



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ÉLETRICA**

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E DA IMPLANTAÇÃO DE
AEROGERADORES DE GRANDE PORTE EM CABO VERDE PARA DIMINUIR O
CONSUMO DE ÓLEO DIESEL NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE**

Valdemar Gomes Lopes

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco para aprovação do trabalho final do Curso de Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Scalambrine Costa

Co-Orientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo

**RECIFE
2012**

Valdemar Gomes Lopes

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E DA IMPLANTAÇÃO DE
AEROGERADORES DE GRANDE PORTE EM CABO VERDE PARA DIMINUIR O
CONSUMO DE ÓLEO DIESEL NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE**

Monografia apresentada ao Departamento
de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Pernambuco para aprovação do
trabalho final do Curso de Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Scalabrini Costa

Co-Orientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo

**RECIFE
2012**

Catálogo na fonte

L864a Lopes, Valdemar Gomes.

Análise da produção de energia elétrica e da implantação de aerogeradores de grande porte em cabo verde para diminuir o consumo de óleo diesel na geração de eletricidade / Valdemar Gomes Lopes. – 2012.
52 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Scalabrini Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Inclui Referências.

1. Engenharia elétrica. 2. Energia eólica. 3. Cabo Verde. 4. Produção de energia. I. Costa, Heitor Scalabrini (Orientador). II. Araújo, Alex Maurício (Coorientador). III. Título.

621.3 CDD (22. ed.)

UFPE

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E DA IMPLANTAÇÃO DE AEROGERADORES DE GRANDE PORTE EM CABO VERDE PARA DIMINUIR O CONSUMO DE ÓLEO DIESEL NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Valdemar Gomes Lopes

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco para aprovação do trabalho final do Curso de Graduação.

Aprovada em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. HEITOR SCALAMBRINI COSTA (UFPE)

Prof. Dr. MARCELO CABRAL CAVALCANTI (UFPE)

Prof. Dr. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO (UFPE)

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.”

Roberto Shinyashiki

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Maria Conceição e João de Deus pela brilhante educação, e princípios ensinados que fizeram de mim essa pessoa que sou hoje.

Aos meus irmãos Deusa, John e Fabrizio que nunca duvidaram da minha vitória.

Ao meu orientador Prof. Dr. Heitor Scalabrini Costa pela compreensão e orientação.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica, pelos ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Alex Maurício.

Ao Mestre engenheiro Oyama Douglas e a todos os meus colegas do laboratório.

Ao Governo de Cabo Verde pelo fiel apoio financeiro.

A toda minha família.

A todos os meus amigos que me acompanharam e me apoiaram nessa caminhada.

RESUMO

A geração da energia elétrica em Cabo Verde divide-se em três fontes distintas: a termoelétrica; a solar e a eólica. Neste trabalho é analisado o sistema elétrico em Cabo Verde, enfatizando-se a sua produção de energia. É apresentada inicialmente uma análise da evolução da produção, da potência instalada e dos investimentos realizados. Nessa análise, considera-se a dependência do país mediante a grande importação de petróleo para geração de eletricidade. Em seguida, faz-se um estudo da energia eólica: sua participação na matriz energética e a energia anual produzida. No final, são apresentados os principais pontos identificados e a avaliação do potencial eólico para reduzir a geração diesel.

Palavras-chave: energia eólica; Cabo Verde; produção de energia; geração diesel.

ABSTRACT

The generation of electricity in Cape Verde is divided into three distinct sources: the thermal, solar and wind power. This paper analyzes the electrical system in Cape Verde, emphasizing its energy production. It is initially presented an analysis of development in production, installed power and investments made. In this analysis, it is considered the country's dependence upon the great import of oil for electricity generation. Next covered wind energy: their participation in the energy matrix and annual energy produced. In the end, are shown the main points identified and the assessment of wind potential to reduce diesel generation.

Keywords: wind power; Cape Verde; energy production; diesel generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Localização de Cabo Verde (Fonte: Imagem Adaptada Google Earth®).	13
Figura 2 - Matriz elétrica de Cabo Verde no ano 2010. Fonte: adaptada de relatório (ELECTRA, 2010).	15
Figura 3 - Gráfico da Produção em Santo Antão.....	16
Figura 4 - Gráfico da Produção em São Vicente.....	17
Figura 5 - Gráfico da Produção em São Nicolau.....	17
Figura 6 - Gráfico da Produção na ilha de Sal.....	18
Figura 7- Gráfico da Produção na ilha da Boavista.....	19
Figura 8 - Gráfico da Produção na ilha de Maio.	19
Figura 9 - Gráfico da Produção na ilha de Santiago.....	20
Figura 10 - Gráfico da Produção na ilha do Fogo.	21
Figura 11 - Gráfico da Produção na ilha da Brava.	22
Figura 12 - Repartição percentual de produção de energia ano 2010.	22
Figura 13-Velocidade média anual do vento a 50 m. Fonte: adaptada de (GLOBAL OCEAN WIND MAPS, 2005).	29
Figura 14 - Fluxograma do procedimento utilizado.	30
Figura 15 - Mapa de Cabo Verde destacando as ilhas de maior potencial.....	31
Figura 16 - Produção de energia eólica – Ilha de Santiago adaptado de (ELECTRA, 2010). .	34
Figura 17 – Fotomontagem do Parque Monte São Felipe, ilha de Santiago 14°58.2N, 23°30.7O. Imagem satélite com turbinas adaptadas (GOOGLE EARTH , 2011).....	35
Figura 18 - Curva de potência para a massa específica padrão e massa específica corrigida da turbina V52 850 kW.	36
Figura 19 - Mapa 3D da ilha de São Vicente à esquerda e vista SO da ilha à direita. (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).	37
Figura 20 - Imagem Satélite do antigo parque de três turbinas. Coordenadas 16°50.670'N 25°1.691'O Fonte: (GOOGLE, 2012).....	37
Figura 21 - Gráfico da Produção de energia eólica – Ilha de São Vicente adaptado de (ELECTRA, 2010).	38
Figura 22 - Imagem satélite adaptada mostrando a localização do antigo e novo parque.	38
Figura 23 - Produção de energia eólica - Ilha do Sal, adaptado de (ELECTRA, 2010).....	40

Figura 24 – a) Ilha do Sal indicando a região de construção do novo parque. b) antigo parque com duas turbinas (Google Earth). Coordenadas 16°42.1N, 22°54.1O.....	40
Figura 25 - Vista lateral da ilha do Sal a Leste (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	41
Figura 26-Vista 3D da ilha de Boavista (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).	42
Figura 27- Vista lateral a Norte da ilha de Boavista (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	42
Figura 28 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	43
Figura 29 - Vista lateral a Leste da ilha de Maio. (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	43
Figura 30 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	44
Figura 31 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	45
Figura 32 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	46
Figura 33 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).....	47
Figura 34 - Matriz elétrica considerando os 4 novos parques em funcionamento.	48
Figura 35 - Projeção da matriz elétrica.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da produção de energia (MWh) (ELECTRA, 2010).....	15
Tabela 2-Centrais de Santo Antão. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	23
Tabela 3 - Centrais de São Vicente. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	23
Tabela 4 - Centrais de São Nicolau. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	24
Tabela 5 - Centrais da ilha de Sal. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	24
Tabela 6 - Centrais de Boavista. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).	25
Tabela 7 - Centrais da ilha de Maio. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	25
Tabela 8 - Centrais da ilha de Brava. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	25
Tabela 9 - Centrais de Santiago. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).	26
Tabela 10 - Centrais da ilha de Fogo. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).....	27
Tabela 11 - Distribuição de frequência de Weibull.....	35
Tabela 12 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Santiago.....	36
Tabela 13 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de São Vicente.	39
Tabela 14 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Sal.	41
Tabela 15 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Boavista.....	43
Tabela 16 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Maio.	44
Tabela 17 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Fogo.	45
Tabela 18 - Energia produzida para cada velocidade de vento na ilha de Brava.	46
Tabela 19 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de São Nicolau.....	47
Tabela 20 - Energia produzida nos 4 novos parques.....	48
Tabela 21 - Produção de energia eólica num cenário futuro.	49

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Dificuldades Energéticas	14
1.2 Motivação	14
1.3 Objetivos	14
2 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CABO VERDE	15
2.1 Evolução da Produção de Energia Elétrica	15
2.2 Produções por Ilha	16
2.2.1 Ilha de Santo Antão	16
2.2.2 Ilha de São Vicente	16
2.2.3 Ilha de São Nicolau	17
2.2.4 Ilha de Sal	18
2.2.5 Ilha de Boavista	18
2.2.6 Ilha de Maio	19
2.2.7 Ilha de Santiago	20
2.2.8 Ilha de Fogo	20
2.2.9 Ilha de Brava	21
2.3 Repartição percentual da produção por ilha	22
2.4 Distribuição de unidades geradoras por ilha	22
2.5 Qualidade e confiabilidade do serviço	27
3 POTENCIAL ÉOLICO EM CABO VERDE	28
3.1 Procedimento utilizado	29
3.2 Ferramentas de análise do terreno	30
3.2.1 Global Mapper®	30
3.2.2 Google Earth®	31
3.3 Energia eólica em Cabo Verde	31
3.3.1 Metodologia utilizada para estimativa da produção de energia	32
3.4 Ilha de Santiago	34
3.4.1 Estimativa da produção anual de energia	35
3.5 Ilha de São Vicente	37

3.5.1 Estimativa da produção anual de energia	39
3.6 Ilha de Sal	39
3.6.1 Estimativa da produção de energia anual	41
3.7 Ilha de Boavista	41
3.7.1 Estimativa da produção anual de energia	42
3.8 Ilha de Maio	43
3.8.1 Estimativa da produção anual de energia	44
3.9 Ilha de Fogo	44
3.9.1 Estimativa da produção anual de energia	45
3.10 Ilha de Brava	45
3.10.1 Estimativa da produção anual de energia	46
3.11 Ilha de São Nicolau	46
3.11.1 Estimativa da produção de energia anual	47
3.12 Ilha de Santo Antão	47
3.13 Nova matriz elétrica	48
3.14 Matriz elétrica de acordo com o estudo realizado	48
4 CONCLUSÃO	50
4.1 Propostas de trabalhos futuros	50
BIBLIOGRAFIA	51

1 INTRODUÇÃO

A garantia do suprimento de energia às cargas elétricas, de forma confiável e ininterrupta, é uma das principais características que um sistema elétrico de potência deve ter. Isto está relacionado com o conceito de confiabilidade dos sistemas elétricos, que também define condições para uma operação adequada, como os níveis do sinal de tensão em amplitude e frequência (CAMACHO, 2007).

Cabo Verde (Figura 1) é um arquipélago composto por dez ilhas que se agrupam em dois conjuntos de acordo com a posição das ilhas relativamente aos ventos alísios predominante de Nordeste: o grupo de Barlavento, constituído pelas ilhas da Boavista, Sal, Santa Luzia, Santo Antão, São Nicolau e São Vicente; e o do Sotavento, constituído pelas ilhas Brava, Fogo, Maio e Santiago. Localiza-se em pleno Oceano Atlântico, entre os paralelos 15 e 17 de latitude Norte a 450 km do continente Africano (GUIA TURÍSTICO DE CABO VERDE, 2005).

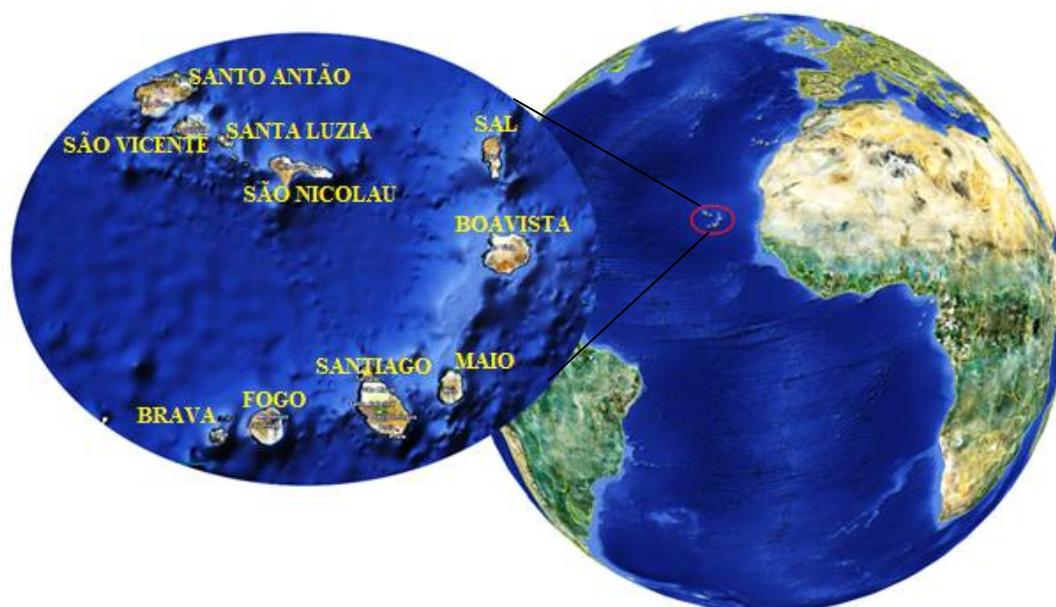


Figura 1-Localização de Cabo Verde. Fonte: Adaptada (Google Earth®).

Algumas ilhas são áridas, mas em outras a vegetação é tropical. O relevo da maior parte das ilhas é acidentado, com altitudes que ultrapassam os mil metros em algumas ilhas atingindo até 2.882 metros na ilha do Fogo. As ilhas de Sal, Boavista e Maio têm um relevo mais plano em relação às outras e um clima mais árido por estarem expostas aos ventos secos e quentes do Saara (GOVERNO DE CABO VERDE, 2012).

1.1 Dificuldades Energéticas

Estima-se que a demanda de potência instalada para a produção de eletricidade atingirá os 300 MW até 2020. O aumento do consumo de energia coloca desafios de natureza estratégica e de planejamento de infraestruturas para Cabo Verde. Estes desafios estão associados com o fato de o país não possuir combustíveis fósseis, dependendo das importações de produtos petrolíferos para suas necessidades energéticas (MINISTÉRIO DA ECONOMIA CRESCIMENTO E COMPETETIVIDADE, 2008).

1.2 Motivação

A motivação para este trabalho se deu pelo grande consumo de óleo diesel no país e o pouco aproveitamento eólico na geração elétrica. Também pelo fato da instabilidade do sistema atual no que diz respeito a fornecimento de energia à população, resultando em inúmeras interrupções por períodos prolongados.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar a produção de energia elétrica em Cabo Verde e demonstrar como a energia eólica pode auxiliar na produção de energia elétrica de Cabo Verde, reduzindo assim o consumo de diesel.

2 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CABO VERDE

A dependência de combustíveis fósseis é uma das principais razões para as dificuldades no setor elétrico do país. Em 2010, mais de 98% da eletricidade foi produzida a partir de combustíveis fósseis (Figura 2) pelo que o aumento do preço de petróleo representou um aumento significativo dos custos da concessionária Electra (Empresa de Eletricidade e Água) (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

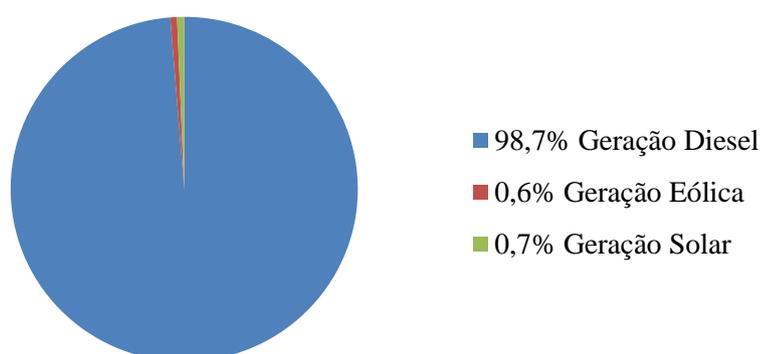


Figura 2 - Matriz elétrica de Cabo Verde no ano 2010. Fonte: adaptada de relatório (ELECTRA, 2010).

2.1 Evolução da Produção de Energia Elétrica

Conforme o relatório anual do ano 2010 da Electra, a energia elétrica entre 2006 e 2010 registrou uma taxa média de crescimento de 6%, sendo a geração a partir de combustíveis fósseis atendendo a grande parte da demanda. A energia eólica mostrou quedas significantes, juntamente com a geração a vapor que viria a ser totalmente desativada em 2009, conforme Tabela 1. O uso da energia solar começa a ser aproveitada em 2010 com uma produção superior à energia eólica (ELECTRA, 2010).

Tabela 1 - Evolução da produção de energia (MWh) (ELECTRA, 2010).

Fonte	2006	2007	2008	2009	2010
Diesel	241.709	260.465	279.645	290.273	314.315
Eólica	7.441	6.869	5.510	4.661	1.992
Vapor	1.772	1.185	640	0	0
Solar	0	0	0	0	2.105
TOTAL	250.921	268.518	285.795	294.934	318.413

2.2 Produções por Ilha

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por dez ilhas sendo nove habitadas. A geração de eletricidade é feita por sistemas isolados em cada ilha devido à descontinuidade do território tornando assim inviável a possibilidade de longas linhas de transmissão.

2.2.1 Ilha de Santo Antão

Santo Antão é uma das nove ilhas habitadas de Cabo Verde, localizada no grupo Barlavento, com aproximadamente 779 km² (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002). A sua população é de 43.915 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010).

A ilha possui duas centrais usando o diesel como combustível: uma na capital da ilha em Ribeira Grande e a outra em Porto Novo. A produção de energia elétrica tem aumentado de forma linear nessa ilha (Figura 3).

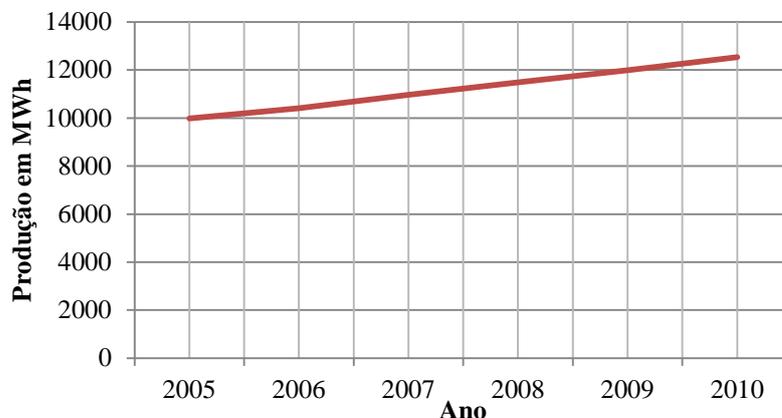


Figura 3 - Gráfico da Produção em Santo Antão.

2.2.2 Ilha de São Vicente

São Vicente é uma ilha pequena, tem 227 km² de superfície. Nela, situa-se a segunda maior cidade de Cabo Verde, Mindelo (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002). É a segunda ilha mais povoada com 76.107 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010).

A produção de energia nessa ilha tem crescido de forma exponencial ao longo dos anos (Figura 4).

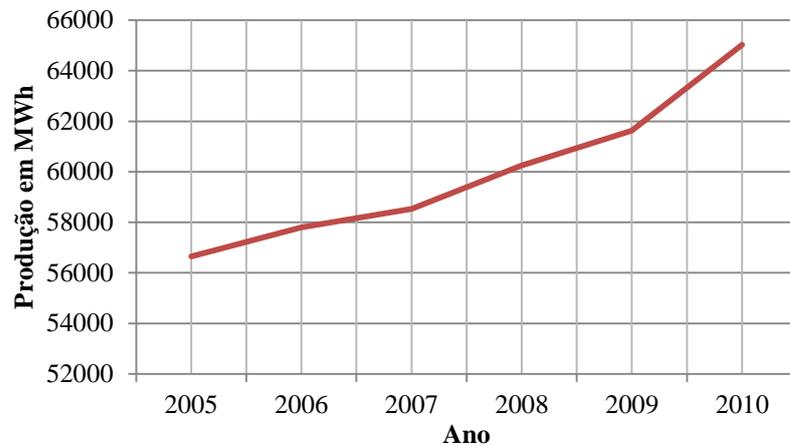


Figura 4 - Gráfico da Produção em São Vicente.

2.2.3 Ilha de São Nicolau

São Nicolau situa-se a norte do arquipélago, e tem uma superfície de 343 km² (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002).

A população da ilha é de 12.817 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010).

A ilha conta com uma unidade de produção de energia elétrica localizada na vila do Tarrafal. O consumo de energia na ilha compreende maioritariamente consumidores de baixa tensão. A produção da energia tem aumentado anualmente com poucas variações (Figura 5).

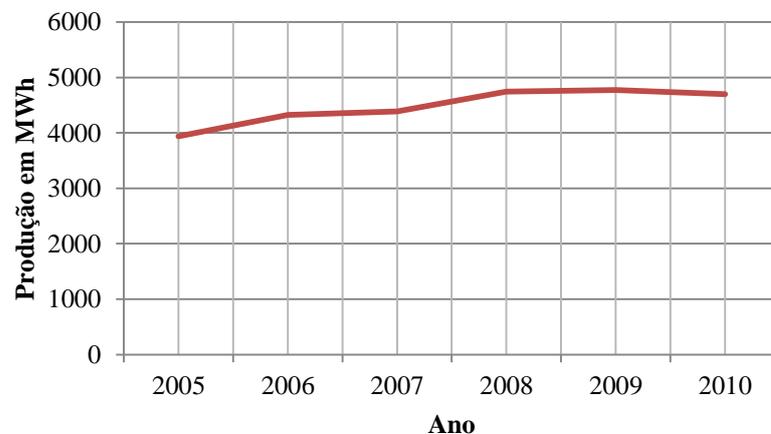


Figura 5 - Gráfico da Produção em São Nicolau.

2.2.4 Ilha de Sal

A ilha de Sal é uma das ilhas mais próximas do continente africano. É uma ilha muito árida com pouca vegetação. É plana e possui uma superfície total de 216 km² (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002). Conforme as estatísticas de 2010 a sua população está em torno de 25.657 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010).

A produção de energia elétrica é feita por duas centrais usando o diesel como combustível: uma na vila de Palmeira e outra na vila de Ponta Preta. A produção de energia teve aumento significativo de 2005 a 2007, seguido de queda de produção até 2010 (Figura 6).

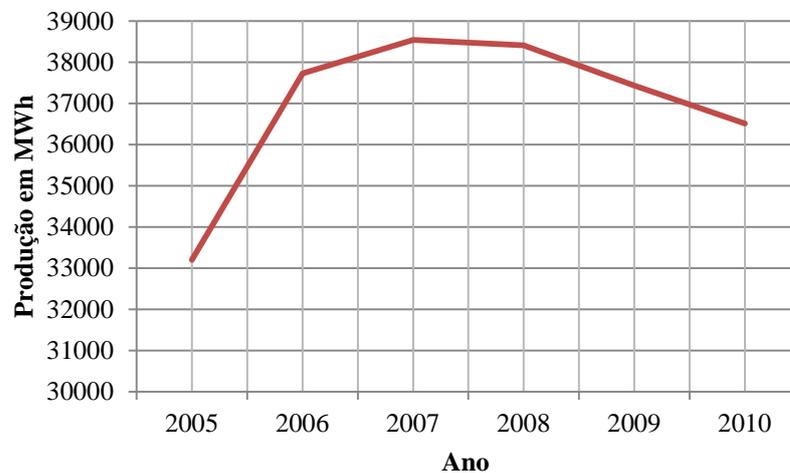


Figura 6 - Gráfico da Produção na ilha de Sal.

2.2.5 Ilha de Boavista

A ilha de Boa Vista, com uma superfície plana de 620 km², é a terceira maior ilha do arquipélago. O ponto mais alto da ilha é o Pico d'Estância com 388 metros (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002). A população da ilha é 9.162 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010).

A ilha conta com uma central de produção em Sal-Rei usando o diesel como combustível. O consumo de energia é em baixa tensão onde a maior parte dos consumidores é residencial. A produção de energia na ilha aumentou até 2009 e em 2010 sofreu uma queda (Figura 7).

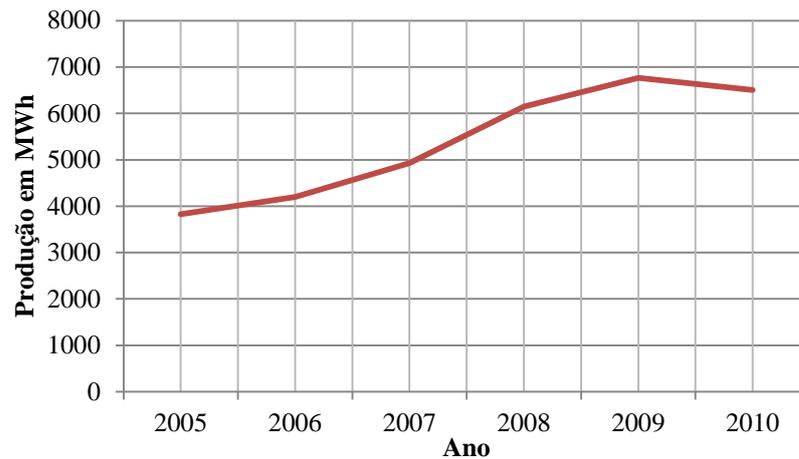


Figura 7- Gráfico da Produção na ilha da Boavista.

2.2.6 Ilha de Maio

A ilha de Maio fecha o conjunto das ilhas mais planas de Cabo Verde. A sua superfície é de 269 km² e têm 24 km de comprimento no sentido Norte/Sul e 16 km no sentido Leste/Oeste (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002). A população da ilha é de 6.952 habitantes, sendo a segunda ilha com menor população.

O consumo de energia é basicamente em baixa tensão, consumidores residenciais. O ano 2006 marca a menor produção (Figura 8).

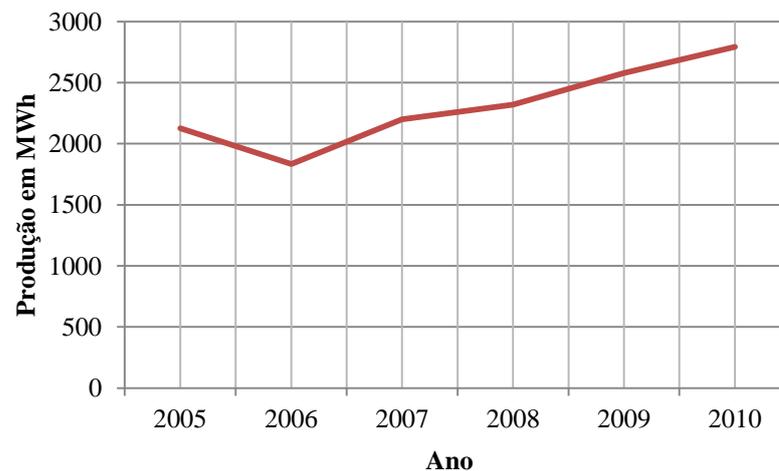


Figura 8 - Gráfico da Produção na ilha de Maio.

2.2.7 Ilha de Santiago

É a maior das ilhas, onde se localiza Praia, capital do país. A ilha apresenta vários maciços montanhosos para além do Pico de Antónia, com 1.392 m de altitude, o ponto mais elevado da ilha. São encontrados vales sinuosos e profundos e uma costa abrupta de recifes negros interrompida em alguns pontos por pequenas praias de areia que mostram o resultado de uma marcada erosão (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002).

É a ilha com a maior população (273.919 habitantes) representando cerca da metade da população do país. Possui uma área de 991 km² (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010).

A produção de energia elétrica na ilha provém de três fontes: a geração diesel; a eólica e a solar fotovoltaica. Registou um crescimento maior que as demais ilhas com produções bem expressivas (Figura 9).

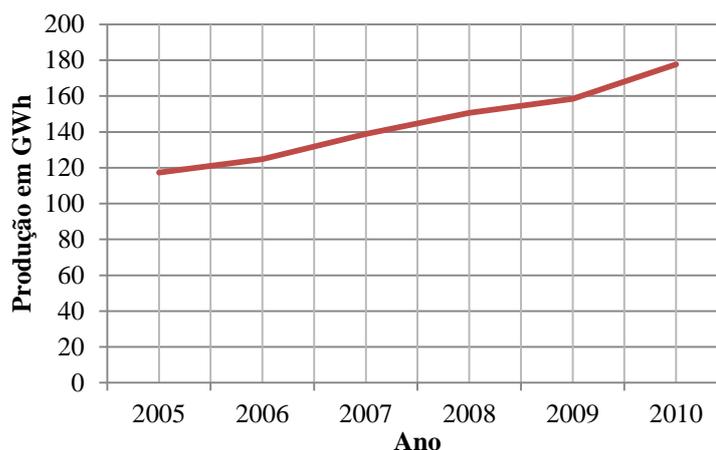


Figura 9 - Gráfico da Produção na ilha de Santiago.

2.2.8 Ilha de Fogo

A ilha tem o formato de um vulcão, que efetivamente existe e continua ativo. Tem uma superfície de 476 km² e o topo do vulcão é o ponto mais alto do arquipélago com 2.829 metros de altitude (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002).

A população da ilha é de 37.051 habitantes, sendo que 22.228 vivem na cidade de São Felipe, a capital da ilha (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE, 2010). Similarmente às demais ilhas, o consumo de energia elétrica é em baixa e média

tensão. A produção de energia na ilha tem variado de forma linear com um pico de produção em 2010 (Figura 10).

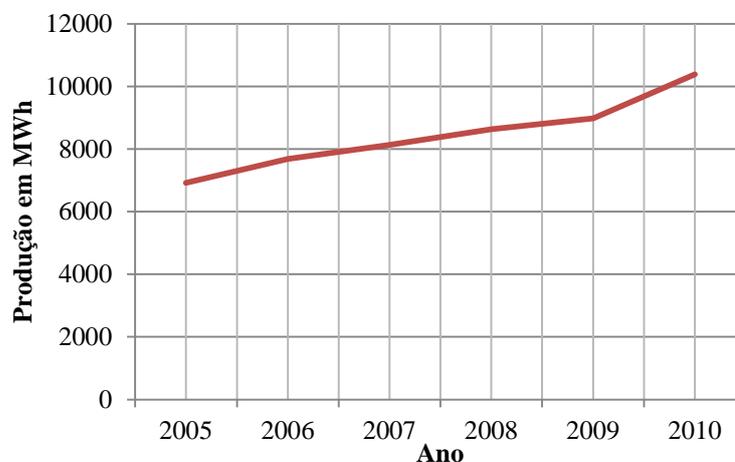


Figura 10 - Gráfico da Produção na ilha do Fogo.

2.2.9 Ilha de Brava

Brava é a menor das ilhas habitadas e tem 64 km² de superfície. É também uma das mais montanhosas, com um relevo muito acidentado, de vales profundos e abruptos. Seu ponto mais alto é o Pico de Fontainhas com 976 metros. A sua costa é muito íngreme e forma muitas baías, além de ser também uma das ilhas mais úmidas (EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2002).

A ilha tem uma central de produção térmica, sendo os consumidores maioritariamente residenciais em baixa tensão. A produção de energia tem oscilado com quedas de produção no ano 2007, porém com um aumento nos anos seguintes (Figura 11).

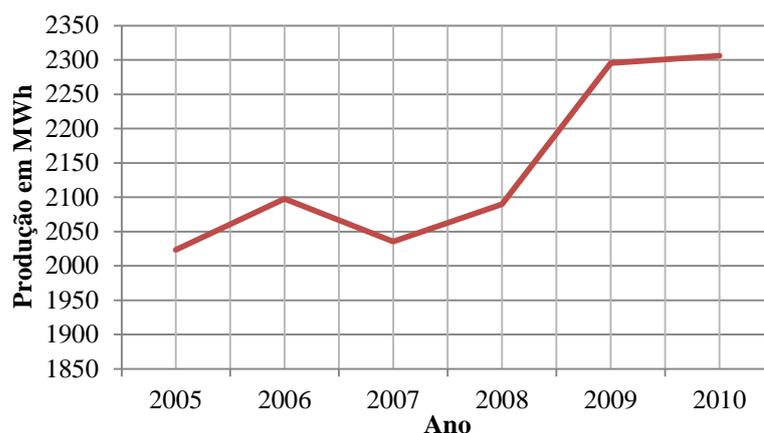


Figura 11 - Gráfico da Produção na ilha da Brava.

2.3 Repartição percentual da produção por ilha

Três ilhas mostram uma predominância de maiores produções: Santiago, São Vicente e Sal, totalizando aproximadamente 90% da produção total do país. A Figura 12 mostra essa repartição, destacando a ilha de Santiago representando mais de 50% da produção do país ao final do ano 2010.

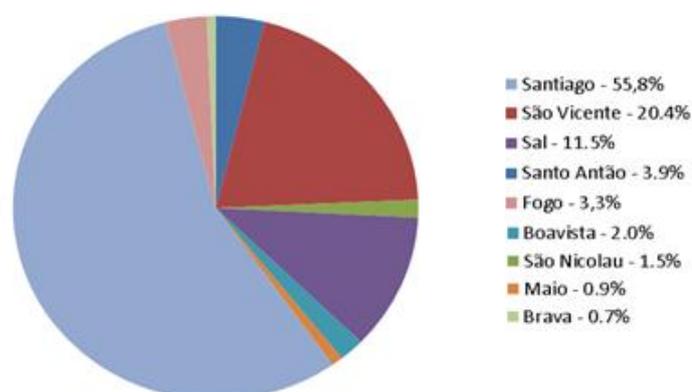


Figura 12 - Repartição percentual de produção de energia ano 2010.

2.4 Distribuição de unidades geradoras por ilha

A descontinuidade do território cria a necessidade de unidades de geração isoladas de centrais termoelétricas em cada ilha.

A ilha de Santo Antão apresenta duas centrais de produção, uma em Porto Novo com três geradores e outra central em Ribeira Grande com seis geradores conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Centrais de Santo Antão. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)	
SANTO ANTÃO	Porto Novo	CE.SA.PN.GVII	2008	Diesel	1600	
		CE.SA.PN.GVI	2010	Diesel	1200	
		CE.SA.PN.GV	2001	Diesel	810	
	Ribeira Grande	CE.SA.RG.GVI	1998	Diesel	750	
		CE.SA.RG.GVII	1996	Diesel	1000	
		CE.SA.RG.GVIII	2000	Diesel	1000	
		CE.SA.RG.GX	2006	Diesel	1360	
		CE.SA.RG.GXI	2002	Diesel	500	
		CE.SA.RG.GXII	2002	Diesel	800	
						TOTAL = 9.373

A ilha de São Vicente tem duas centrais de produção sendo uma na vila Matiota com quatro unidades geradoras e outra central em Lazareto com duas unidades geradoras totalizando uma potência total de 22.936 kVA (Tabela 3).

Tabela 3 - Centrais de São Vicente. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)
SÃO VICENTE	Matiota	CE.SV.MT.GIII	1978	Diesel	2750
		CE.SV.MT.GIV	1984	Fuel/Gás ¹	2950
		CE.SV.MT.GV	1994	Fuel/Gás	3968
		CE.SV.MT.GVI	1994	Fuel/Gás	3968
	Lazareto	CE.SV.LZ.GVII	2002	Fuel/Gás	4650
		CE.SV.LZ.GVIII	2002	Fuel/Gás	4650
					TOTAL = 22.936

¹ Fuel, uma variante dos combustíveis usados, sendo o Fuel F380 o mais econômico.

São Nicolau tem uma central em Tarrafal com cinco geradores todos usando combustível o diesel totalizando uma potência total de 3.475 kVA (Tabela 4).

Tabela 4 - Centrais de São Nicolau. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)
SÃO NICOLAU	Tarrafal	CE.SN.TR.GV	1988	Diesel	130
		CE.SN.TR.GVI	1988	Diesel	320
		CE.SN.TR.GVII	1991	Diesel	1250
		CE.SN.TR.GIV	1997	Diesel	775
		CE.SN.TR.GVII	2008	Diesel	1000

A ilha do Sal duas centrais de geração: uma em Palmeiras com seis geradores e outra em Ponta Preta com cinco (Tabela 4).

Tabela 5 - Centrais da ilha de Sal. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)	
SAL	Palmeiras	CE.SL.PL.GI	1983	Diesel	620	
		CE.SL.PL.GII	1983	Diesel	620	
		CE.SL.PL.GIII	---	Diesel	1250	
		CE.SL.PL.GVI	2001	Diesel	1140	
		CE.SL.PL.GVII	2002	Fuel/Gás	4650	
		CE.SL.PL.GVIII	2002	Fuel/Gás	4650	
	Ponta Preta	CE.SL.PP.GI	2006	Diesel	3125	
		CE.SL.PP.GII	2006	Diesel	3125	
		CE.SL.PP.GIII	2004	Fuel	750	
		CE.SL.PP.GIV	2004	Fuel	750	
		CE.SL.PP.GV	2004	Fuel	750	
					TOTAL = 21.430	

Boavista apresenta em Sal Rei a única central térmica da ilha com 5 unidades geradoras totalizando um total de 5.625 kVA (Tabela 6).

Tabela 6 - Centrais de Boavista. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)
BOA VISTA	Sal Rei	CE.BV.SR.GI	2009	Fuel	1875
		CE.BV.SR.GII	2009	Fuel	1875
		CE.BV.SR.GIII	2005	Diesel	625
		CE.BV.SR.GIV	2005	Diesel	625
		CE.BV.SR.GV	2005	Diesel	625
		TOTAL = 5.625			

A ilha de Maio é uma das ilhas com menor produção juntamente com a ilha da Brava. Maio tem uma central de produção com unidades geradoras a diesel, resultando numa potência de 1.970 kVA (Tabela 7).

Tabela 7 - Centrais da ilha de Maio. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)
MAIO	Turril	CE.MA.TR.GI	2008	Diesel	860
		CE.MA.TR.GII	2008	Diesel	860
		CE.MA.TR.GIII	2009	Diesel	250
		TOTAL = 1.970			

Brava é a menor das ilhas e representa a menor produção do país com uma potência total instalada de 1.883 kVA. Tem uma central de produção em Favatal e quatro unidades de produção todas usando o diesel como combustível (Tabela 8).

Tabela 8 - Centrais da ilha de Brava. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)
BRAVA	Favatal	CE.BRV.FV.GI	1999	Diesel	320
		CE.BRV.FV.GII	2008	Diesel	500
		CE.BRV.FV.GIII	2008	Diesel	500
		CE.BRV.FV.GIV	2011	Diesel	563
		TOTAL = 1.883			

Santiago é a maior das ilhas, e aquela que representa maior produção de energia do país. Com cinco centrais térmicas de produção num total de 52.306 kVA geradas a partir de 17 geradores (Tabela 9).

Tabela 9 - Centrais de Santiago. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)	
SANTIAGO	Praia (Gamboa)	CE.ST.PR.GIII	1991	Diesel	3166	
		CE.ST.PR.GIV	1992	Diesel	3166	
		CE.ST.PR.GIII	1987	Diesel	2950	
	Palmarejo	CE.ST.PL.GXIV	2002	Fuel/Gás	6977	
		CE.ST.PL.GXV	2002	Fuel/Gás	6977	
		CE.ST.PL.GIII	2008	Fuel/Gás	9296	
		CE.ST.PL.GIV	2008	Fuel/Gás	9296	
	Interior de Santiago	CE.ST.AS.GI	2006	Diesel	700	
		CE.ST.AS.GII	2002	Diesel	1000	
		CE.ST.AS.GIII	2009	Diesel	1600	
		CE.ST.AS.GIV	2009	Diesel	1600	
	Tarrafal	CE.ST.TR.GXI	2000	Diesel	500	
		CE.ST.TR.GVI	1998	Diesel	1000	
		CE.ST.TR.GXII	2001	Diesel	2000	
	Sta. Cruz	CE.ST.SC.GXIV	2007	Diesel	1360	
		CE.ST.SC.GXIII	2001	Diesel	2000	
CE.ST.SC.GXV		2010	Diesel	1700		
				TOTAL = 52.306		

A Ilha de Fogo tem três centrais de geração, uma em São Felipe e Mosteiros com três unidades geradoras cada e outra em João Pinto com duas unidades. A ilha toda totaliza uma potência de 5.400 kVA (Tabela 10).

Tabela 10 - Centrais da ilha de Fogo. Fonte: adaptada de (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

ILHA	CENTRAL	DESIGNAÇÃO	ANO FUNCION.	COMBUSTÍVEL	POTÊNCIA (kVA)	
FOGO	São Felipe	CE.FG.SF.GIII	1994	Diesel	500	
		CE.FG.SF.GIV	1999	Diesel	600	
		CE.FG.SF.GI	----	Diesel	700	
	Mosteiros	CE.FG.MT.GXII	2003	Diesel	250	
		CE.FG.MT.GXIII	2003	Diesel	250	
		CE.FG.MT.GV	2003	Diesel	500	
	João Pinto	CE.FG.JP.GI	1999	Diesel	1000	
		CE.FG.JP.GII	2008	Diesel	1600	
						TOTAL = 5.400

2.5 Qualidade e confiabilidade do serviço

A energia elétrica possui características que a diferenciam dos demais insumos industriais. Ela precisa ser gerada simultaneamente com o consumo, não pode ser armazenada pelos consumidores, não pode ser transportada pelos meios usuais de transporte e, mais importante, sua qualidade depende tanto das empresas de energia elétrica, que a produzem, transmitem e distribuem, como do consumidor (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012).

Conforme o relatório anual 2010 o país tem registrado várias interrupções de energia, tornando o sistema pouco confiável. Durante o ano de 2010 foram registradas 518 interrupções nas nove ilhas, com uma duração total de 3303 minutos (ELECTRA, 2010).

3 POTENCIAL ÉOLICO EM CABO VERDE

Cabo Verde está localizado a 16°0.125'N e 24°0.792'O (Google Earth®) em meio ao atlântico o que proporciona um bom potencial eólico devido aos ventos alísios e a ausência de obstáculos. Devido a sua localização, pode-se considerar o arquipélago de Cabo Verde como offshore.

O mapa eólico do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) (Figura 13) pode ser usado para determinar quais áreas terão uma investigação mais profunda para o desenvolvimento da energia eólica. Estes dados não se destinam a ser usados para decisões de implantação, especialmente os parques eólicos, mas podem ser usado para identificar as potenciais áreas de parques eólicos nas quais os dados mais detalhados de séries temporais específicas do local deverão ser obtidos. O SWERA utilizou as medições por satélite e terrestres, modelos numéricos e métodos de mapeamento empírico e analítico. Os resultados foram integrados em um sistema de informação de fácil utilização baseado em computador georreferenciado contendo dados da infraestrutura, como estradas e linhas de transmissão, e pode ser facilmente importado para pacotes de software de informação geográfica comum do sistema (SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT, 2001).

A NASA (National Aeronautics and Space Administration) tem coletado dados de escaterômetro (radar de microondas) baseado em satélites e estima dados de vento sobre os oceanos desde 1987. Para o projeto SWERA, o NREL (National Renewable Energy Laboratory) utiliza os dados do escaterômetro SeaWinds no satélite QuikSCAT (Quick Scatterometer – Escaterômetro Rápido), para criar mapas globais da velocidade de vento nos oceanos e da densidade de potência eólica. O mapa foi criado utilizando os dados coletados ao longo de cinco anos, período compreendido entre 01 de janeiro de 2000 e 31 de dezembro de 2004. A cobertura de dados QuikSCAT começou em julho de 1999 e este período de 5 anos foi escolhido para dar uma distribuição uniforme da época (GLOBAL OCEAN WIND MAPS, 2005).

Para Cabo Verde, têm-se velocidades de vento entre 8 a 9 m/s a 50 metros de altura conforme Figura 13.

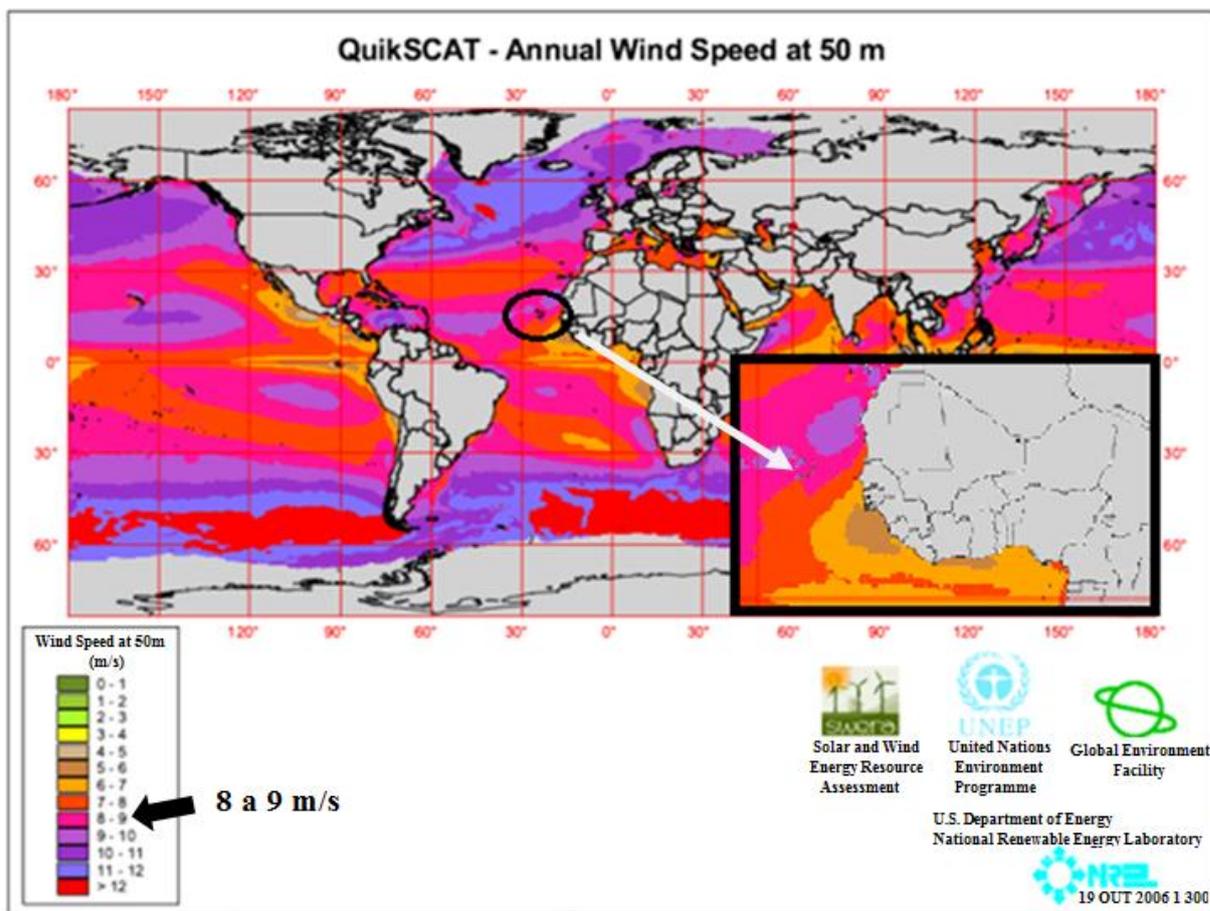


Figura 13-Velocidade média anual do vento a 50 m. Fonte: adaptada de (GLOBAL OCEAN WIND MAPS, 2005).

3.1 Procedimento utilizado

Este trabalho busca uma solução para um problema específico de modo que, em uma primeira instância, faz-se uma análise quantitativa e qualitativa da realidade já existente no sistema atual, focando os padrões de produção, da demanda, de investimentos e de qualidade de serviço.

Foram gerados gráficos para melhor interpretação da variação da produção de energia ao longo dos anos. Para a localização do terreno foi usado o software Google Earth® a partir dos dados de latitude e longitude.

Foi utilizado o software Global Mapper® para determinar a topografia da região em estudo. A Figura 14 mostra fluxograma do procedimento utilizado.

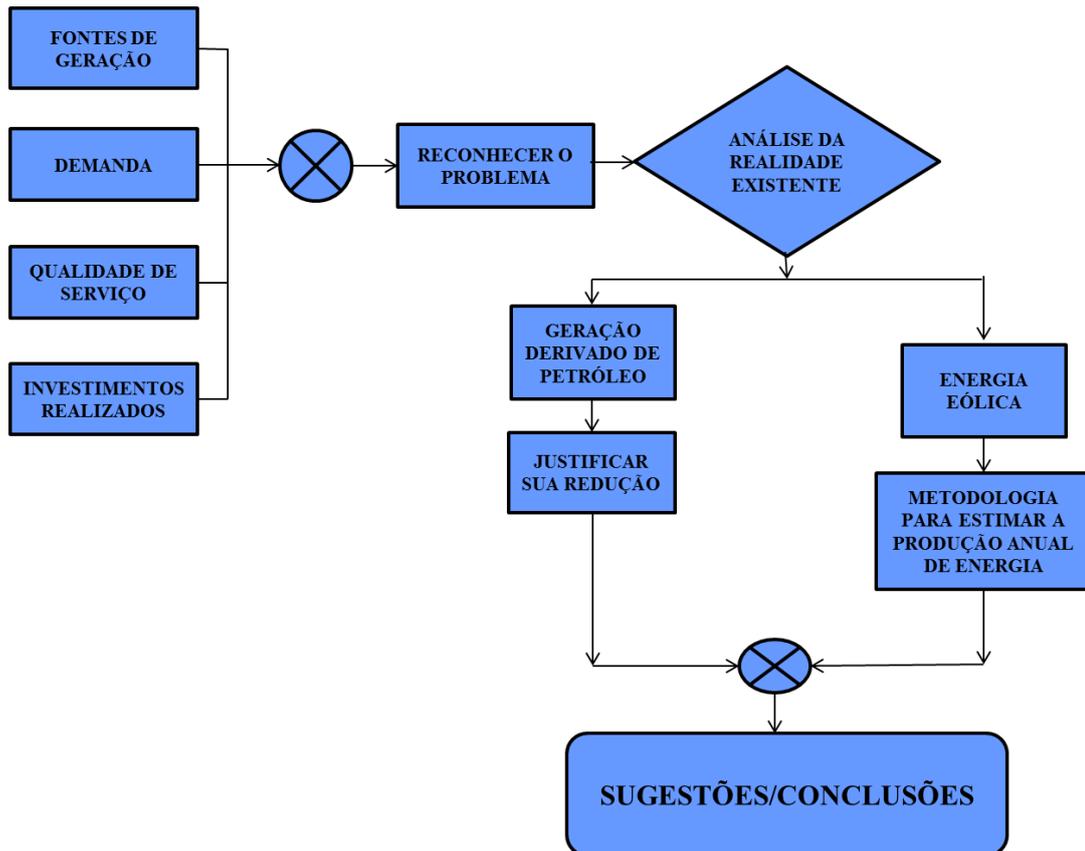


Figura 14 - Fluxograma do procedimento utilizado.

3.2 Ferramentas de análise do terreno

Para a localização do terreno em estudo foram usados os softwares Google Earth® e o Global Mapper®.

3.2.1 Global Mapper®

É um software de mapeamento topográfico para produção de dados geográficos. Nele pode-se importar mapas da superfície terrestre, assim como criar imagem em 3D. Pode-se também medir distâncias, elevações, calcular áreas (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.2.2 Google Earth®

Com o Google Earth, poderá voar para qualquer parte para ver imagens de satélite, mapas, terrenos, edifícios 3D e as profundezas do oceano. Permite cálculo de distâncias entre diversos lugares, além de muitos outros recursos (GOOGLE EARTH , 2011).

3.3 Energia eólica em Cabo Verde

Devido à localização geográfica e às condições climáticas favoráveis, Cabo Verde dispõe de ventos extremamente favoráveis, que podem ser utilizados para a produção de energia elétrica (DUARTE, 2004).

O arquipélago (Figura 15) possui quatro ilhas com bom potencial eólico: São Vicente; Sal; Boavista e Santiago onde 4 parques estão sendo construídos.

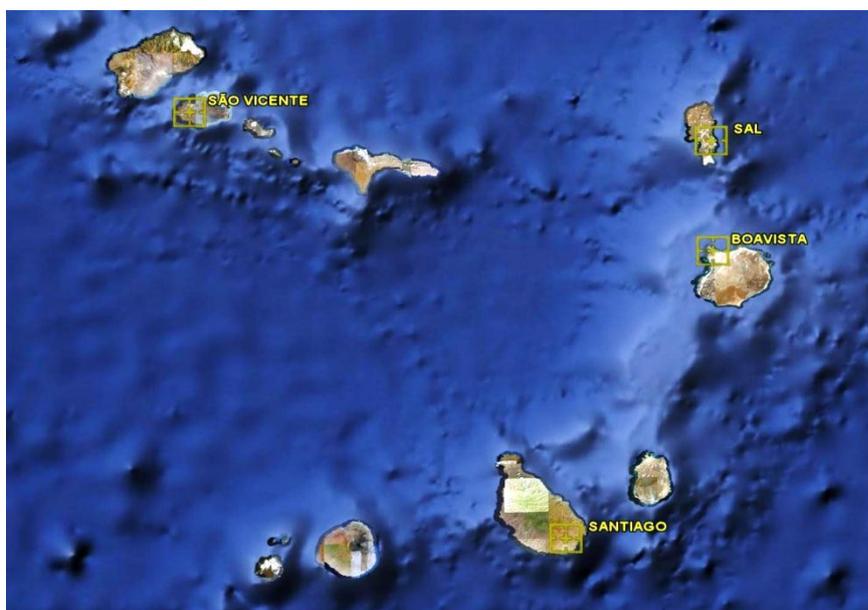


Figura 15 - Mapa de Cabo Verde destacando as ilhas de maior potencial.

Cabo Verde teve os primeiros parques eólicos instalados em 1994 em três ilhas (São Vicente, Sal e Santiago), porém a energia eólica no país representava na época uma percentagem pouco significativa na matriz energética. Esses parques produziram energia por um período de aproximadamente 15 anos com quedas de produções contínuas até sua

completa desativação no ano 2010. A instalação de novos parques com novas tecnologias se tornam promissores visando dar resposta as dificuldades energéticas enfrentadas no país.

3.3.1 Metodologia utilizada para estimativa da produção de energia

A energia anual produzida para as ilhas em estudo foi estimada usando a metodologia proposta por Oliveira Filho (2011) para estimar a produção de energia eólica offshore. A metodologia adaptada se enquadra para a localização de Cabo Verde e baseia-se nas seguintes etapas:

- 1) Determinam-se os parâmetros de Weibull k (fator de forma) e c (fator de escala). O parâmetro k (adimensional). O dado de entrada para se obter o k é a localização geográfica. O parâmetro c (em m/s) é calculado pela Equação 1 (LYSEN, 1983) em função da velocidade média anual extrapolada (\bar{V}) e do k .

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad [m/s] \quad (1)$$

O parâmetro de Weibull c pode ser calculado no Excel® utilizando para o denominador a função LN GAMMA.

- 2) Calcula-se a distribuição de frequência de Weibull $f(V)$, Equação 2 (BURTON, SHARPE, *et al.*, 2001), em função de k e c para a faixa de velocidades de 0 a 25 m/s discretizadas em 1 m/s;

$$f(V) = k \frac{V^{k-1}}{c^k} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Os cálculos para essa distribuição podem ser feitos no Excel® com o uso da função WEIBULL.

- 3) Seleciona-se o modelo de turbina;

- 4) Com as curvas de potência das máquinas corrigidas para a massa específica do local, extrai-se a potência (P em kW) para cada velocidade;
- 5) Com os valores de potência retirados das curvas de potência e da distribuição de frequência calculada, estima-se a produção de energia (PE) para cada velocidade conforme Equação 3:

$$PE = \frac{P \times f(V) \times 8760}{1000} [MWh] \quad (3)$$

onde 8760 é o número de horas do ano.

A produção anual de energia (PAE) é dada pela Equação 4:

$$PAE = \sum PE [MWh/ano] \quad (4)$$

3.4 Ilha de Santiago

A produção de energia eólica nesta ilha teve o ponto marcante em 2005 quando começa a ter uma queda contínua de produção que se prolonga até 2008, conforme o gráfico da Figura 16, até a sua completa desativação no ano 2010, devido a problemas técnicos nos aerogeradores.

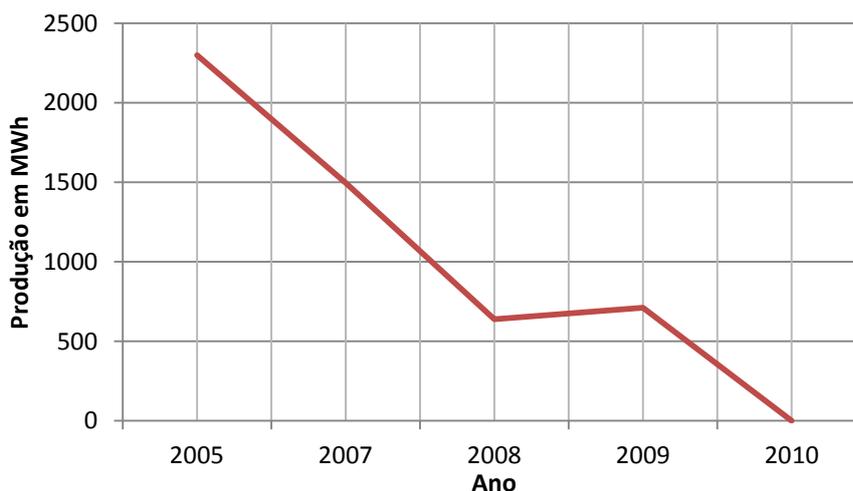


Figura 16 - Produção de energia eólica – Ilha de Santiago adaptado de (ELECTRA, 2010).

A ilha apresenta velocidades médias de vento que variam entre 6 m/s e 8 m/s, consoante a elevação do terreno, informação que está confirmada pelas medições e simulações efetuadas no Monte São Felipe. Estas medições confirmam também a orientação predominante do vento NE. Está a cerca de 1200 m de altitude as velocidades de vento mais elevadas na ilha. No entanto, as zonas cumeadas onde se registram estas velocidades de vento são escarpadas, sem amplitude para instalação de aerogeradores e de difícil acesso. Nas costas mais baixas, entre os 500 m e os 900 m de altitude, registram-se velocidades de vento na ordem dos 7 m/s, apresentando áreas disponíveis para acolher projetos eólicos de maior dimensão (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

O parque eólico em Monte de São Felipe, inaugurado em outubro 2011 (Figura 17), assume atualmente a maior potência eólica instalada no país que é de 10 MW. O parque fica situado a aproximadamente 8 km da cidade da Praia. A região tem uma elevação de mais de 200 m e uma extensão de 30 hectares, com um total de 11 turbinas de 850 kW.



Figura 17 – Fotomontagem do Parque Monte São Felipe, ilha de Santiago 14°58.2N, 23°30.7O. Imagem satélite com turbinas adaptadas (GOOGLE EARTH , 2011).

3.4.1 Estimativa da produção anual de energia

Para a região em estudo, o fator de forma de Weibull é $k = 3,4$ (DUARTE, 2004). Com isso, pode-se calcular o fator de escala c a partir da Equação 1, resultando em um valor de $c = 7,92$ m/s, assumindo velocidade média anual de 7 m/s. A distribuição da variação do vento na ilha é dado pela distribuição de frequência de Weibull para velocidades de vento de 0 a 25 m/s, em intervalos de 1 m/s (Tabela 11).

Tabela 11 - Distribuição de frequência de Weibull.

Velocidade (m/s)	$f(V)$ %	Velocidade (m/s)	$f(V)$ %
0	0,00	13	0,56
1	0,31	14	0,14
2	1,61	15	0,02
3	4,15	16	0,00
4	7,77	17	0,00
5	11,83	18	0,00
6	15,22	19	0,00
7	16,72	20	0,00
8	15,60	21	0,00
9	12,24	22	0,00
10	7,93	23	0,00
11	4,17	24	0,00
12	1,74	25	0,00

A turbina utilizada é o modelo V52 de 850 kW. A indústria eólica, para levantar sua curva de potência, utiliza a massa específica padrão ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$). A curva de potência foi corrigida para a massa específica local, cujo valor é $1,18 \text{ kg/m}^3$ (Figura 18).

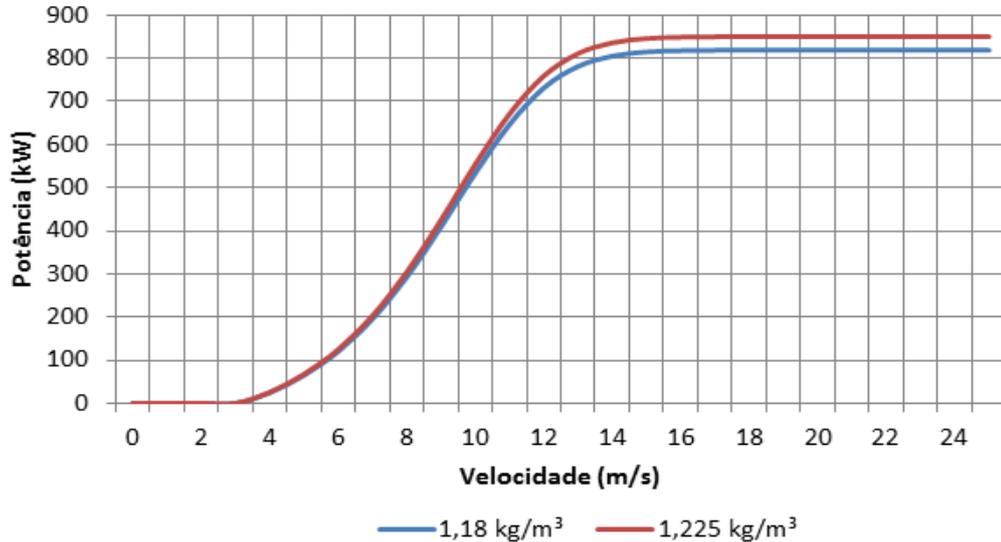


Figura 18 - Curva de potência para a massa específica padrão e massa específica corrigida da turbina V52 850 kW.

A partir dos valores de potência corrigidos (Figura 18) e da distribuição de frequência calculada (Tabela 11), pode-se estimar a energia produzida em MWh para cada velocidade de vento (Tabela 12) através da Equação 3.

Tabela 12 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Santiago.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	38,3
1	0,0	14	9,6
2	0,0	15	1,7
3	0,0	16	0,2
4	20,7	17	0,0
5	67,3	18	0,0
6	160,6	19	0,0
7	286,3	20	0,0
8	400,2	21	0,0
9	438,8	22	0,0
10	370,9	23	0,0
11	236,0	24	0,0
12	111,2	25	0,0

A energia anual produzida *PAE* é dada pelo somatório de *PE* (Equação 4), resultando em uma produção de 2.142 MWh/ano, soma da energia produzida de 0 a 25 m/s (Tabela 12). Considerando as 11 turbinas do atual parque no Monte de São Felipe, estima-se uma produção anual total de 23.562 MWh/ano, com um fator de capacidade² de 29,9%. No ano 2010 foram produzidos 176,2 GWh gerados a partir de combustíveis fósseis. Tomou-se por base as turbinas já instaladas na ilha de 850 kW, estima-se que 44 turbinas operando nas mesmas condições geraria 94,24 GWh/ano, representando mais de 50% da energia produzida a diesel na ilha. Para se reduzir a área ocupada pela instalação dessas turbinas e também a quantidade, pode-se analisar turbinas eólicas com uma potência maior como, por exemplo, uma de 2 MW.

3.5 Ilha de São Vicente

Apesar do seu terreno acidentado a ilha apresenta uma estrutura cumeada bem definida, com declives acentuados, mas não abruptos. Essas condições são favoráveis a uma aceleração do vento, aumentando consequentemente as velocidades médias.

A ilha de São Vicente (Figura 19) apresenta áreas com velocidades médias superiores a 8,5 m/s o que demonstra o elevado potencial eólico da ilha, podendo ser considerada uma das ilhas com melhor potencial eólico do país (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).



Figura 19 - Mapa 3D da ilha de São Vicente à esquerda e vista SO da ilha à direita. (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

A produção de energia eólica em São Vicente iniciou-se em 1994 com a instalação de três turbinas de 300 kW (Figura 20).



**Figura 20 - Imagem Satélite do antigo parque de três turbinas. Coordenadas 16°50.670'N 25°1.691'O
Fonte: (GOOGLE, 2012).**

²Fator de capacidade é a razão entre a energia real produzida em um ano pela energia disponível, ou seja, a energia produzida operando em sua potência nominal (OLIVEIRA FILHO, 2011).

A produção de energia a partir dessas turbinas começa a ter uma queda de rendimento a partir de 2007 devido a problemas técnicos, sendo que em 2010 a sua produção atingia valores em torno dos 1800 MWh conforme a Figura 21.

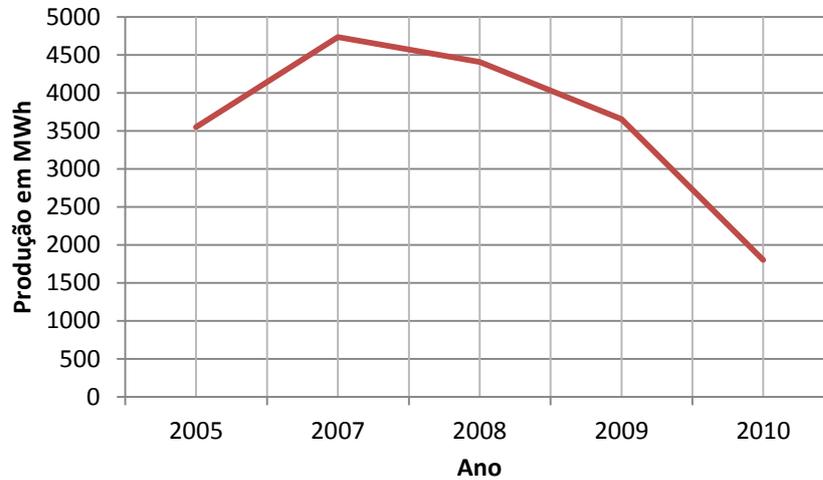


Figura 21 - Gráfico da Produção de energia eólica – Ilha de São Vicente adaptado de (ELECTRA, 2010).

Existe um projeto em fase de construção de um novo parque (Figura 22) que terá uma potência nominal de 6 MW, situado na mesma região do antigo parque ($16^{\circ}50.670'N$ $25^{\circ}1.691'O$) com um total de 7 turbinas de 850 kW.



**Figura 22 - Imagem satélite adaptada mostrando a localização do antigo e novo parque.
Fonte: (GOOGLE, 2012).**

3.5.1 Estimativa da produção anual de energia

A energia produzida na ilha para cada velocidade de vento (Tabela 13) é estimada seguindo a metodologia citada. A energia anual produzida $PAE = 3.325$ MWh/ano com um fator de capacidade de 46,3%. Estima-se que as 7 turbinas do parque irão produzir 23.275 MWh/ano.

No ano 2010 foram produzidos 63,23 GWh com fonte diesel, de modo que o novo parque representará 30,8% de energia eólica na ilha.

Tabela 13 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de São Vicente.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	290,5
1	0,0	14	157,0
2	0,0	15	70,6
3	0,0	16	26,3
4	11,0	17	8,0
5	38,6	18	0,0
6	100,7	19	0,0
7	205,3	20	0,0
8	346,4	21	0,0
9	489,6	22	0,0
10	576,5	23	0,0
11	559,2	24	0,0
12	445,0	25	0,0

3.6 Ilha de Sal

Para a ilha de Sal, o cenário da produção de energia não mudou muito com a queda de produção a partir de 2007 por avarias técnicas chegando a 2010 com produção na ordem dos 190 MWh (Figura 23).

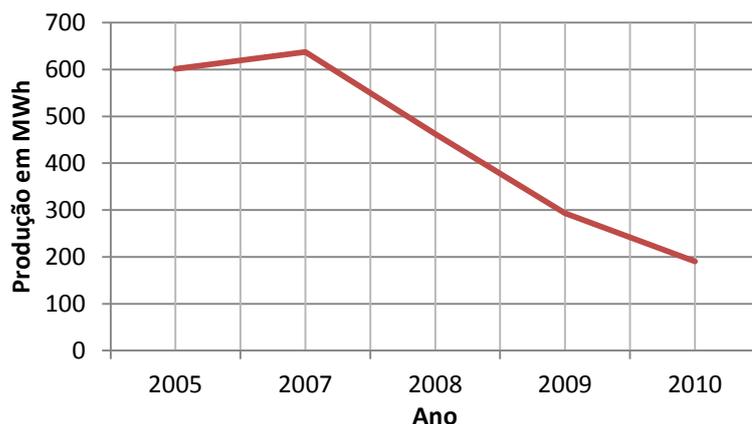


Figura 23 - Produção de energia eólica - Ilha do Sal, adaptado de (ELECTRA, 2010).

O antigo parque com duas turbinas de 300 kW (Figura 24), fica situado a uma distância de aproximadamente de 10 km da região onde está a ser construído o novo parque.

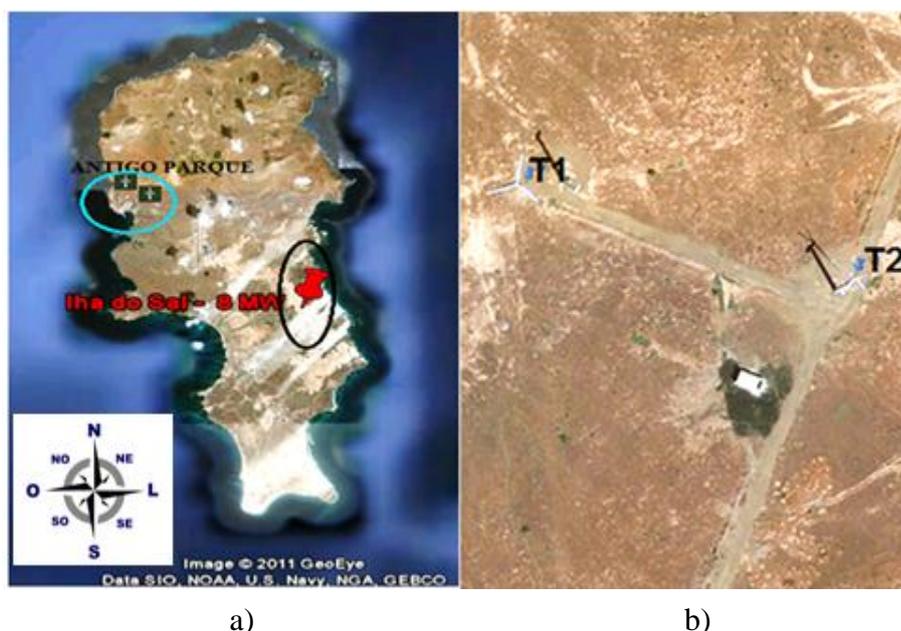


Figura 24 – a) Ilha do Sal indicando a região de construção do novo parque. b) antigo parque com duas turbinas (Google Earth). Coordenadas 16°42.1N, 22°54.1O.

Devido às características planas do terreno (Figura 25), a ilha do Sal 16°44.239'N 22°56.224'W, apresenta um potencial eólico muito homogêneo. A costa Leste da ilha apresenta o melhor potencial, atingindo os 7 m/s de velocidade de vento a alturas dos 60 m. Os outros locais da ilha apresentam velocidades médias de cerca de 6,5 m/s, isso significa que se trata de uma ilha com bom potencial eólico (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

A disposição plana da ilha diminui muito a turbulência local, concentrando ventos comportados e regulares, que são condições favoráveis a geração eólica.



Figura 25 - Vista lateral da ilha do Sal a Leste (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.6.1 Estimativa da produção de energia anual

A energia produzida na ilha para cada velocidade de vento é mostrada na Tabela 14, sendo a $PAE = 2.142$ MWh/ano com um fator de capacidade de 29,9%. Estima-se que as 9 turbinas do parque produziram 19.278 MWh/ano. No ano 2010 foram gerados 35,66 GWh a partir de combustíveis fósseis, consequentemente estima-se que o parque contribuirá com 54% de energia eólica.

Tabela 14 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Sal.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	38,3
1	0,0	14	9,6
2	0,0	15	1,7
3	0,0	16	0,2
4	20,7	17	0,0
5	67,3	18	0,0
6	160,6	19	0,0
7	286,3	20	0,0
8	400,2	21	0,0
9	438,8	22	0,0
10	370,9	23	0,0
11	236,0	24	0,0
12	111,2	25	0,0

3.7 Ilha de Boavista

A ilha de Boavista localizada a $16^{\circ}5.472'N$ $22^{\circ}50.808'O$ (Figura 26) de acordo com a análise de mesoescala existente existe um potencial eólico médio/elevado, na ordem dos 6 a 7 m/s de velocidade média anual. No entanto, esta informação poderá estar subestimada de acordo com informações recolhidas localmente, não confirmadas, mas que apontam para velocidades médias da ordem dos 9 m/s. Apesar da informação não confirmada, os trabalhos de campo realizados identificaram algumas evidências de que o vento nesta ilha poderá ser

mais elevado do que o apontado pelo estudo da mesoescala. Essas evidências centraram-se fundamentalmente em alguns fenômenos biofísicos identificados no terreno, como sendo, evidências de forte erosão eólica ao nível das formações rochosas com exposição a NE, assim como, a ausência de vegetação e/ou vegetação muito esparsa e deformada devido à ação do vento (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).



Figura 26-Vista 3D da ilha de Boavista (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

A ilha apresenta poucas ondulações (Figura 27), e tem excelente exposição aos ventos predominantes de NE. Segundo o projeto em andamento do parque eólico, a seção de instalação das turbinas em Boa Vista está localizada no 16°13.2N, 54.7W22° em uma península, na ponta noroeste da ilha. O local é cerca de cinco quilômetros ao norte da principal cidade da ilha, Sal Rei.



Figura 27- Vista lateral a Norte da ilha de Boavista (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.7.1 Estimativa da produção anual de energia

Para 6,5 m/s a energia produzida na ilha é mostrada na Tabela 15, sendo a $PAE = 1.758$ MWh/ano com um fator de capacidade de 25,8%. Estima-se que as 5 turbinas do parque produzirão anualmente 8.790 MWh. No ano 2010 foram produzidos 6,5 GWh, estima-se que o novo parque produza energia suficiente para a demanda na ilha.

Tabela 15 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Boavista.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	1,4
1	0,0	14	0,1
2	0,0	15	0,0
3	0,0	16	0,0
4	33,8	17	0,0
5	97,9	18	0,0
6	205,7	19	0,0
7	303,2	20	0,0
8	324,0	21	0,0
9	247,3	22	0,0
10	130,3	23	0,0
11	45,5	24	0,0
12	10,1	25	0,0

3.8 Ilha de Maio

A ilha do Maio localizada a $15^{\circ}13.005N$ $23^{\circ}9.602O$ (Figura 28) apresenta um terreno pouco acidentado sendo que a cota mais alta encontra-se no Monte Penoso (Figura 29). Um estudo realizado a mesoescala indica vento muito homogêneo em toda a ilha, da ordem dos 6,5 m/s. Uma vez que não existem dados de medição de vento que comprovem a análise realizada, outros indicadores como a perturbação da vegetação e entrevistas com habitantes locais, confirmam a homogeneidade em termos de vento em todo o território, assim como a orientação predominante de NE.

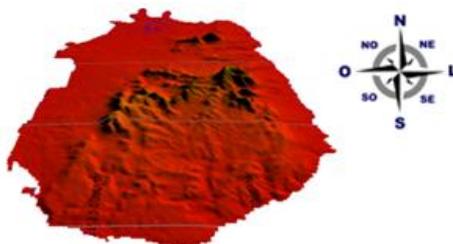


Figura 28 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).



Figura 29 - Vista lateral a Leste da ilha de Maio. (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.8.1 Estimativa da produção anual de energia

Considerando a implantação da mesma turbina utilizada nas outras ilhas, a produção de energia anual estima-se em 1.758 MWh/ano e um fator de capacidade de 24,5%. a instalação de uma turbina 850 kW na ilha produzirá mais de 60% da produção do ano 2010 com 2.794 MWh. A Tabela 16 mostra a energia produzida em MWh para cada velocidade de vento.

Tabela 16 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Maio.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	10,0
1	0,0	14	1,6
2	0,0	15	0,2
3	0,0	16	0,0
4	26,2	17	0,0
5	81,4	18	0,0
6	184,1	19	0,0
7	303,3	20	0,0
8	379,2	21	0,0
9	357,7	22	0,0
10	248,3	23	0,0
11	123,1	24	0,0
12	42,5	25	0,0

3.9 Ilha de Fogo

Localizada a 14°56.655'N, 24°22.426'O, Fogo é uma ilha vulcânica (Figura 30), e segundo estudos realizados esse formato torna potencial eólico disperso em dois quadrantes: (NO – SE) com velocidades médias de vento que atingem 7 m/s e o quadrante (NE – SO) com velocidades médias que não ultrapassem os 5 m/s (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

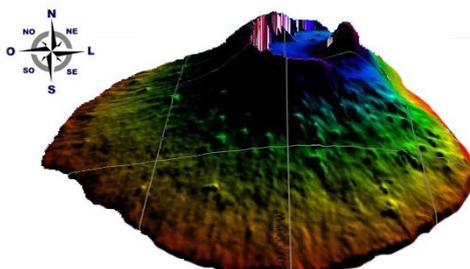


Figura 30 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012)..

3.9.1 Estimativa da produção anual de energia

A energia estimada para cada velocidade de vento é mostrada na Tabela 17, sendo a $PAE = 2.142$ MWh/ano com um fator de capacidade de 29,9%. A ilha gerou no ano 2010 10.388 MWh/ano. Assumindo a instalação de 3 turbinas na ilha teríamos uma produção de 6.426 MWh/ano, representando mais de 60% da energia eólica na ilha.

Tabela 17 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de Fogo.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	38,3
1	0,0	14	9,6
2	0,0	15	1,7
3	0,0	16	0,2
4	20,7	17	0,0
5	67,3	18	0,0
6	160,6	19	0,0
7	286,3	20	0,0
8	400,2	21	0,0
9	438,8	22	0,0
10	370,9	23	0,0
11	236,0	24	0,0
12	111,2	25	0,0

3.10 Ilha de Brava

A ilha da Brava (Figura 31) localizada a $14^{\circ}51.047'N$, $24^{\circ} 42.416'O$ apresenta velocidades médias de vento superiores a 7,5 m/s, de acordo com o estudo de mesoescala realizada. Porém o terreno muito acidentado da ilha determina um fator de incerteza muito grande (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).

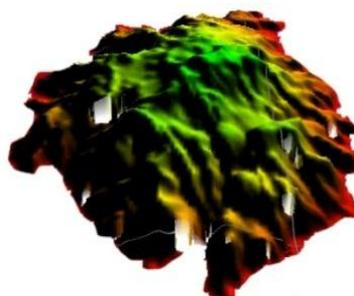


Figura 31 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.10.1 Estimativa da produção anual de energia

Nos últimos 4 anos a energia anual produzida na ilha variou de 2.000 a 2.500 MWh/ano gerados apartir dos geradores diesel. A energia produzida no ano 2010 foi de 2.306 MWh.

Estima-se que uma turbina eólica de 850 kW produza 2.539 MWh/ano com fator de capacidade 35,9% para uma velocidade média local de 7,5 m/s, o que mostra que uma turbina seria suficiente para atender a carga na ilha.

A Tabela 18 mostra a energia produzida em MWh para cada velocidade de vento.

Tabela 18 - Energia produzida para cada velocidade de vento na ilha de Brava.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	96,8
1	0,0	14	33,8
2	0,0	15	9,0
3	0,0	16	1,8
4	16,5	17	0,3
5	55,7	18	0,0
6	138,1	19	0,0
7	260,9	20	0,0
8	395,7	21	0,0
9	484,2	22	0,0
10	472,4	23	0,0
11	360,8	24	0,0
12	213,2	25	0,0

3.11 Ilha de São Nicolau

A ilha de São Nicolau (Figura 32) localizada a 16°36.106'N, 24°17.517'O possuiu um terreno muito acidentado. Apesar de não haver registros de medições de vento na ilha, estudos realizados acusam velocidades na ordem dos 8 m/s em duas regiões (GESTO ENERGY SOLUTIONS, 2011).



Figura 32 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.11.1 Estimativa da produção de energia anual

A energia produzida na ilha para cada velocidade de vento é mostrada na Tabela 19, sendo a $PAE = 2.938$ MWh/ano com um fator de capacidade de 40,9%. No ano 2010 a produção foi de 4.698 MWh/ano, de modo que a instalação de uma turbinas de 850 kW representaria 62,5% de energia eólica.

Tabela 19 - Energia Produzida para cada velocidade de vento na ilha de São Nicolau.

Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh	Velocidade [m/s]	Energia produzida MWh
0	0,0	13	184,9
1	0,0	14	82,8
2	0,0	15	29,7
3	0,0	16	8,5
4	13,4	17	1,9
5	46,2	18	0,0
6	118,1	19	0,0
7	232,9	20	0,0
8	375,2	21	0,0
9	498,4	22	0,0
10	541,0	23	0,0
11	473,4	24	0,0
12	331,3	25	0,0

3.12 Ilha de Santo Antão

Localizada a $17^{\circ}3.004'N$, $25^{\circ}10.351'O$ a ilha de Santo Antão (Figura 33) apresenta teoricamente um menor potencial eólico do arquipélago, com velocidades médias de vento inferior a 5 m/s em quase toda a extensão da ilha. A ilha apresenta um terreno muito acidentado e complexo, fatores que acarretam uma diminuição do potencial eólico da ilha.

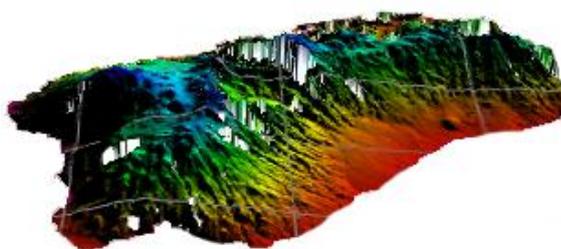


Figura 33 - Vista 3D da ilha. Imagem reproduzida (GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC, 2012).

3.13 Nova matriz elétrica

Cabo Verde produziu 314,31 GWh de energia em 2010 geradas a partir de combustíveis fósseis. Este trabalho demonstrou que os quatro parques das ilhas: Santiago; São Vicente; Sal e Boavista terão uma capacidade de produção de 74,91 GWh/ano (Tabela 20), representando uma inserção de 23,2% de energia eólica no sistema nacional (Figura 34).

Tabela 20 - Energia produzida nos 4 novos parques.

Ilha	Produção em GWh/ano
Santiago	23,56
São Vicente	23,28
Sal	19,28
Boavista	8,79
TOTAL	74,91

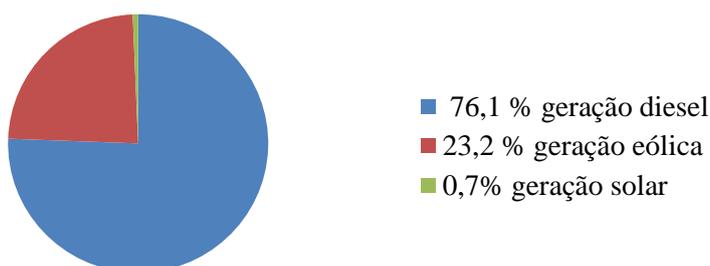


Figura 34 - Matriz elétrica considerando os 4 novos parques em funcionamento.

3.14 Matriz elétrica de acordo com o estudo realizado

Mantem-se a produção de energia solar fixa, porém já existem projetos de parques solares. Considerou-se um cenário onde se construiria parques eólicos nas diversas ilhas (Tabela 21), porém a ilha de Santo Antão não foi considerada na análise devido às baixas velocidades de vento médias anuais.

Tabela 21 - Produção de energia eólica num cenário futuro.

Ilha	Número de Turbinas	Produção eólica em GWh/ano	Energia prod. em 2010 (GWh) combustível diesel
Santiago	44	94,24	176,20
São Vicente	7	23,28	63,23
Sal	9	19,28	35,66
Boavista	5	8,79	6,50
Maio	1	1,76	2,79
Fogo	3	6,43	10,39
Brava	1	2,54	2,31
São Nicolau	1	2,94	4,70

A Figura 35 mostra uma projeção da produção de energia eólica para Cabo Verde de acordo com os dados analisados neste trabalho. Verifica-se que há possibilidade de se ter uma matriz elétrica com mais de 50% de energia renovável, o que representaria uma redução significativa de emissão de poluentes e também de custos em relação ao diesel.

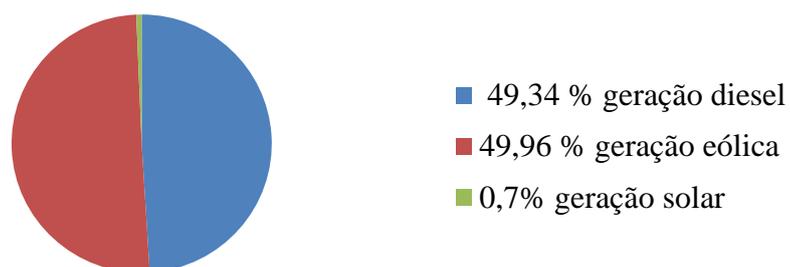


Figura 35 - Projeção da matriz elétrica.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o sistema elétrico de Cabo Verde considerando as fontes de energia existentes, baseadas em combustíveis fósseis. Procurou evidenciar como a energia eólica pode auxiliar na produção de energia elétrica para o país, reduzindo assim o consumo de diesel. Cabo Verde depende dos derivados de petróleo para geração de eletricidade, porém uma redução dessa fonte se torna necessária, mediante as dificuldades existentes atualmente no país.

A energia eólica é uma opção viável devido ao favorecimento geográfico de Cabo Verde, onde os ventos alísios sopram constantemente. Isso significa que o país pode ter um potencial a ser explorado. A energia eólica mostra-se como alternativa para a redução do consumo de diesel na geração de eletricidade, porém, a geração eólica é uma fonte complementar e não se deve considerar esta análise como meio de eliminar a geração diesel, mas sim reduzir ao máximo a sua utilização.

No estudo de caso realizado para Cabo Verde, foi feita uma análise do potencial eólico individual de cada ilha. O projeto dos 4 novos parques eólicos para Santiago, São Vicente, Sal e Boavista mostraram uma capacidade de produção de 74,91 GWh/ano, representando 23,2% de inserção de energia eólica na matriz elétrica nacional. No trabalho realizado, demonstrou-se que a capacidade de produção de energia eólica pode chegar a representar aproximadamente 50% na matriz elétrica.

A instalação de aerogeradores de maior porte em Santiago reduziria muito a quantidade instalada assim como o espaço requerido.

4.1 Propostas de trabalhos futuros

- Realizar um estudo sobre a viabilidade financeira de aerogeradores de grande porte para o arquipélago.
- Realizar um estudo da complementaridade de energia eólica/solar para reduzir ainda mais o consumo de diesel.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1621>. Acesso em: 5 Março 2012.

BURTON, T. et al. **Wind Energy Handbook**. 1ª Edição. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.

CAMACHO, C. A. P. **Utilização da Técnica de Otimização Simétrica**. itajubá: UFMG, 2007. 66 p. Dissertação de mestrado. Programa de Pos-Graduação em Engenharia Elétrica.

DUARTE, H. N. M. **Utilização da energia eólica em sistemas híbridos de geração de energia visando pequenas comunidades**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande de Sul, 2004. 70 p. Trabalho de conclusao de curso. Faculdade de engenharia elétrica.

ELECTRA. **Relatório Anual Electra**. Electra-Empresa de Electricidade e Água. Sao Vicente, p. 64. 2010.

EMBAIXADA DA REPÚBLICA DE CABO VERDE. Embaixada da República de Cabo Verde no Brasil. **EmbCV**, 2002. Disponível em: <<http://www.embcv.org.br>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2012.

GESTO ENERGY SOLUTIONS. **Plano Energético Renovável Cabo Verde**. Gesto. Lisboa, p. 1-142. 2011.

GLOBAL MAPPER SOFTWARE LCC. Global Mapper. **Overview**, 2012. Disponível em: <<http://www.globalmapper.com/product/overview.htm>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2012.

GLOBAL OCEAN WIND MAPS. **Document**. Global Environment Facility (GEF) & United Nations Environment Programme's (UNEP). Estados Unidos, p. 1-4. 2005.

GOOGLE. Google Maps. **Google Maps**, 2012. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2012.

GOOGLE EARTH. Google Earth. **Google Earth**, 2011. Disponível em: <<http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>>. Acesso em: 19 Fevereiro 2012.

GOVERNO DE CABO VERDE. Página Oficial do Governo de Cabo Verde. **Governo de Cabo Verde**, 2012. Disponível em: <<http://www.governo.cv/>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2012.

GUIA TURÍSTICO DE CABO VERDE. Guia Turístico de Cabo Verde. **DIRECTEL CABO VERDE**, 2005. Disponível em: <<http://www.guiadecaboverde.cv/>>. Acesso em: 07 Fevereiro 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE CABO VERDE. **Relatório dos resultados preliminares do RGPH 2010**. INE - Instituto nacional de estatística de Cabo Verde. Praia, p. 1-26. 2010.

LYSEN, E. H. **Introduction to Wind Energy**. 2ª Edição. ed. Amersfoort: CWD - Consultancy Services Wind Energy Developing Countries, 1983.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA CRESCIMENTO E COMPETETIVIDADE. **Política Energética de Cavo Verde**. Ministério da Economia Crescimento e Competetividade. Praia, p. 1-24. 2008.

OLIVEIRA FILHO, O. D. Q. **Uma Metodologia Simplificada para Estimativa do Aproveitamento Eólico Offshore no Litoral Brasileiro um Ustudo de caso: a Ilha de Itamaracá/PE**. Recife: UFPE, 2011. 93 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica com ênfase em Energia Eólica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT. Wind Source Information. **SWERA**, 2001. Disponível em: <<http://swera.unep.net/index.php?id=wind>>. Acesso em: 5 Março 2011.