira *Payback* (PB)

O método do *payback* (período de recuperação) é utilizado para se ter previsão de quanto tempo o investidor terá que esperar para que seu capital investido seja recuperado (BROM; BALIAN, 2007). Essa escolha se deve pelo fato de ser uma ferramenta de grande uso no mundo dos negócios para auxiliar nas tomadas de decisões, decorrente do seu fácil entendimento e aplicabilidade (EICK, 2010).

A Equação (8) pode ser usada para computar o período de recuperação de um projeto, isto é  $Payback = \text{Investimento} / \text{Lucro anual}$  (GITMAN, 2004), quando o período de *payback* é usado na tomada de decisão de aceitação ou rejeição. Nesse caso, os critérios considerados são:

1) Se o período de *payback* for menor que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto será aceito (BROM; BALIAN, 2007).

2) Se o período de *payback* for maior que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto será rejeitado (BRUNI, 2008).

O *payback* simples, apresenta uma deficiência, pois a análise não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, ou seja, não calcula o valor presente das entradas de caixa à taxa de desconto apropriada (GITMAN, 2004).

Como desvantagens do Método do PB, citam-se:

➤ O método do PB apresenta o inconveniente de não ter em conta os *cash flows*, fluxo de caixa, gerados depois do ano de recuperação, tornando-se, assim, desaconselhável na avaliação de projetos de longa duração (KUHLEN; BAUER, 1996).

➤ O PB valoriza diferentemente os fluxos recebidos em diferentes períodos, mas apenas segundo o critério dualista: antes ou depois do PB, sendo indiferente o período em que recebe dentro de cada um destes intervalos (BRUNI, 2008).

Como vantagens do Método do PB, citam-se:

➤ O fato de ser bastante simples na sua forma de cálculo e de fácil compreensão (BROM; BALIAN, 2007).

➤ Fornece uma ideia do grau de liquidez e de risco do projeto (EICK, 2010);

➤ Em tempo de grande instabilidade e pela razão anterior, a utilização desse método é uma forma de aumentar a segurança dos negócios da empresa (KUHLEN; BAUER, 1996);

- Adequado à avaliação de projetos em contexto de risco elevado (GITMAN, 2004);
- Adequado à avaliação de projetos com vida limitada (BRUNI, 2008);

Aplicou-se a Equação (8), como resposta obteve-se a TABELA 20 contendo investimento, fluxo de caixa e saldo de investimento de cada turbina utilizada nessa dissertação demonstrando o tempo de retorno para cada aerogerador analisado.

TABELA 20 – PLAYBACK SIMPLES

	ANOS	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANOS/ MESES
V90-3.0 MW	INVESTIMENTO(€)	144.000.000,00									7 ANOS E 11 MESES
	FLUXO DE CAIXA(€)		18.293.892,50	18.293.892,50	18.293.892,50	18.293.892,50	18.293.892,50	18.293.892,50	18.293.892,50	18.293.892,50	
	SALDO DE INVESTIMENTO (€)	- 144.000.000,00	-	-107.412.215,00	- 89.118.322,50	70.824.430,00	52.530.537,50	34.236.645,00	15.942.752,50	2.351.140,00	
SWT-3.6-107	INVESTIMENTO(€)	124.800.000,00									6 ANOS E 8 MESES
	FLUXO DE CAIXA(€)		18.864.817,50	18.864.817,50	18.864.817,50	18.864.817,50	18.864.817,50	18.864.817,50	18.864.817,50	18.864.817,50	
	SALDO DE INVESTIMENTO (€)	- 124.800.000,00	-	- 87.070.365,00	- 68.205.547,50	49.340.730,00	30.475.912,50	11.611.095,00	7.253.722,50	26.118.540,00	
5M	INVESTIMENTO(€)	133.333.330,00									6 ANOS E 11 MESES
	FLUXO DE CAIXA(€)		19.425.595,00	19.425.595,00	19.425.595,00	19.425.595,00	19.425.595,00	19.425.595,00	19.425.595,00	19.425.595,00	
	SALDO DE INVESTIMENTO (€)	- 133.333.330,00	-	- 94.482.140,00	- 75.056.545,00	55.630.950,00	36.205.355,00	16.779.760,00	2.645.835,00	22.071.430,00	
150-6MW	INVESTIMENTO(€)	112.000.000,00									6 ANOS E 3 MÊSES
	FLUXO DE CAIXA(€)		18.104.575,00	18.104.575,00	18.104.575,00	18.104.575,00	18.104.575,00	18.104.575,00	18.104.575,00	18.104.575,00	
	SALDO DE INVESTIMENTO (€)	- 112.000.000,00	-	- 75.790.850,00	- 57.686.275,00	39.581.700,00	21.477.125,00	3.372.550,00	14.732.025,00	32.836.600,00	

Fonte: Elaboração própria (2015).

### 5.2.7 Análise Energético-Financeira

Os dados do Censo de 2010 mostram que a população de São Mateus tinha 109.028 habitantes e apresentam uma estimativa de 122.668 habitantes em 2014 (IBGE, 2011). A cidade de São Mateus teve um consumo de energia elétrica em 2014 de 170.590MWh (TABELA 5), sendo que o Município está em ampla expansão, com instalação de novos empreendimentos como Volare, Oxford, *Shopping Centers*, entre outras. Além disso, São Mateus (juntamente com Linhares) é o Município mais próximo da região de Urussuquara, considerada neste estudo de caso de instalação de parque eólico *offshore*. Daí, a proposta de se considerar a demanda energética específica desse Município.

Portanto, considerando as turbinas apresentadas na TABELA 19 e o consumo de energia elétrica da cidade de São Mateus no ano de 2014, TABELA 5, então é calculada a quantidade de aerogeradores de cada tipo, considerado para se atender àquela demanda, conforme mostrado na TABELA 21

TABELA 21 - ANÁLISE ENERGÉTICO-FINANCEIRA DAS MÁQUINAS

Turbina	Quantidade de turbinas necessárias	Preço médio kW instalado (€)	Valor de cada turbina instalada (€)	Valor Total (€)	Produção Anual de Energia do Parque (MWh/ano)	Retorno de Investimento (anos/meses)
V90-3.0 MW	18	3.100	8.000.000	144.000.000	178.477	7 anos e 11 meses
SWT-3,6-107	13	3.100	9.600.000	124.800.000	184.047	6 anos e 8 meses
5M	10	3.100	13.333.333	133.333.330	189.518	6 anos e 11 meses
150-6MW	7	3.100	16.000.000	112.000.000	176.630	6 anos e 3 meses

Fonte: Elaboração própria (2015).

Os custos médios aproximados para a instalação de cada tipo de aerogerador considerado (EWEA, 2015) também são apresentados na TABELA 21. Logo, por meio do valor total para atendimento da demanda considerada, é possível apontar a turbina *Alstom Advantage Halaidetm 150-6MW* como sendo a que proporciona o

menor custo para a implantação do projeto, muito embora ela seja a de maior valor unitário.

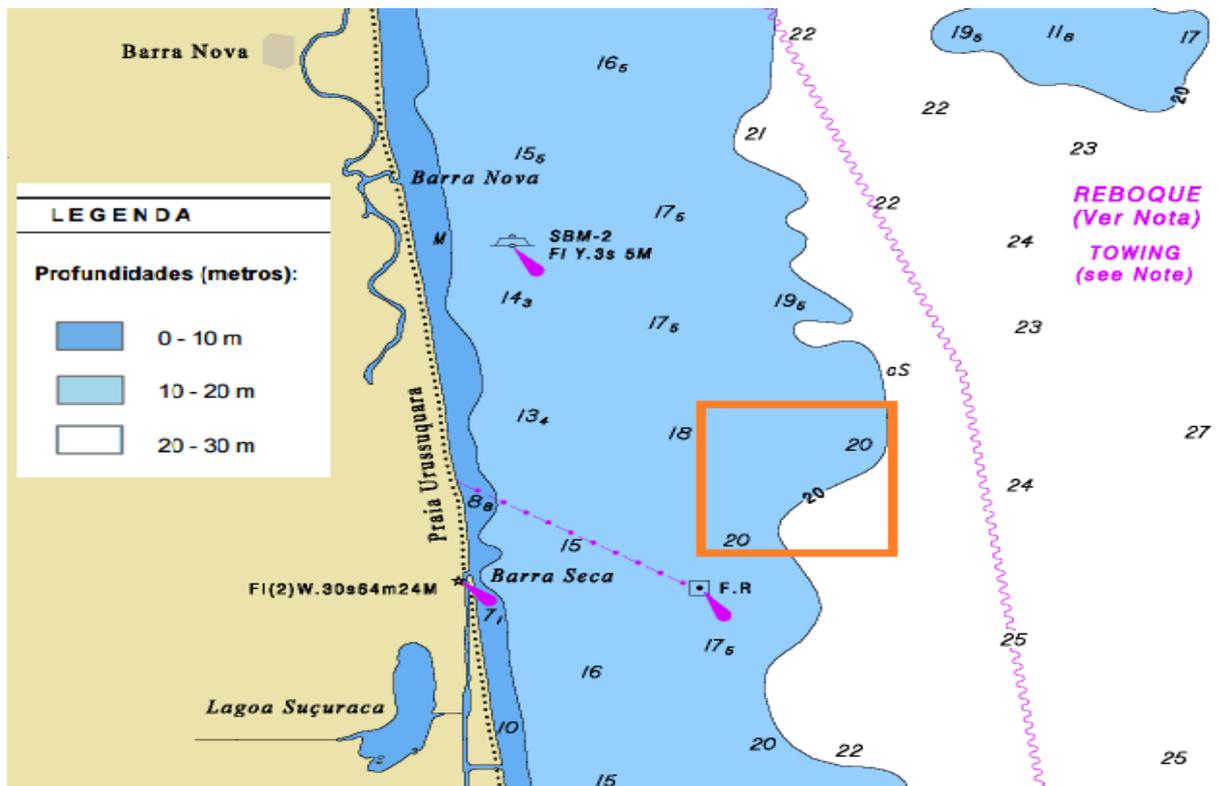
Outra análise que pode ser realizada em âmbito de estudo preliminar é a de estimativa do tempo de retorno de investimento, onde os custos com manutenção são suprimidos e é considerado o valor médio pago pela energia eólica do segundo leilão para fontes renováveis no ano de 2015, isto é, R\$ 388,48/MWh (EPE, 2015a). Para esse cálculo, utilizou-se a seguinte conversão monetária: R\$ 3,79 = € 1,00, de agosto de 2015. Com isso, obteve-se uma estimativa de tempo de retorno do investimento, a qual é apresentada na TABELA 20. Dessa estimativa, é possível concluir que o aerogerador *Alstom Advantage Halidetm* 150-6MW também seria o mais viável, pois o custo de implantação se pagaria em menos tempo (em torno de 6 anos), sabendo-se que nesta análise simplória só foi considerado o valor da turbina, sendo desprezadas as demais despesas para instalação do parque. Cabe ressaltar que um aerogerador tem uma vida útil de aproximadamente 25 anos, ou seja, muito maior que o tempo de retorno do investimento.

### **5.2.8 Identificação do local de aplicação dos aerogeradores**

A simulação da aplicação dos aerogeradores será feita na linha isóbata de 20m, destacado pelo retângulo na Figura 47. Foi considerado esse valor de profundidade devido ao estudo realizado para elaboração do Atlas Eólico: Espírito Santo, em que se avalia que na profundidade de 20m a incidência de vento é melhor do que na de 10m de profundidade, para uma altura de torre de 100m, como foi considerado neste estudo.

Portanto o local, mais propício no Espírito Santo para instalação do parque eólico *offshore* é no Litoral norte do Estado, Praia de Urussuquara com linhas isóbata de 20m.

Figura 47 - Carta náutica de Conceição da Barra a Vitória (carta 22.800). O local destacado corresponde a isóбата de 20 m



Fonte: MARINHA DO BRASIL (2015).

## 6 CONCLUSÃO

A energia eólica é a fonte de geração de energia elétrica que mais tem crescido no Brasil. As condições naturais adequadas, com ventos constantes, intensos e estáveis quanto à direção, que aumentam a eficiência e a capacidade de geração, e o fato de grande parte da cadeia produtiva já ser nacionalizada, sugerem um futuro ainda mais promissor para a geração eólica. No entanto, para que os “ventos” sejam ainda mais favoráveis, são necessárias ações para melhorar desde a infraestrutura de acesso aos parques ao aperfeiçoamento de diversos aspectos regulatórios.

O Brasil tem um grande potencial eólico *offshore* e uma vasta área marítima que pode ser utilizada para implantação de vários parques eólicos *offshore*. Com o passar dos anos, a demanda de energia tende a aumentar, principalmente na região litorânea, onde há grande concentração de consumidores de energia elétrica. Assim, a energia eólica *offshore* deverá ser um importante complemento para auxiliar o litoral brasileiro, impedindo colapsos energéticos, como os “apagões”, compensando a falta de água nos reservatórios das hidrelétricas, e, portanto, deixando a rede elétrica nacional mais segura.

O estudo de caso deste trabalho baseou-se em um mapa eólico dos oceanos do projeto SWERA, com velocidades médias anuais de 7m/s, medidas a 10m de altura. Utilizou-se também uma extrapolação vertical dessa velocidade, por meio da Lei Logarítmica, para uma altura de 100m. A turbina mais adequada no estudo de caso apresentado foi a *Alstom Advantage Halidetm 150-6MW*. O projeto preliminar mostrou que, com sete turbinas de 6MW, seria possível produzir aproximadamente 176.630 MWh/ano, atendendo à demanda de 170.590 MWh/ano que a cidade de São Mateus apresentou em 2014. O estudo mostrou ainda que um empreendimento dessa natureza se pagaria em cerca de 6 anos, ou seja, uma fração do tempo de vida médio de um parque eólico, que é algo em torno de 25 anos. Cabe ressaltar que o custo de um parque eólico se dilui à medida que se aumenta a quantidade de turbinas, o que significa dizer que a viabilidade aumenta com um crescimento da demanda.

Este trabalho tratou de aspectos essenciais, até mesmo regulatórios, relacionando as principais facilidades e dificuldades para iniciativas eólicas no ES, face à aplicação dessa fonte renovável para requerer a sustentabilidade energético-socioeconômica do ES.

Acredita-se que este trabalho possa servir de base para novos trabalhos que venham a ser desenvolvidos no sentido de promover tanto o desenvolvimento tecnológico quanto as condições políticas necessários para que no futuro, não só o estado do ES, mas o Brasil como um todo, possa por em prática a exploração do potencial eólico *offshore*.

**REFERÊNCIAS**

1. ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim de Dados Nov 2014**, 2014. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/pdf/Boletim-de-Dados-ABEEolica-Novembro-2014-Publico.pdf>>. Acesso em: 13 Novembro 2014.
2. ADELAJA, A. et al. Assessing offshore wind potential. **Energy Policy**, v. 42, p. 191-200, 2012.
3. ALSTOM. Alstom Wind. **Haliade™ 150-6MW**, 2014. Disponível em: <<http://www.alstom.com/Global/Power/Resources/Documents/Brochures/offshore-wind-turbine-6mw-robust-simple-efficient.pdf>>. Acesso em: 03 Julho 2015.
4. AMARANTE, O. A. C. D. **Atlas do Potência Eólico do Estado do Ceará**. SEINFRA/CE. Ceará. 2001b.
5. AMARANTE, O. A. C. D.; BROWER, M.; ZACK, J. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. MME/ELETROBRÁS/CEPEL. Brasília, p. 45. 2001a.
6. AMARANTE, O. A. C. D.; SILVA, F. D. J. L. D.; ANDRADE, P. E. P. D. Atlas Eólico: Espírito Santo, Vitória, p. 100, 2009. Disponível em: <<http://www.aspe.es.gov.br/web/atlaseolico/index.htm>>. Acesso em: 4 Junho 2013.
7. AMORIM, H. B. **Inventário Florestal Nacional: Florestas Nativas - Rio de Janeiro e Espírito Santo**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Brasília. 1984.
8. ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil, p. 243. 2005a.
9. ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 8. 2005b.
10. ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 2008.
11. ANEEL. **Chamada nº 017/2013 Projeto Estratégico: "Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Eólica"**. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE. Brasília, p. 18. 2013.
12. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz Energética do Brasil**, 2015. Disponível em:

- <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=7&ger=Outros&principal=E%C3%B3lica>>. Acesso em: 25 Maio 2015.
13. APOIO ESCOLAR 24 HORAS. **Tipos de vento**, 2013. Disponível em: <[http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/geografia/093\\_climatologia/tipos\\_vento.htm](http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/geografia/093_climatologia/tipos_vento.htm)>. Acesso em: 02 Fevereiro 2015.
  14. ASPE. **Balanco Energético do Estado do Espírito Santo - BEES2012 Ano Base 2011**. Agência de Serviços Públicos de energia do Estado do Espírito Santo. Vitória, p. 64. 2012.
  15. ASPE. **Plano Estratégico 2013-2020**. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. Vitória. 2013a.
  16. ASPE. **Balanco Energético do Estado do Espírito Santo - BEES2013**. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. Vitória, p. 64. 2013b.
  17. ASPE. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. **Energia Elétrica - Energia no Espírito Santo**, 2015a. Disponível em: <<http://www.aspe.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 23 Maio 2015.
  18. ASPE. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. **Energia Elétrica - Unidades de Geração no Estado**, Vitória, 2015b. Disponível em: <[http://www.aspe.es.gov.br/download/capacidade\\_instalada.pdf](http://www.aspe.es.gov.br/download/capacidade_instalada.pdf)>. Acesso em: 03 Junho 2015.
  19. ASPE. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. **Energia Elétrica - Sistema Elétrico**, 2015c. Disponível em: <<http://www.aspe.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 05 Junho 2015.
  20. BLESSMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Universidade / UFRGS. Porto Alegre. 1995.
  21. BRASIL. PORTAL BRASIL. **Tipos de Clima**, 2010. Disponível em: <[http://www.brasil.gov.br/old/copy\\_of\\_imagens/sobre/geografia/mapas/clima/clima.jpg/image\\_view\\_fullscreen](http://www.brasil.gov.br/old/copy_of_imagens/sobre/geografia/mapas/clima/clima.jpg/image_view_fullscreen)>. Acesso em: 27 Junho 2015.
  22. BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. **Análise de investimentos e capital de giro: conceitos e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2007.
  23. BRUNI, A. L. **Avaliação de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2008.
  24. CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Comercialização**, 2006. Disponível em:

- <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/comercializacao?\\_afLoop=453748675249445#%40%3F\\_afLoop%3D453748675249445%26\\_adf.ctrl-state%3Du5w3tig5a\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_afLoop=453748675249445#%40%3F_afLoop%3D453748675249445%26_adf.ctrl-state%3Du5w3tig5a_4)>. Acesso em: 14 Novembro 2014.
25. CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Avaliação e percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil**, 2012. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/7860>>. Acesso em: 03 Dezembro 2014.
  26. CLIMA TEMPO. Climatologia, 2015. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/6794/guriri-es>>. Acesso em: 04 Março 2015.
  27. CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Eólica Princípio e Tecnologia**, 2008. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_eolica\\_2008\\_e-book.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf)>. Acesso em: 10 Junho 2014.
  28. CUSTÓDIO, R. S. **Parâmetros de Projeto de Fazendas Eólicas e Aplicação Específica no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) - PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2002.
  29. CUSTÓDIO, R. S. **Energia eólica para a produção de energia elétrica**. 1º. ed. Eletrobrás: Centrais Elétricas Brasileiras S.A., 2009.
  30. DAHER, S. **Analysis, Design and Implementation of a High Efficiency of a Multilevel Converter for renewable energy Systems**. University of Kassel. Kassel, p. 147. 2006.
  31. DEWI. Deutsches Windenergie-Institut. **Energia Eólica**, Wilhelmshaven, 1998.
  32. DGEG. Direção Geral de Energia e Geologia, 2010. Disponível em: <<http://www.dgeg.pt>>. Acesso em: 17 Julho 2014.
  33. DUTRA, R. M. **Viabilidade Técnico - Econômica da Energia Eólica face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro**. Dissertação de M.Sc., Programa de Planejamento Energético. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 309. 2001.
  34. EICK, G. **Viabilidade Econômica e Financeira de uma Pequena Central Hidrelétrica no Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Ciências Econômicas. Santa Catarina, p. 70. 2010.

35. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Banco de Dados Climáticos do Brasil**, 2003. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2015.
36. EOPORTAL. Earth Observation Portal. **QuikSCAT (Missão Scatterometer Rápida)**, 2002. Disponível em: <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/q/quikscat>>. Acesso em: 12 Junho 2015.
37. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2007. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PNE/20080111\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf)>. Acesso em: 15 Outubro 2014.
38. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**, 2013. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PDEE/20140124\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20140124_1.pdf)>. Acesso em: 04 Outubro 2014.
39. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Boletim Trimestral da Energia Eólica - Junho**, 2014a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Resenha%20E%20C3%B3lica%20Trimestral%20Junho%202014.pdf>>. Acesso em: 13 Novembro 2014.
40. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão Energia 2023**, Brasília, p. 434, 2014b. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2023\\_ConsultaPublica.pdf](http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2023_ConsultaPublica.pdf)>. Acesso em: 17 Dezembro 2014.
41. EPE. Empresa de Pesquisa Energético, 2015a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Fontes%20Alternativas%202015/CustosMarginaisdeOpera%C3%A7%C3%A3o\(CMO\)paraoleil%C3%A3odeFontesAlternativasde2015.aspx](http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Fontes%20Alternativas%202015/CustosMarginaisdeOpera%C3%A7%C3%A3o(CMO)paraoleil%C3%A3odeFontesAlternativasde2015.aspx)>. Acesso em: 07 Agosto 2015.
42. EPE. Empresa de Pesquisa Energético. **Leilões**, 2015b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Fontes%20Alternativas%202015/Leil%C3%A3oFA2015negociaenergia%20de%2011usinascomdes%20A1giode1,96.aspx>>. Acesso em: 08 Agosto 2015.
43. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Leilões**, 2015c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20A-3%202015/Leil%C3%A3oA-3contrata669MW.aspx?CategoriaID=6991>>. Acesso em: 09 Agosto 2015.
44. ESTEBAN, M. D. et al. Why offshore wind energy? **Renewable Energy**, v. 36, n. 2, p. 444-450, 2011.

45. EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA. **Histórico da energia dos ventos**, 2012a. Disponível em: <<https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/historico-da-energia-dos-ventos/>>. Acesso em: 02 Junho 2014.
46. EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA. **Energia Eólica no Brasil**, 2012b. Disponível em: <<http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/energia-eolica-no-brasil/>>. Acesso em: 11 Novembro 2014.
47. EWEA. European Wind Energy Association. **Wind Energy - The Facts**, p. 83, 2009.
48. EWEA. European Wind Energy Association. **The European offshore wind industry - key trends and statistics 1st half 2014**, 2014. Disponível em: <[http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/European\\_of\\_fshore\\_statistics\\_1st-half\\_2014.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/European_of_fshore_statistics_1st-half_2014.pdf)>. Acesso em: 13 Janeiro 2015.
49. EWEA. European Wind Energy Association, 2015. Disponível em: <<http://www.ewea.org/offshore2015/>>. Acesso em: 08 Agosto 2015.
50. FARDIN, J. F.; ARAUJO, ; DE SOUZA, V. D. Sistema para Estimativa do Potencial Eólico do Estado do Espírito Santo. **VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Vitória, 2011b. Disponível em: <[http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011\\_artigo\\_139.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011_artigo_139.pdf)>. Acesso em: 26 Setembro 2014.
51. FARDIN, J. F.; ARAÚJO, L. R. A. D.; SOUZA, V. D. D. Análise de Viabilidade de Parques Eólicos no Estado do Espírito Santo. **VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Vitória, 2011a. Disponível em: <[http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011\\_artigo\\_021.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011/2011_artigo_021.pdf)>. Acesso em: 26 Setembro 2014.
52. FERREIRA, A. B. H. Novo Dicionário da Língua Portuguesa, Rio de Janeiro, n. 2º, p. 1743, 1986.
53. GASH, R.; TWELE, J. **Wind power plants: Fundamentals, design, construction and operation**, 2002.
54. GEOLOGIA. Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa, 2009. Disponível em: <[www.geologia.fc.ul.pt/Aulas/STDS/Docs/STDS0708Aula21.pdf](http://www.geologia.fc.ul.pt/Aulas/STDS/Docs/STDS0708Aula21.pdf)>. Acesso em: 25 Junho 2013.

55. GITMAN, L. J. **Princípios da Administração Financeira**. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.
56. GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC. Global Mapper. **Overview**, 2009. Disponível em: <<http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php>>. Acesso em: 26 Junho 2015.
57. GOOGLE MAPS®, 2015. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 27 Junho 2015.
58. GREEN, R.; VASILAKOS, N. The Economics of Offshore Wind. **Energy Policy**, Elsevier, v. 39 (2), p. 496-502, Fevereiro 2011.
59. GREENPEACE INTERNACIONAL. **Revolução Energética: A Caminho do Desenvolvimento Limpo**. GWEC (Conselho Internacional de Energia Eólica). Edição Brasileira, p. 41. 2013.
60. GUIAGEO-MAPAS. **Guia Geográfico Mapas**, 2012. Disponível em: <<http://www.guiageo-mapas.com/mundo-noite.htm>>. Acesso em: 20 Outubro 2014.
61. GWEC. Global Wind Report. **Annual market update 2011**, 2012. Disponível em: <[http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual\\_report\\_2011\\_lowres.pdf](http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf)>. Acesso em: 01 Junho 2015.
62. GWEC. Global Wind Energy Council - Global Wind Report. **Global Offshore**, 2013. Disponível em: <<http://www.gwec.net/global-figures/global-offshore/>>. Acesso em: 06 Dezembro 2014.
63. GWEC. Global Wind Energy Council - Global Wind Report. **Annual Market Update 2013**, 2014a. Disponível em: <[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report\\_9-April-2014.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf)>. Acesso em: 14 Julho 2014.
64. GWEC. Global Wind Energy Council - Global Wind Report. **Global Wind Energy Outlook 2014**, October 2014b. Disponível em: <[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014\\_WEB.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014_WEB.pdf)>. Acesso em: 10 Janeiro 2015.
65. GWEC. Global Wind Energy Council - Global Wind Report. **Annual Market Update 2014**, 2015. Disponível em: <[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC\\_Global\\_Wind\\_2014\\_Report\\_LR.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_LR.pdf)>. Acesso em: 02 Maio 2015.

66. HONORATO, K. A.; FARDIN, J. F.; ARAÚJO, L. R. A. **Estudo das Alternativas de Complementação do Déficit Energético do Estado do Espírito Santo**. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória: Anais UFES. 9 Setembro 2011. p. 10.
67. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biblioteca IBGE**, 1978. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20-%20RJ/BrasilClimas.jpg>>. Acesso em: 27 Junho 2015.
68. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Clima do Brasil 2002**, 2002. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm)>. Acesso em: 26 Junho 2014.
69. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Comunicação Social. **Picos da Bandeira e do Cristal já tem Novas Atitudes**, 2004. Disponível em: <[http://ibge.com.br/servidor\\_arquivos\\_est](http://ibge.com.br/servidor_arquivos_est)>. Acesso em: 09 Dezembro 2014.
70. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**, 2011. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=320320>>. Acesso em: 28 Dezembro 2014.
71. IJSN. Instituto Jones do Santos Neves. **Atlas Histórico e Geográfico do Espírito Santo**, 2011. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/images/flippingbook/atlasdoES/introducao.pdf>>. Acesso em: 14 Janeiro 2015.
72. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Glossário**, 2000. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/glossario/glossario.html#S>>. Acesso em: 24 Maio 2015.
73. IPMA. **Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo: Cobertura Vegetal e Unidades de Conservação**. Instituto de Pesquisa da Mata Atlântica. Vitória. 2005.
74. ISEL-DEEA. Energia eólica. **Resumo de apoio a Energias Renováveis**, 30 Novembro 2007.
75. JONKMAN, J. M. **Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine**. NREL Technical Report No. Colorado, p. 233. 2007. (TP-500-41958).

76. KUHNNEN , O. L.; BAUER, U. R. **Matemática Financeira Aplicada e Análise de Investimentos**. 6°. ed. São Paulo: Atlas, 1996.
77. LINO, C. F. Revisão da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica Fase IV-2008. Parte 2: Guia Metodológico. **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA)**, 2007. Disponível em: <[http://www.rbma.org.br/rbma/rbma\\_fase\\_vi\\_05\\_guia.asp#](http://www.rbma.org.br/rbma/rbma_fase_vi_05_guia.asp#)>. Acesso em: 22 Junho 2015.
78. LOPES, J. P. **Energia Eólica e Solar - Energia Eólica - I**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP. Porto. 2010.
79. LYSEN, E. H. **Introduction to Wind Energy**. 2<sup>a</sup>. ed. Amersfoort: CWD - Countries, Consultancy Services Wind Energy Developing, 1983.
80. MANWELL, J. F.; MCCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind Energy Explained: Theory, Design and Application**. England: John Wiley & Sons Ltd, 577 p, v. first, 2002.
81. MARINHA DO BRASIL. Navegação Eletrônica em Condições Especiais. **Noções de Meteorologia para Navegantes**, 2000. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-45.pdf>>. Acesso em: 04 Maio 2015.
82. MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Carta Náuticas**, 2013. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-nauticas/cartas.html>>. Acesso em: 26 Junho 2015.
83. MARINHA DO BRASIL. Carta Náutica de Conceição da Barra a Vitória 22.800, 2015. Disponível em: <[http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster\\_disponiveis.html](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html)>. Acesso em: 17 Agosto 2015.
84. MARKARD, J.; PETERSEN, R. The offshore trend: Structural changes in the wind power sector. **Energy Policy**, v. 37, n. 9, p. 3545-3556, 2009.
85. MELO, G. M. **Um Estudo da Viabilidade de Pequenos Aerogeradores na Produção de Energia Elétrica**. Dissertação (Mestrado em Energia Eólica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Recife, p. 85. 2009.
86. MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de Educação para o Consumo Sustentável**, Brasília, p. 160, 2005. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em: 23 Outubro 2014.
87. MONTEIRO, M. M. et al. Composição e estrutura de uma restinga arbustiva aberta no norte do Espírito Santo e relações florísticas com formações

- similares no Sudeste do Brasil. **Rodriguésia - Revista do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 65. p. 61 - 72, p. <http://rodriguesia.jbrj.gov.br>, Janeiro - Março 2014.
88. MORAES, C. **Geografia do Espírito Santo**. Vitória: Fundação Cultural do Espírito Santo, 1974.
89. MOSEMAN, A. Popular Mechanics. **Can Offshore Grids Solve Our Wind Power Woes?**, 2009. Disponível em: <http://www.popularmechanics.com/science/environment/4295504>>. Acesso em: 8 Setembro 2014.
90. MUSIAL, W.; BUTTER, S.; RAM, B. **Energy from Offshore Wind**. National Renewable Energy Laboratory. Golden, p. NREL/CP-500-39450. 2006.
91. NARDOTO, E. **História de São Mateus**. 1º. ed. São Mateus: EDAL, v. único, 1999.
92. NEOENERGIA. Geração de Energia no Brasil, 2009. Disponível em: <http://www.neoenergia.com/section/geracao.asp>>. Acesso em: 03 Julho 2013.
93. NOAA. NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Standard Atmosphere**, Washington, D.C., National Oceanic and Atmospheric Administration 1962.
94. NUNES, H. M. B. **Nova Topologia de Conversor Multinível para Parques Eólicos Marinhos**. IST - Instituto Técnico Superior,. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Lisboa, p. 82. 2010.
95. OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Chair's summary of the OECD Council at Ministerial Level**, 2007. Disponível em: <http://www.oecd.org/newsroom/chairssummaryoftheoecdouncilatministeriallevelparis15-16may2007-innovationadvancingtheoecdagendaforgrowthandequity.htm>>. Acesso em: 01 Novembro 2014.
96. OLIVEIRA FILHO, O. D. Q. **Uma metodologia simplificada para estimativa do aproveitamento eólico offshore no litoral brasileiro estudo de caso: a Ilha de Itamaracá/PE**. Universidade Federal de Pernambuco - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Recife, p. 94. 2011.
97. OPENEI. **QuikSCAT**, 2005. Disponível em: [http://en.openei.org/wiki/File:QuikSCAT\\_-\\_Annual\\_Wind\\_Speed\\_at\\_10\\_m.pdf](http://en.openei.org/wiki/File:QuikSCAT_-_Annual_Wind_Speed_at_10_m.pdf)>. Acesso em: 12 Julho 2015.

98. OPENEI. **Wind Resource Information**, 2011. Disponível em: <[http://en.openei.org/wiki/SWERA\\_Wind\\_Resource\\_Information](http://en.openei.org/wiki/SWERA_Wind_Resource_Information)>. Acesso em: 12 Junho 2015.
99. ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. Potencial de Energia Eólica Offshore na Margem do Brasil. **INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Santos, Santos**, p. 4, 2011.
100. PAC. Programa de aceleração do crescimento. **Notícias**, 2015. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/48d35480>>. Acesso em: 10 Agosto 2015.
101. PATEL, L. R. **Wind and Solar Power System**. 2°. ed. New York: Taylor & Francis, 2005.
102. PEREIRA, M. G. et al. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 06, p. 3786-3802, 2012.
103. PIMENTA, F.; KEMPTON, W.; GARVINE, R. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of southeastern Brazil. **Renewable Energy**, Newark, p. 1-13, Janeiro 2008.
104. PODER NAVAL. **A nova fronteira marítima**, 2010. Disponível em: <<http://www.naval.com.br/blog/2010/09/13/a-nova-fronteira-maritima/>>. Acesso em: 29 Novembro 2014.
105. PORTOGENTE. **Alstom Constrói Maior Turbina Eólica Offshore do Mundo**, 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/alstom-maior-turbina-eolica-offshore-mundo>>. Acesso em: 08 Setembro 2014.
106. PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES. **Plano Estratégico de Linhares PEL 2005-2025**. Agenda 21. Linhares: Oficina de Letras Comunicação. 2007. p. 97.
107. REPOWER. REpower Systems Gruppe. **REpower 5M**, 2011. Disponível em: <[http://www.besco.de/5m\\_de.pdf](http://www.besco.de/5m_de.pdf)>. Acesso em: 02 Julho 2015.
108. ROHATGI, J. S.; NELSON, V. **Wind Characteristics - An Analysis for the Generation of Wind Power**. Alternative Energy Institute. West Texas A&M University. 1994.
109. ROLIM, G. D. S. et al. Classificação Climática de DE Koppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na Determinação de Zonas Agroclimáticas para o Estado de São Paulo., *Bragantia - Campinas*, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n4/22.pdf>>.

110. SANT' ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. I, n. 1, p. 43-60, Dezembro 2005.
111. SEAMA. Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Unidades de Conservação**, 2011. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=17184>>. Acesso em: 24 Maio 2015.
112. SECRETARIA DE ENERGIA. Atlas Eólico do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/399.pdf>>. Acesso em: 25 Maio 2015.
113. SEDES. Secretaria de Estado de Desenvolvimento do Espírito Santo. **Informações Gerais**, 2006. Disponível em: <[http://www.es.gov.br/site/espírito\\_santo/infos\\_gerais.aspe](http://www.es.gov.br/site/espírito_santo/infos_gerais.aspe)>. Acesso em: 09 Dezembro 2014.
114. SIEMENS. Siemens AG. **Siemens Wind Turbine SWT-3.6-107**, 2011. Disponível em: <[http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/wind%20turbines/E50001-W310-A103-V6-4A00\\_WS\\_SWT\\_3\\_6\\_107\\_US.pdf](http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/wind%20turbines/E50001-W310-A103-V6-4A00_WS_SWT_3_6_107_US.pdf)>. Acesso em: 30 Junho 2015.
115. SILVA, N. F. et al. Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2, p. 686-697, 2013.
116. SILVA, P. D. C.; GUEDES, V. G.; ARAÚJO, M. R. P. D. OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL. **XV Congresso de Engenharia Mecânica**, São Paulo, 22 a 26 Novembro 1999. 1-10.
117. SILVA, R. **Características de Vento da Região Nordeste Análise, Modelagem e Aplicações para Projetos de Centrais Eólicas**. Universidade Federal de Pernambuco - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Recife, p. 141. 2003.
118. SNYDER, B.; KAISER, M. J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. **Renewable Energy**, v. 34, n. 6, p. 1567-1578, 2009.
119. STULL, R. B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. **Atmospheric Sciences Library**, Kluwer Academic Publishers, 1991.
120. SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. L. M. Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil. **Evolução da Planície Costeira do Rio Doce durante o quaternário: influência das flutuações do nível do mar**, 1982. 93-116.

121. TAVARES, B. J. L. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. **Parques Eólicos Offshore: Estudo de soluções de interligação do tipo HVAC e HVDC**, 2010. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~ee08083/Tese\\_provisoria5.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~ee08083/Tese_provisoria5.pdf)>. Acesso em: 16 Junho 2015.
122. TESLA, N. The Problem of Increasing Human Energy. **Century Illustrated Magazine**, June 1900.
123. TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e Planejamento do Setor Energético no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 249, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142012000100017](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100017)>. Acesso em: 20 Outubro 2014.
124. TROEN, I.; MORTENSEN, N. G.; PETERSEN, E. L. **Wind Atlas Analysis and Application Program**. Risoe National Laboratory. Denmark. 1987.
125. VALENÇA, D. A. A. **Proposição de uma Metodologia para a Avaliação do Aproveitamento da Energia em Ambiente Urbano**. Dissertação (Mestrado em Energia Eólica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Recife: UFPE, p. 123. 2010.
126. VESTAS. Vestas Wind Systems A/S. **Vestas V90 3,0 MW**, 2003. Disponível em: <[http://www.vestas.com/Files/Filer/EN/Brochures/Vestas\\_V\\_90-3MW-11-2009-EN.pdf](http://www.vestas.com/Files/Filer/EN/Brochures/Vestas_V_90-3MW-11-2009-EN.pdf)>. Acesso em: 30 Junho 2015.
127. VITERBO, J. C. **Geração de Energia Elétrica a partir da Fonte Eólica Offshore**. USP - Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica). São Paulo, p. 168. 2008.
128. WEBCITE. World Map of the Köppen-Geiger climate classification. **Institute for Veterinary Public Health**, 2006. Disponível em: <<http://www.webcitation.org/62twqml5g>>. Acesso em: 04 Março 2015.
129. WIKIPÉDIA, 2015a. Disponível em: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Organizaci%C3%B3n\\_para\\_la\\_Cooperaci%C3%B3n\\_y\\_el\\_Desarrollo\\_Econ%C3%B3micos](https://es.wikipedia.org/wiki/Organizaci%C3%B3n_para_la_Cooperaci%C3%B3n_y_el_Desarrollo_Econ%C3%B3micos)>. Acesso em: 18 Julho 2015.
130. WWEA. World Wind Energy Association. **Small Wind World Reprint Summary 2012**, 2012. Disponível em: <[http://www.wwindea.org/webimages/SWWR\\_summary.pdf](http://www.wwindea.org/webimages/SWWR_summary.pdf)>. Acesso em: 20 Junho 2014.