



Vanessa Patrícia da Graça Brito

Integração de Produção Renovável nas ilhas de Cabo Verde - São Vicente

Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, realizada sob orientação do Professor Doutor Aníbal Traça Carvalho de Almeida e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Setembro de 2014



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores

Integração de Produção Renovável nas ilhas de Cabo Verde – São Vicente

Vanessa Patrícia da Graça Brito

Júri:

António José Ribeiro Ferreira (Presidente)

Aníbal Traça Carvalho de Almeida (Orientador)

Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes (Vogal)

Coimbra 2014

Dedico esta tese às pessoas mais importantes da minha vida, aos meus pais, aos meus irmãos, e ao meu namorado Stephane Cruz, pela dedicação, pelo carinho, força e incentivo.

Sem eles nada disto seria possível.

“O vento que me leva sopra no meu ouvido o caminho que devo tomar.”

Fernando Pessoa

Agradecimentos

O principal agradecimento dedico à Deus, pela minha vida e pela paz nos momentos em que me encontrei incapaz de prosseguir.

Ao meu orientador, o Professor Aníbal Traça de Almeida, agradeço por toda a dedicação, motivação e disponibilidade. Por todo o conhecimento transmitido.

Ao professor Pedro Manuel Soares Maura, por toda a disponibilidade e empenho em ajudar-me na realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Ruy Spencer Lopes dos Santos e a senhora Francisca M. Duarte Fortes, por toda a dedicação e ajuda que me deu no início deste trabalho. Agradeço por todas as informações concedidas.

Um muito obrigado a Electra- Empresa de Eletricidade e Agua SARL em Cabo Verde, em especial ao Engenheiro Hernâni Almeida e ao Senhor Adriano Almeida por toda a ajuda, disponibilidade e documentação facultada.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde, em especial a senhora Pavlina Cardoso pela documentação facultada e por toda a dedicação.

A todos os meus familiares e amigos que me apoiaram durante toda esta fase da minha vida. Pela amizade, pelo carinho e companheirismo.

A minha irmã Cátia Brito, ao meu irmão Elmer da Graça e ao meu namorado Stephane Cruz por todo o amor e compreensão, sempre pacientes e generosos em meus momentos de desânimo e falta de estímulo.

Aos meus estimados pais, Artur da Graça e Filomena da Graça, a quem devo o meu carácter e disciplina pelo trabalho, a quem devo tudo o que sou hoje. Por todo o amor, carinho e apoio que me deram durante toda a minha vida.

Resumo

Nesta dissertação pretende-se avaliar a integração de energias renováveis, na ilha de São Vicente, Cabo Verde, analisando as principais fontes renováveis disponíveis na ilha.

Inicialmente começa-se com uma pequena introdução sobre a situação energética de Cabo Verde. O capítulo seguinte é dedicado ao enquadramento do setor energético atual do país e a caracterização do clima de Cabo Verde e em particular da ilha de São Vicente.

Uma vez que Cabo Verde tem um recurso solar muito abundante e um grande potencial eólico, torna-se vantajoso fazer um máximo proveito destes recursos por forma a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e também devidas as questões ambientais. Cada vez mais há uma grande preocupação em diminuir os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis. Com o aumento do preço do petróleo, aumentando significativamente os custos de produção, surge a necessidade de reduzir a utilização de combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica e aumentar o uso de fontes renováveis. Aumentando a penetração de fontes renováveis poder-se-á reduzir as grandes dificuldades sentidas no setor elétrico, relativamente aos cortes frequentes que ocorrem em todo o país e que acresçam ainda mais os custos.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar de que forma varia o recurso eólico e solar na ilha de São Vicente ao longo de um ano, de um mês e de um dia. Conhecer a variabilidade destes dois recursos permitirá prever a melhor forma de aproveitar ao máximo estes recursos para a produção de energia elétrica.

Algumas opções para a integração em larga escala de recursos renováveis intermitentes foram analisadas nesta dissertação nomeadamente, a complementaridade entre o recurso eólico e o recurso solar, o armazenamento de energia e gerir a procura fazendo uso de fontes renováveis no processo de dessalinização. Processo utilizado na ilha de São Vicente para fornecer água potável aos habitantes.

Palavras-chave:

Cabo Verde, São Vicente, Energia solar, energia eólica, armazenamento de energia, complementaridade entre a energia solar e eólica.

Abstract

This thesis aims to assess the integration of renewable energy on the island of São Vicente, Cape Verde, making a study of the main renewables sources available on the island.

First starts with a short introduction about the energy situation in Cape Verde. The following chapter is dedicated to the framing of the current energy sector of the country and the characterization of the climate of Cape Verde and in particular the island of São Vicente.

Once Cape Verde has an abundant solar resource and a great wind potential, becomes profitable take a maximum benefit of these resources in order to reduce dependence on fossil fuels and also due to environmental issues. Increasingly there is a great concern to reduce the environmental impacts caused by the overuse of fossil fuels.

With the rising price of oil, significantly increasing production costs, arises the need to reduce the use of fossil fuels to produce electricity and increase the use of renewable sources.

Increasing the penetration of renewable sources it will be possible to reduce the major difficulties in the electricity sector, for frequent interruptions that occur throughout the country and accruing costs further.

The main aim of this work is to assess how varies the wind and solar resource on the island of São Vicente over a year, a month or a day. Knowing the variability of these two resources will provide the best way to take full advantage of these resources for the production of electricity.

Some options for large-scale integration of intermittent renewable resources were analyzed in this dissertation in particular, the complementarity between the wind resource and the solar resource, energy storage and demand management making use of renewable resources in desalination process.

Keywords

Cape Verde, São Vicente, Solar energy, wind power, energy storage, complementarity between the solar and wind energy.

Índice

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Palavras-chave:.....	ix
Abstract	x
Keywords.....	xi
Índice de Figuras.....	iv
Índice de Tabelas.....	vi
Lista de Abreviaturas.....	vii
Capítulo 1.....	1
Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Organização da Dissertação	2
Capítulo 2.....	3
Enquadramento	3
2.1 Geografia e Clima de Cabo Verde	3
<i>2.1.1 Localização geográfica da ilha de São Vicente</i>	4
<i>2.1.2 Clima de São Vicente</i>	5
2.2 Sector Energético	5
<i>2.2.1 Introdução</i>	5
<i>2.2.2 Setor Elétrico Atual</i>	6
2.3 Evolução da Procura em Cabo Verde	8
<i>2.3.1 Evolução da Procura em cada ilha</i>	13
2.4 Capacidade de Produção	14

2.5 Dessalinização com recurso às Energias Renováveis	17
Capítulo 3.....	19
Principais Recursos Renováveis de Cabo Verde.....	19
3.1 Recurso Solar	19
3.2 Recurso Eólico	20
3.3 Recurso Hídrico	21
3.4 Recurso Geotérmico	22
Capítulo 4.....	23
Análise do potencial eólico e solar da ilha de São Vicente.....	23
4.1 Introdução	23
4.2 Sistema Eléctrico Atual de São Vicente	23
4.2.1 Consumo Desagregado	26
4.3 Caracterização da Radiação Solar e Velocidade do Vento da ilha de São Vicente	27
4.3.1 Radiação Solar.....	27
4.3.2 Velocidade do Vento	29
Capítulo 5.....	31
Complementaridade entre a Energia Solar e a Energia Eólica.....	31
5.1 Dados obtidos	31
5.2 Conversão dos dados	31
5.2.1 Radiação Solar.....	31
5.2.2 Velocidade do Vento	32
5.3 Análise dos Dados	34
5.3.1 Radiação Solar.....	35
5.3.2 Velocidade do Vento	37
Capítulo 6.....	40

Armazenamento de Energia	40
6.1 Introdução	40
6.2 Tecnologias de Armazenamento	41
6.2.1 Baterias.....	42
6.2.2 Hídrica Reversível	47
6.2.3 Flywheels.....	48
6.3 Análise e Aplicação das Tecnologias	49
Capítulo 7.....	52
Conclusão e Trabalho Futuro	52
7.1 Conclusão.....	52
7.2 Trabalhos Futuros.....	55
Referencias Bibliográficas	56
Anexo 1	1
Diagrama de cargas da ilha de São Vicente.....	1
1.1 Diagrama de carga diário do mês de janeiro	1
1.2 Diagrama de carga mensal	3
Anexo 2	4
Variação diária da radiação Solar (w/m ²).....	4
Anexo 3	5
Variação diária da velocidade do vento (nós).....	5
Anexo 4	8
Tecnologias de armazenamento	8
4.1 Flywheels.....	8

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de São Vicente e sua localização no arquipélago de Cabo Verde	4
Figura 2: Potência instalada e energia gerada através das centrais elétricas a fuel, em 2009: (PERCV 2011)	8
Figura 3: Evolução histórica do consumo nas ilhas do arquipélago de Cabo Verde (Electra).....	9
Figura 4: Repartição da procura de energia elétrica por sector e por ilha em 2009[1]	10
Figura 5: Consolidação da procura por sector de acordo com o cenário intermédio [1]	10
Figura 6: Produção de Energia Elétrica registada na ilha de Santiago para a central térmica, eólica e solar (2013).	15
Figura 7: Produção de Energia Elétrica registada na ilha do Sal para a central térmica, eólica e solar (2013).	15
Figura 8: Produção de Energia Elétrica registada na ilha de São Vicente para a central térmica, eólica e solar (2013).	16
Figura 9: Mapeamento das zonas de maior nebulosidade [1]	20
Figura 10: mapeamento a meso escala do recurso eólico [1].....	21
Figura 11: potência em kW de um dia no inverno (16 de janeiro) e no verão (16 de junho) (ELECTRA).....	24
Figura 12: Diagrama de carga mensal de alguns meses registado na ilha de São Vicente em 2012 (ELECTRA)	25
Figura 13: Potências médias (kW) registadas em cada mês de 2012, em São Vicente	26
Figura 14: Consumos desagregados por sector referentes a 2013, da ilha de São Vicente (ELECTRA)	26
Figura 15: média anual da radiação solar medida em São Vicente (Mindelo).....	27
Figura 16: Máximos registados no Mindelo.....	28
Figura 17: Mínimos registados no Mindelo.....	28
Figura 18: velocidades médias em m/s registadas no Mindelo (INMG).....	29
Figura 19: Velocidades máximas registadas no Mindelo (INMG)	29
Figura 20: Velocidades máximas registadas no Mindelo (INMG)	30
Figura 21: Variação anual média do fator de carga do vento, solar e hídrico [10].....	34
Figura 22: Variação anual média dos fatores de carga do vento e do sol em 2012 (INMG).....	35
Figura 23:Variação anual média dos fatores de carga do vento e do sol em 2012 (INMG)	35
Figura 24: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da radiação solar referentes a 2012	36
Figura 25: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da radiação solar referentes a 2013	36
Figura 26: Valores horários do fator de carga da radiação solar referentes a 2012	36
Figura 27: Valores horários do fator de carga da radiação solar referentes a 2013	37
Figura 28: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da velocidade do vento referentes a 2012	38
Figura 29: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da velocidade do vento referentes a 2013	38
Figura 30: Valores horários do fator de carga da velocidade do vento de 2012	39
Figura 31: Valores horários do fator de carga da velocidade do vento de 2013.....	39
Figura 32: Fatores que influenciam a escolha do tipo de bateria	42
Figura 33: Bateria Ácida de Chumbo.....	43
Figura 34: Estrutura de uma bateria de Iões de Lítio [12].....	44

<i>Figura 35: Bateria Níquel-Cádmio</i>	<i>45</i>
<i>Figura 36: Bateria de Sódio-Enxofre</i>	<i>46</i>
<i>Figura 37: Bateria Zebra.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 38: Variação da energia consumida e energia produzida ao longo do mês de janeiro</i>	<i>54</i>
<i>Figura 39: Variação da potência gerada e potência renovável produzida ao longo do dia 15 de janeiro de 2012 ...</i>	<i>54</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Repartição da Potencia a 31-12-2012 (kW) (ELECTRA)</i>	7
<i>Tabela 2 - Evolução da Produção de Energia por tipo de fonte em Cabo Verde expressa em MWh (Electra)</i>	7
<i>Tabela 3 - Comparação da TCMA sectorial (2000-09 vs. 2009-2020)</i>	11
<i>Tabela 4 - Cenários de Produção por ilha [1]</i>	13
<i>Tabela 5 – Projeção da evolução da Ponta e Vazio por ilha [1]</i>	14
<i>Tabela 6 - Repartição da Potência instalada em cada uma das centrais localizadas em São Vicente em KW a 31-12-2012</i>	23
<i>Tabela 7- Potências máximas registadas em 2012, na lha de São Vicente (ELECTRA)</i>	25
<i>Tabela 8 - Tipos de armazenamentos de energia e respetivas tecnologias</i>	41
<i>Tabela 9 - Comparação entre as tecnologias de armazenamento[11]</i>	49

Lista de Abreviaturas

BT	Baixa Tensão
CSP	Concentrating Solar Power
EROT	Esquema Regional de Ordenamento do Território
fc	Fator de Carga
FIT	Frente Intertropical
GW	Giga Watt
h	Horas
INMG	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
IRENA	International Renewable Energy Agency
kW	Quilo Watt
m	Metros
MT	Média Tensão
MW	Mega Watt
PERCV	Plano Energético Renovável de Cabo Verde
Pi	Potência Instalada
Riso	Riso National Laboratory
s	Segundos
TCMA	Taxa de Crescimento Médio Anual

Capítulo 1

Introdução

Uma das principais dificuldades sentidas no sector elétrico de Cabo Verde é a elevada dependência face aos combustíveis fósseis. Em 2009 mais de 95% da eletricidade foi produzida a partir de combustíveis fósseis. Em 2012 esse valor diminuiu, sendo que 92,7% provem da produção de centrais térmicas, 0,8% de centrais eólicas e 6,5% de centrais solares[2].

Com o aumento do preço do petróleo verificou-se um aumento significativo nos custos da Empresa do sector, a Electra, Empresa de Eletricidade e Água em Cabo Verde.

Prevê-se que o consumo de eletricidade duplique até 2020, atingindo os 670 GWh. Com a duplicação do consumo e apenas com os projetos renováveis em curso, o consumo de combustíveis fósseis continuará a aumentar.

A maior central elétrica encontra-se localizada na capital, Cidade da Praia, com uma potência instalada de 31MW, seguido de Mindelo (18,3MW) e Sal (9MW).

1.1 Objetivos

Pretende-se com este trabalho avaliar a integração da produção de renováveis em Cabo Verde, nomeadamente, na ilha de São Vicente. Os principais objetivos deste estudo foram:

- Análise e Caracterização dos diagramas de carga da ilha de São Vicente;
- Caracterização do recurso eólico e do recurso solar da ilha de São Vicente;
- Análise da complementaridade entre o recurso eólico e o recurso solar;
- Análise das tecnologias de armazenamento de energia com aplicabilidade para a integração de fontes intermitentes;

1.2 Organização da Dissertação

Este documento é composto por 7 capítulos que abordam o trabalho realizado no âmbito desta dissertação.

No capítulo 2 é feito um enquadramento do setor elétrico atual de Cabo Verde. Faz-se uma análise da evolução da procura e da capacidade de produção do país. Ainda neste capítulo refere-se a localização geografia de Cabo Verde, a caracterização do clima da ilha de São Vicente e a indicação da sua localização em Cabo Verde. Ainda neste capítulo é feita a análise do uso de fontes renováveis na dessalinização.

No capítulo 3 foram analisadas as diferentes fontes renováveis existentes em Cabo Verde, nomeadamente, a energia eólica, solar, hídrica e geotérmica. No capítulo 4 analisou-se o recurso solar e o recurso eólico na ilha de São Vicente. Fez-se uma análise da variabilidade da radiação solar e da velocidade do vento em 2012 e 2013.

No capítulo 5 é feita a análise da complementaridade entre fontes renováveis, concretamente, entre a energia solar e a energia eólica. Tendo como base dados de 2012 e 2013.

Para analisar a sua aplicabilidade para a integração na rede de fontes renováveis intermitentes, no capítulo 6 são caracterizadas algumas tecnologias de armazenamento de energia, nomeadamente as baterias, flywheels, e a hídrica reversiva. No último capítulo é feito um resumo das conclusões tiradas no decurso deste trabalho e algumas sugestões para trabalho futuro.

Capítulo 2

Enquadramento

2.1 Geografia e Clima de Cabo Verde

A república de Cabo Verde é um arquipélago de origem vulcânica localizado a 455km da costa ocidental africana, constituído por dez ilhas e alguns ilhéus. Encontra-se dividido em dois grupos, consoante a posição face ao vento alísio do nordeste. O grupo de Barlavento que integra as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista e o grupo de Sotavento que integra as ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava.

Tem uma área total de 4.033 km² e uma população total de 542.000 habitantes, com uma taxa de crescimento médio anual da população em 2013 de cerca de 1,2% (dados do Instituto nacional de estatística de Cabo Verde).

Mais de metade da população vive na ilha de Santiago, onde se localiza a capital do país, Praia. O ponto mais alto do país está situado na ilha do Fogo, um vulcão ativo (a última erupção ocorreu em 1996), que chega a cerca de 2800 m. Santo Antão é a segunda maior ilha, é caracterizada por uma paisagem montanhosa, com os montes atingindo 1.979 m, Topo da Coroa.

Os recursos naturais de Cabo Verde são limitados e sofre de falta de chuva. A escassez de água potável leva ao uso de centrais de dessalinização, que são fortes consumidores energéticos.

Apenas quatro das dez principais ilhas (Santiago, Santo Antão, Fogo e Brava) têm um bom suporte para a prática da agricultura mas, mais de 90% de todo o alimento consumido é importado.

Os recursos minerais incluem o sal, pozolana (uma rocha vulcânica usada na produção de cimento) e o calcário.

Os melhores recursos renováveis em Cabo Verde são o recurso solar e o recurso eólico. Desde do início da década de 1980 muitas experiências têm demonstrado a viabilidade técnica e económica da implementação de tecnologias da energia eólica, em Cabo Verde. Estudos demonstram que a expansão do uso destas tecnologias é economicamente atraente para Cabo Verde. Os resíduos sólidos também podem ser uma fonte de energia competitiva em São Vicente e Santiago.

Devido à sua localização geográfica, na região árida do Sahel, o clima de Cabo Verde é tropical seco.

Existem duas estações: uma temporada longa e seca, que vai de novembro a junho e uma temporada curta de chuvas irregulares, de julho a outubro. As chuvas dependem da anual migração

da Frente Intertropical (FIT). O FIT é o resultado do encontro de duas massas de ar diferentes_ ventos do hemisfério norte e monção húmida do sul.

As temperaturas são moderadas, devido ao pequeno tamanho das ilhas e os efeitos regulatórios do oceano. A temperatura média anual é de 24 °C. As chuvas nas ilhas são irregulares e por vezes bastantes fortes. As médias mensais vão desde 27 °C nas zonas junto ao litoral, até os 18°C nas zonas de altitude, com uma amplitude térmica anual inferior a 7 °C.

A humidade do ar é sempre elevada, exceto durante alguns períodos de seca, quando o arquipélago é influenciado por ventos secos e quentes que carregam grandes quantidades de poeira, causando o que é conhecido como uma névoa seca. A insolação é também elevada na maior parte do país, fornecendo uma importante fonte potencial de energia[3].

As altitudes das montanhas provocam chuvas mais abundantes principalmente nas encostas voltadas a Nordeste, onde aparecem estados constantes e persistentes de nevoeiros e orvalhos.

2.1.1 Localização geográfica da ilha de São Vicente

São Vicente tem apenas 227 km², com um comprimento máximo de 24 km e uma largura de 16 km. Apesar de ser uma das ilhas mais pequenas do arquipélago, é a segunda mais povoada, com cerca de 67.800 habitantes (2000). A sede da ilha, Mindelo, é a segunda cidade mais populosa de Cabo Verde, com cerca de 47.000 habitantes.

A ilha de São Vicente integra o grupo Barlavento do arquipélago de Cabo Verde, no noroeste do arquipélago. Representa 5.6% do território habitado do arquipélago.

É considerada uma ilha semi-plana, com vários maciços montanhosos, atingindo a maior altitude no Monte Verde com 750 m. A nordeste e leste da ilha predomina um litoral baixo.

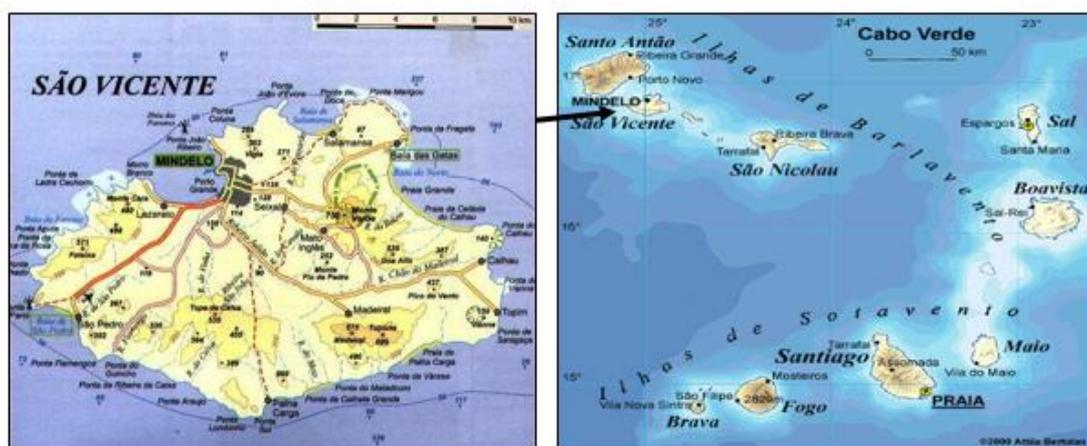


Figura 1: Mapa de São Vicente e sua localização no arquipélago de Cabo Verde

2.1.2 Clima de São Vicente

O clima é quente e regular, com uma temperatura média anual a volta de 24° C. O facto de ser uma ilha ventosa torna os períodos de grande calor mais suportáveis do que em regiões de outras ilhas. Os ventos dominantes são os de Nordeste, sobretudo nos meses de Dezembro a Março, época dos ventos secos do deserto do Sahara. A pluviosidade é baixa comparada com a das outras ilhas do grupo Barlavento [4].

É rara a ocorrência de precipitações, mesmo nos meses mais húmidos (Agosto, Setembro e Outubro). A sua orografia não permite que a ilha beneficie das chuvas orográficas que normalmente ocorrem nas ilhas vizinhas, nomeadamente São Nicolau e Santo Antão. Segundo o relatório de caracterização e diagnóstico ambiental do Esquema Regional de Ordenamento do Território da ilha de São Vicente [5], as massas de ar predominantes e que caracterizam o clima da ilha são:

- Os ventos alísios do nordeste, que são ventos frescos e secos que circulam na direção NE-SW, e que influenciam todas as ilhas do barlavento, do qual São Vicente faz parte;
- A monção do Atlântico Sul, que é um vento húmido e quente que provém do sul- sudoeste, e responsável pelas fortes chuvas que ocorrem em Cabo Verde, habitualmente entre Julho e Outubro.

2.2 Sector Energético

2.2.1 Introdução

Cabo Verde tem vindo a experienciar crises energéticas cada vez mais frequentes e gravosas. Essas crises são, o resultado dos grandes atrasos verificados no aumento de potência instalada das centrais produtoras de energia e também na não ampliação e modernização das redes de transporte em média tensão (MT) e de distribuição em baixa tensão (BT) de eletricidade nas várias vilas e cidades do país, aliados à crescente procura de eletricidade derivada do crescimento demográfico, económico e da urbanização.[6]

Cabo Verde exhibe uma escassez de recursos energéticos e é dependente da importação de combustíveis fósseis. Os preços elevados do petróleo fazem aumentar significativamente os custos, limitando a concessionária do setor, a Electra, de investir nas redes de distribuição e na

capacidade de produção de energia, originando apagões constantes nas ilhas e aumentos dos custos de operação.

Para garantir o fornecimento de água potável, Cabo Verde recorre ao uso de centrais de dessalinização, que por sua vez exige um processo energético intenso.

Torna-se então, extremamente importante para o país garantir a máxima disponibilidade de energia pois, a instabilidade no abastecimento de eletricidade tem impactos económicos no país. Diante desta situação, as autoridades cabo-verdianas tem vindo a incentivar a exploração do potencial de energias renováveis que o arquipélago apresenta, sobretudo a eólica e a solar.

Cabo Verde tem intervindo de várias formas, ratificou o Protocolo de Quioto em 10 de fevereiro de 2012, participou na Conferência Internacional para a criação da Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA) em 2008. Foi decidida a criação de um centro regional para as Energias Renováveis e Eficiência Energética a ter como sede na cidade da Praia. Esta decisão foi tomada durante a 35ª cimeira dos chefes de Estado e dos Governos de CEDEAO de 19 de dezembro de 2008.

O país inscreveu-se no programa de luta contra o aquecimento global e nas políticas de promoção de energias renováveis e eficácia energética.

2.2.2 Setor Elétrico Atual

Em 2012 a potência instalada no parque produtor da Electra totalizava no final do ano 115.011 kW repartida pelas centrais diesel 106.611 kW, centrais eólicas 900 kW e centrais solares 7500 kW (Tabela 1).

Na figura 2 pode-se verificar a grande dependência de Cabo Verde face aos combustíveis fósseis.[1]

O parque electroprodutor cabo-verdiano assenta, predominantemente, em centrais termoelétricas alimentadas por combustíveis fósseis, fuel óleo. Mas atualmente essa dependência tem vindo a diminuir face aos vários parques eólicos e solares instalados em algumas ilhas. A Tabela 2 descreve a evolução de produção de energia por cada tipo de fonte em Cabo Verde.

Registou-se uma diminuição da produção de energia diesel, cerca de 12%, um aumento na produção de energia eólica e uma diminuição na produção de energia solar.

A evolução da produção da energia elétrica ao longo dos últimos 5 anos registou uma taxa média de crescimento de 3,7% ao ano.[2] Grande parte desse crescimento deve-se ao esforço de

eletrificação que tem vindo a ser desenvolvido pelo governo. A taxa de cobertura territorial da rede elétrica atinge 95%.

Tabela 1 - Repartição da Potencia a 31-12-2012 (kW) (ELECTRA)

Ilha	Unidade de Produção	Diesel	Éolica	Solar
Santo Antão	Porto Novo	1.800		
	Ribeira Grande	3.800		
		5.600		
S.Vicente	Matiota	10.909	900	
	Lazareto	7.440		
		18.349	900	
S.Nicolau	Tarrafal	2.220		
Sal	Palmeira	11.356		2.500
Maio	Porto Inglês	1.376		
	Praia	7.426		
Santiago	Palmarejo	48.043		5.000
	Assomada (Sta Catarina)	3.850		
	Tarrafal ST	1.360		
	S.Cruz	2.176		
		62.854		5.000
Fogo Brava	S.Filipe	3.000		
	Mosteiros	800		
		3.800		
	Favetal	1.056		
	Total Electra	106.611	900	7.500

Tabela 2 - Evolução da Produção de Energia por tipo de fonte em Cabo Verde expressa em MWh (Electra)

	2008	2009	2010	2011	2012
<i>Diesel</i>	279.645	290.273	314.315	297.833	261.334
<i>Eólica</i>	5.510	4.661	1.992	15.605	61.399
<i>Vapor</i>	640	0	0	0	0
<i>Solar</i>	0	0	2.105	8.956	7.464
ELECTRA	285.795	294.934	318.413	322.394	330.197

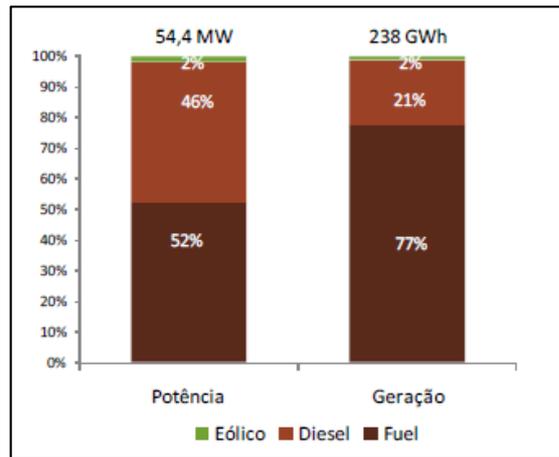


Figura 2: Potência instalada e energia gerada através das centrais elétricas a fuel, em 2009: (PERCV 2011)

Por forma a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, o governo de Cabo Verde pretende atingir 50% da taxa de penetração de Energias Renováveis na produção de eletricidade até 2020 e também ter pelo menos uma ilha com 100% de Energia Renovável.

Algumas povoações alimentadas por micro centrais têm eletricidade disponível apenas durante algumas horas do dia, de acordo com as necessidades dos habitantes.

Em 2012 registou-se um aumento de 2,4% derivado pelo crescimento da procura. Esse aumento foi suportado basicamente pela produção a Fuel Óleo 180 e produção de energia eólica.

2.3 Evolução da Procura em Cabo Verde

Entre 2000 e 2009 o consumo de energia elétrica total de Cabo Verde registou um crescimento médio superior a 8%.

Analisando a Figura 3 pode-se concluir que, o peso maior de consumo de energia elétrica são das ilhas de Santiago, São Vicente e Sal. De notar que as ilhas apresentam perfis de consumo diferentes.

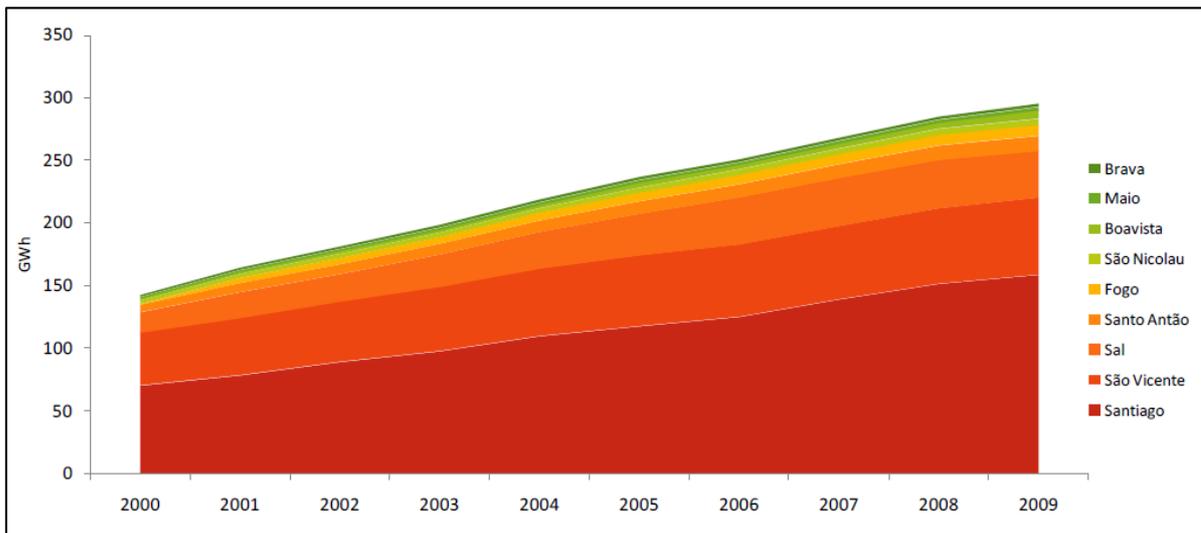


Figura 3: Evolução histórica do consumo nas ilhas do arquipélago de Cabo Verde (Electra)

As três ilhas mais desenvolvidas do Arquipélago, Santiago, Sal e São Vicente, representam quase 85% do consumo total do Arquipélago, sendo a ilha de Santiago responsável por 52% de toda a energia consumida. Estas ilhas representam um perfil de consumo muito diferenciado, com um forte peso do sector doméstico em Santiago, do sector do Comércio e da Indústria em São Vicente e do Turismo no Sal. Na ilha da Boavista o sector do turismo representa quase metade do consumo total da ilha.

O gráfico ilustrado na Figura 4 permite obter uma visão global de como se decompõem o consumo total de energia pelos vários sectores. O gráfico é bastante esclarecedor no que se refere ao peso das perdas não técnicas. Por exemplo na ilha de Santiago estas perdas representam cerca de 26%, o que em conjunto com o sector doméstico constitui mais de 50% da procura.

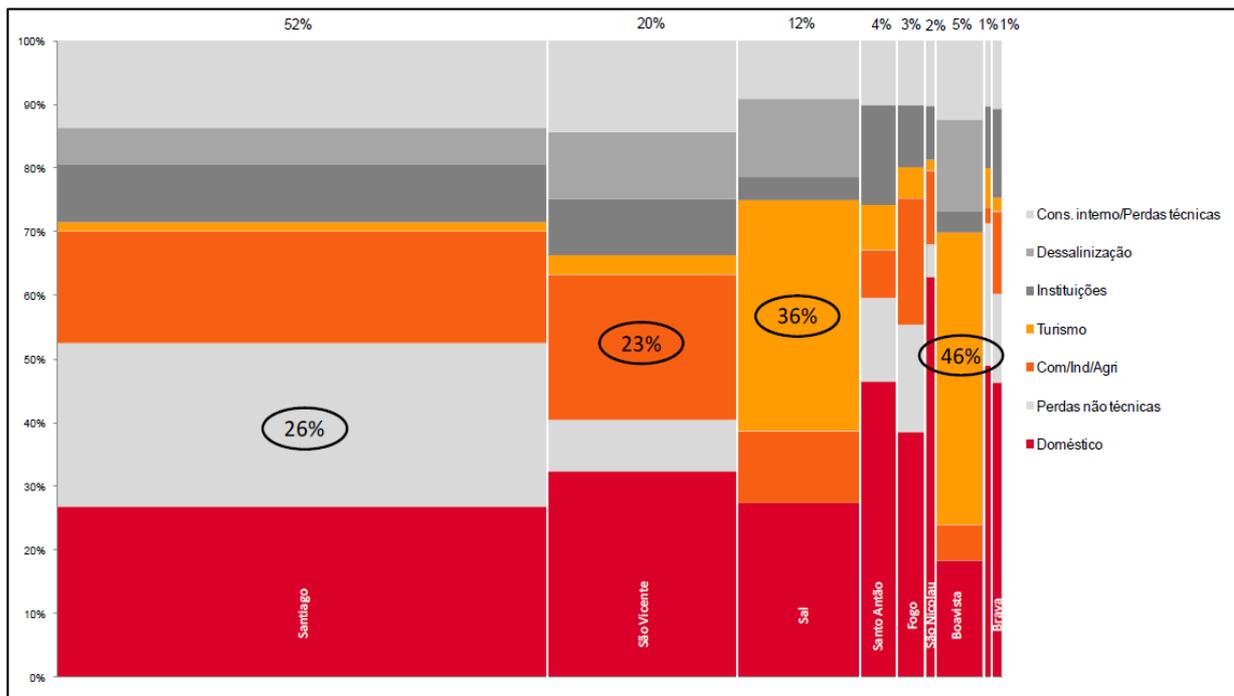


Figura 4: Repartição da procura de energia elétrica por sector e por ilha em 2009 [1]

Na Figura 5, apresenta-se a consolidação da procura de energia elétrica, por sector, de acordo com o Cenário Intermédio.

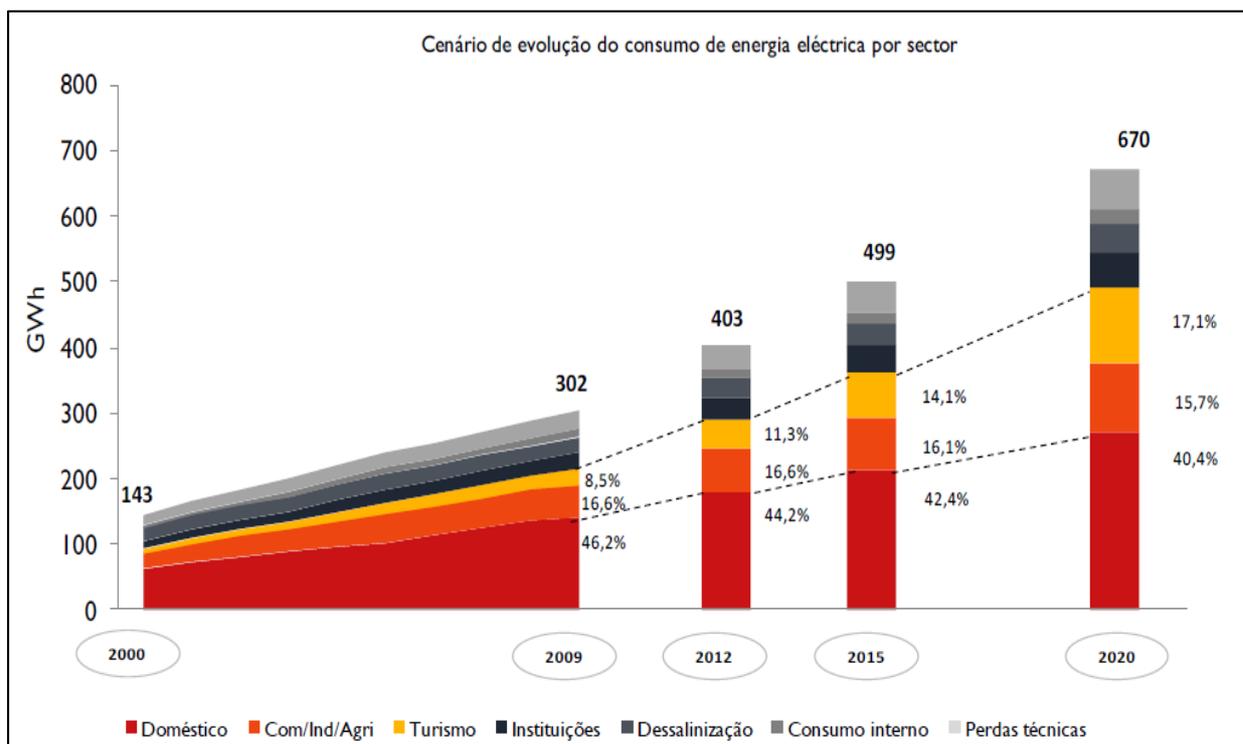


Figura 5: Consolidação da procura por sector de acordo com o cenário intermédio [1]

Partindo de 2009, o Cenário Intermédio prevê que a procura total das nove ilhas possa atingir os 403 GWh, 499 GWh e 670 GWh, em 2012, 2015 e 2020, respetivamente. O crescimento previsto entre 2009 e 2020 corresponde a uma Taxa de Crescimento Médio Anual de, aproximadamente, 7,5% face aos 8,7% registados entre 2000 e 2009.

Procedendo a uma análise sectorial, pode constatar-se que o sector doméstico apresenta uma ligeira redução no que respeita à sua representatividade face ao consumo total, passando de 46,2%, em 2009, para 40,4%, em 2020. O total dos sectores Comércio/Indústria/Agricultura e Turismo, durante o período compreendido pelos anos 2009 a 2020, regista um aumento da representatividade face ao consumo total, fruto essencialmente, do desenvolvimento económico do país.

De um modo geral, prevê-se um ligeiro abrandamento na evolução da procura, na maioria dos sectores considerados, conforme sintetiza a Tabela 3. [1]

Tabela 3 - Comparação da TCMA sectorial (2000-09 vs. 2009-2020)[1]

Sector	TCMA 2000-2009	TCMA 2009-2020
Doméstico	10%	6%
Comércio/Indústria/Agricultura	8%	7%
Turismo	17%	15%
Instituições	10%	7%
Dessalinização	0%	6%
Consumo interno	12%	6%
Perdas técnicas	8%	7%

Da análise da tabela acima destacam-se os seguintes aspetos:

- A previsão moderada para o crescimento da procura do sector doméstico pode ser justificada pelo reduzido crescimento da população com acesso a eletricidade, à medida que se atingem taxas de cobertura próximas dos 100%. Não obstante a previsão do aumento do consumo *per capita*, este não será suficiente para se atingirem níveis de crescimento semelhantes aos que foram registados no passado, devido ao incremento das taxas de

cobertura da rede. No entanto, este sector continuará a representar mais de 40% da procura total.

- Prevê-se uma atenuação do crescimento, em especial no sector turístico, sendo, contudo, expectável, que o consumo deste sector continue a registar o ritmo mais elevado, quando comparado com os restantes.
- Por último, destaque para o crescimento da procura referente à dessalinização, depois de uma quase estagnação registada entre 2000 e 2009 (atribuível ao investimento na melhoria da eficiência dos equipamentos associados ao processo de dessalinização nos últimos anos), prevê-se que as necessidades de água, de forma a responder ao desenvolvimento económico e ao aumento das taxas de cobertura da rede de abastecimento, conduzam a um aumento da produção de água sendo, por isso, de esperar que a tendência se altere, assistindo-se ao aumento significativo do consumo de eletricidade neste sector.

A evolução histórica de Cabo Verde assemelha-se à que se regista em países cujo desenvolvimento económico assenta, essencialmente, no sector terciário, ou seja, atividades com um consumo energético associado moderado. Isto significa que, por cada unidade de riqueza gerada, o incremento no consumo elétrico é reduzido.

As estimativas apresentadas neste estudo apontam para uma duplicação do consumo de energia elétrica no arquipélago de Cabo Verde para os próximos anos, sustentada por uma TCMA de 7,5% na próxima década. Antevê-se, ainda, que a ilha da Boavista ganhe uma importante posição no ranking das ilhas com maior consumo de eletricidade, fruto do desenvolvimento económico subjacente ao sector do turismo.

O cenário intermédio indicia um abrandamento do ritmo de crescimento em todos os sectores, exceto no que respeita à dessalinização de água. Destaque para o sector do turismo que, apesar do abrandamento previsto, evidencia a TCMA mais elevada dos sectores considerados. Este abrandamento do ritmo de crescimento do consumo energético fica a dever-se, essencialmente, à aproximação do final do plano de eletrificação, intrinsecamente associado ao crescimento do consumo energético no arquipélago, nos últimos anos.

O cenário agressivo apresenta um crescimento da procura de energia elétrica mais otimista face aos restantes cenários projetados, espelhando os efeitos de uma aguardada recuperação económica

e social, impulsionando o crescimento do consumo energético para níveis semelhantes aos registados no período histórico estudado (TCMA de 9,6%).

Note-se que, apesar da implementação de medidas de eficiência energética ser um fator importante no que toca ao consumo energético do país, a redução do consumo de energia proporcionada por esta via não será representativa face aos aumentos de consumo esperados para o arquipélago, podendo apenas representar um abrandamento do crescimento mas nunca a manutenção ou redução dos valores atuais

2.3.1 Evolução da Procura em cada ilha

De acordo com o PDERCV, de forma a definir diferentes comportamentos de crescimento da procura de energia elétrica para as várias ilhas foram desenvolvidos três cenários:

- Um cenário Intermédio, que pressupõe uma abordagem Business as Usual (BAU), ou seja, suportada por previsões demográficas, macroeconómicas e sectoriais, que mantêm a tendência dos últimos anos;
- Um cenário de Eficiência Energética, arquitetado com base no cenário Intermédio, que prevê a implementação de medidas de eficiência energética nos vários sectores, conduzindo a um crescimento da procura mais moderado;
- Um cenário Agressivo, no qual se considerou que a taxa de crescimento anual da procura total da ilha, registada no período 2000-2009, assim permanecerá ao longo dos seguintes anos. É, portanto, um cenário que traduz um crescimento da procura mais ambicioso.

Tabela 4 - Cenários de Produção por ilha [1]

Produção por Ilha MWh	Conservador				Intermédio			Agressivo		
	2009	2012	2015	2020	2012	2015	2020	2012	2015	2020
Santiago	158.480	199.433	228.656	272.981	208.708	247.222	313.310	208.153	273.448	431.079
São Vicente	61.635	70.670	79.462	95.611	72.199	84.044	107.659	69.781	79.004	97.164
Sal	37.429	42.896	53.119	75.405	47.150	57.489	86.321	49.500	65.462	104.306
Santo Antão	11.992	13.120	15.712	20.122	14.172	17.148	22.717	15.219	19.314	28.732
Fogo	8.983	12.019	14.091	18.050	12.754	15.125	20.197	12.100	16.299	26.779
São Nicolau	4.774	4.775	5.081	5.681	4.946	5.423	6.407	5.744	6.911	9.407
Boavista	13.916	34.878	58.438	87.440	35.818	61.861	97.560	24.084	41.680	103.974
Maio	2.579	4.590	6.883	11.427	4.750	7.311	12.768	4.463	7.724	19.269
Brava	2.296	2.581	2.755	3.067	2.685	2.947	3.445	2.727	3.240	4.318
Total	302.083	384.963	464.196	589.784	403.183	498.569	670.384	391.771	513.083	825.027

Analisando o Cenário Intermédio, para todas as ilhas, constata-se três tendências de crescimento diferentes: uma mais moderada, uma intermédia e outra mais agressiva. As ilhas de São Nicolau e Brava vêm o seu crescimento evoluir com uma Taxa de Crescimento Anual (TCMA) entre os 3% e os 4%, enquanto as ilhas da Boavista e Maio crescem a um ritmo mais agressivo, com taxas na ordem dos 19% e 16%, respetivamente, devido ao desenvolvimento económico que o sector do turismo irá sofrer. Por último, nas restantes ilhas observa-se um crescimento moderado, com taxas entre os 6% e os 7%.

As projeções para a evolução da ponta e vazio, dada a metodologia utilizada para a sua determinação, registam um crescimento médio anual idêntico à evolução da procura.

Tabela 5 – Projeção da evolução da Ponta e Vazio por ilha [1]

Ilha	2012		2015		2020	
	Ponta (kW)	Vazio (kW)	Ponta (kW)	Vazio (kW)	Ponta (kW)	Vazio (kW)
Santiago	37.697	17.100	44.901	20.268	56.948	25.687
São Vicente	12.416	5.862	14.371	6.824	18.267	8.741
Sal	7.923	3.704	9.494	4.516	13.876	6.782
Santo Antão	2.949	991	3.360	1.199	4.128	1.589
Fogo	2.713	941	3.218	1.116	4.299	1.490
São Nicolau	1.064	467	1.138	512	1.292	605
Boavista	6.703	3.243	11.495	5.601	18.063	8.834
Maio	997	382	1.507	587	2.593	1.026
Brava	701	178	786	196	948	229

2.4 Capacidade de Produção

A produção de energia elétrica em Cabo Verde é baseada em centrais térmicas que funcionam com combustíveis fósseis, fuel-nafta ou diesel.[2].

Nas ilhas de Santiago e São Vicente, de acordo com o PERCV, é possível atingir uma taxa de penetração de Energias Renováveis próxima dos 60%, com investimentos em sistemas para armazenamento de energia, numa central hidroelétrica com bombagem em Santiago e na ligação elétrica por cabo marítimo entre Santo Antão e São Vicente [1].

Na Figura 6 e na Figura 7 estão registados os valores da produção de energia elétrica, em kWh, registados em 2013, na ilha de Santiago e do Sal. Atualmente ainda não existe qualquer parque solar instalado na ilha de São Vicente.

Nota-se que o maior consumo se regista na ilha de Santiago, seguido da ilha de São Vicente.

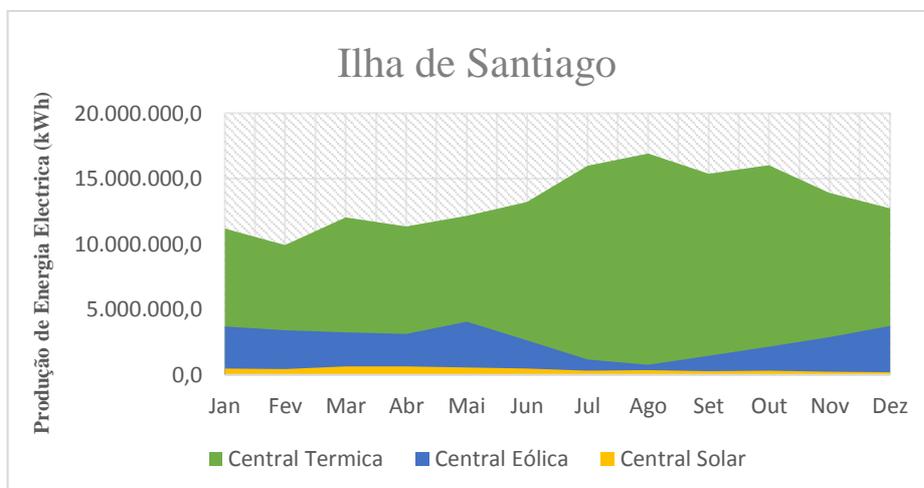


Figura 6: Produção de Energia Eléctrica registada na ilha de Santiago para a central térmica, eólica e solar (2013).

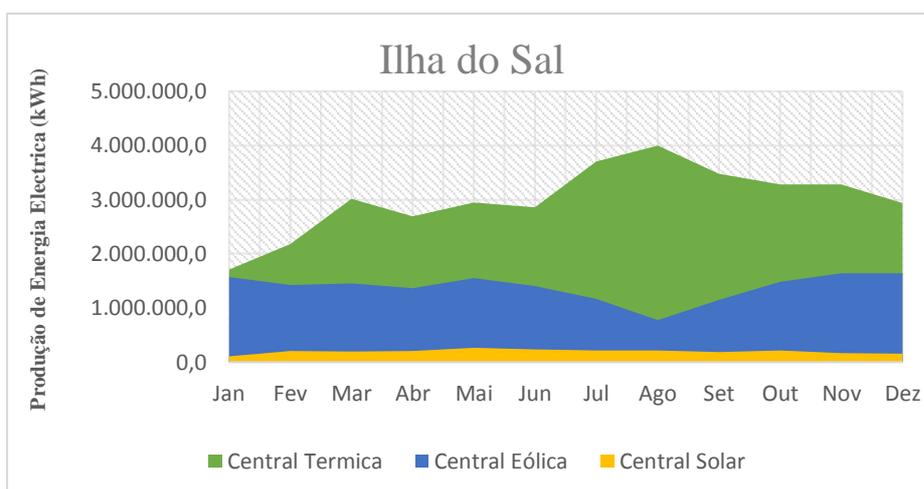


Figura 7: Produção de Energia Eléctrica registada na ilha do Sal para a central térmica, eólica e solar (2013).

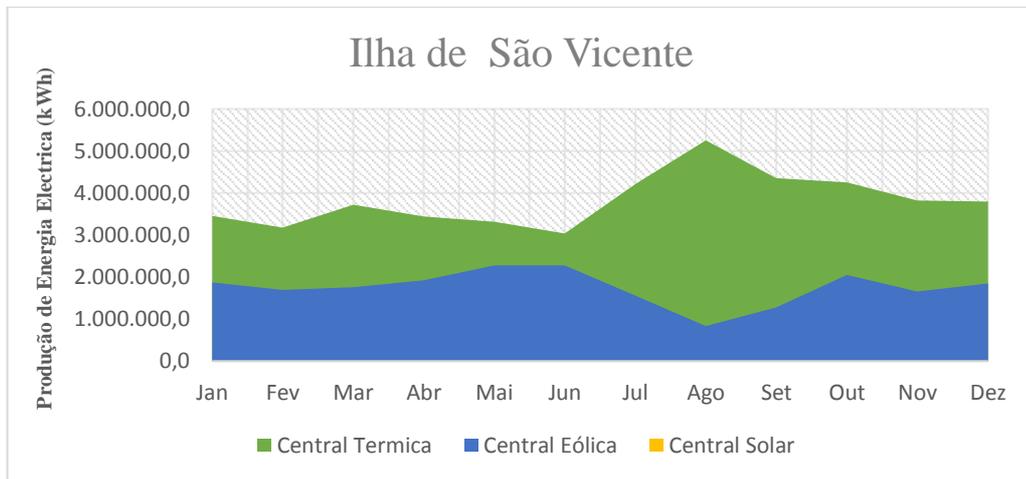


Figura 8: Produção de Energia Elétrica registada na ilha de São Vicente para a central térmica, eólica e solar (2013).

A Cabeólica, empresa produtora de energia eólica em Cabo Verde, possui quatro Parques Eólicos, nas ilhas de Boavista, Santiago, São Vicente e Sal com uma capacidade instalada de 25.5 MW, evitando a produção de cerca de 60.000 toneladas de gases de efeito de estufa por ano e deste modo contribuem para a redução das necessidades de importação de combustíveis.

2.5 Dessalinização com recurso às Energias Renováveis

Existem duas categorias de tecnologias de dessalinização. A dessalinização térmica, que utiliza o calor para vaporizar a água doce e a dessalinização por membrana de osmose inversa, que utiliza a alta pressão de eletrobombas movidos para separar a água fresca da água do mar ou água salobra, utilizando uma membrana.

Para reduzir os elevados custos de energia, qua a dessalinização acarreta, pode-se utilizar fontes de energia renovável disponíveis. É de grande interesse que ilhas como São Vicente, com poucas infraestruturas para água doce e de distribuição e transmissão de eletricidade utilize recursos renováveis neste processo. A ilha de São Vicente tem disponível predominantemente a energia eólico e a energia solar, que podem ser aproveitados na dessalinização, por forma a diminuir os custos e evitar a diminuição de produção que ocorre quando há paragens na produção de energia (situação que ocorre frequentemente em Cabo Verde).

Em Cabo Verde, nas ilhas de São Vicente e Sal, o processo utilizado para a dessalinização é por membrana de osmose inversa.

As principais opções de tecnologia de dessalinização baseadas em processos térmicos usam o calor e eletricidade, e as tecnologias de membranas utilizam apenas eletricidade. As grandes estações de dessalinização, podem chegar a uma capacidade de até 800 mil m³ por dia ou mais.

Em Cabo Verde, a Electra produziu em 2012, 4.383.690 m³ de água, sendo 4.066.854 m³ de água dessalinizada e 316.836 m³ de água de origem subterrânea [2] ou seja, têm gastos dispendiosos de energia no processo de dessalinização.

A energia renovável desempenhará um papel importante na dessalinização. As tecnologias renováveis que são adequados para a dessalinização são, a solar térmica, solar fotovoltaica, vento e energia geotérmica.

As tecnologias solares baseados na concentração de calor solar, nomeadamente a energia solar concentrada (CSP), produzem uma grande quantidade de calor, que é adequada para a dessalinização térmica[7].

A fonte renovável mais utilizada em centrais de dessalinização é a energia solar fotovoltaica, o qual é usado em cerca de 43% das aplicações existentes, seguido de energia solar térmica e do vento. A combinação certa de uma fonte de energia renovável com uma tecnologia de dessalinização pode ser a chave para combinar a potência e a procura de água, de uma forma económica, eficiente e ambientalmente amigável.

Como o armazenamento de eletricidade ainda é um desafio, combinando a geração de energia e dessalinização de água também pode ser uma opção rentável para o armazenamento de eletricidade quando a geração excede a procura. Toda a energia produzida em excesso poderá ser utilizada na dessalinização, é mais fácil armazenar a água dessalinizada, evitando falhas no fornecimento de água potável aos habitantes, quando o consumo aumenta.

Capítulo 3

Principais Recursos Renováveis de Cabo Verde

Para a realização de estudos para a integração das energias renováveis torna-se necessário conhecer e caracterizar os diferentes recursos renováveis disponíveis no local em estudo. Neste capítulo serão abordados alguns dos recursos renováveis existentes em Cabo Verde e será feita a caracterização para cada um dos recursos.

3.1 Recurso Solar

Cabo Verde tem um recurso solar muito abundante. De acordo com um estudo realizado, parte integrante do Plano Energético Renovável de Cabo Verde, grande parte do território apresenta uma radiação global em plano horizontal entre 1800 e 2200 kWh/m²/ano, que pode variar com a inclinação e exposição natural do terreno.

As melhores áreas das ilhas apresentam níveis de radiação global em plano horizontal entre 2070 e 2019 kWh/m²/ano, valores superiores aos valores máximos registados na Europa. Mais de metade do território apresenta um potencial superior a 3750 horas de sol por ano.

Por forma a identificar melhor as zonas de maior radiação, elaborou-se um mapeamento das zonas de maior nebulosidade. Este mapeamento está representado na Figura 9.

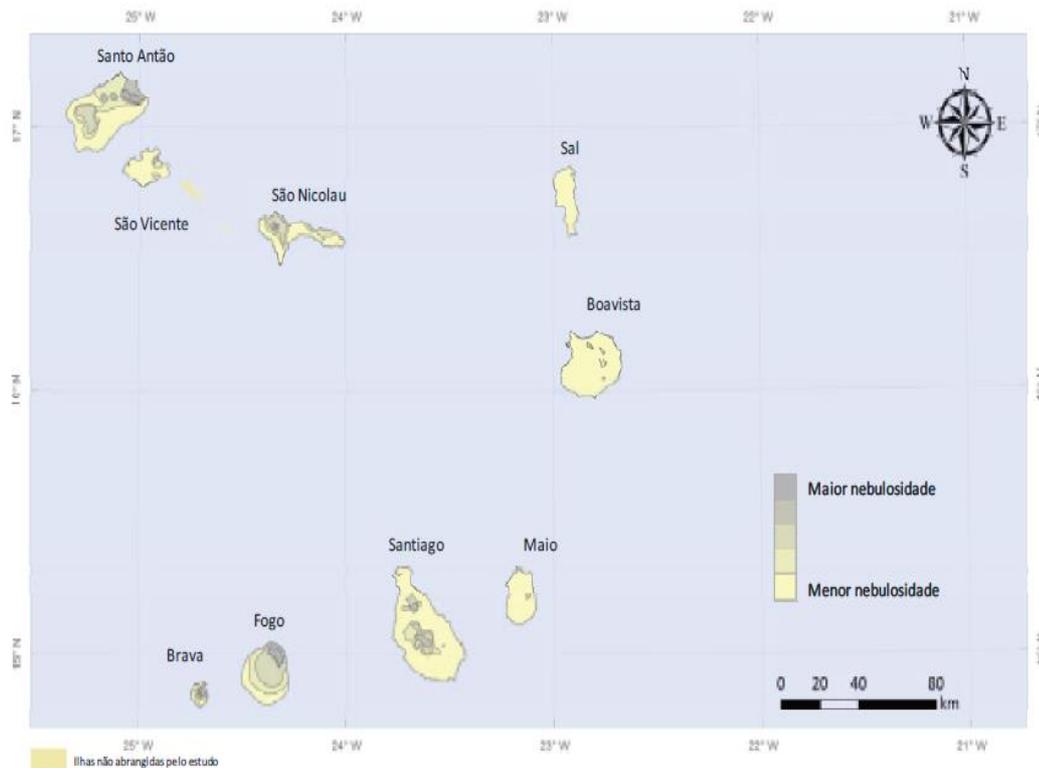


Figura 9: Mapeamento das zonas de maior nebulosidade [1]

Conclui-se então que, as ilhas de Santo Antão, São Nicolau, Fogo e Brava registam maiores índices de nebulosidade. As ilhas do Sal, Boavista e Maio possuem um menor índice de nebulosidade e por conseguinte apresentam um recurso solar mais abundante.

Todas as ilhas apresentam localizações com boas características para a instalação de centrais fotovoltaicas de varias gamas de potência, mas as ilhas de Santiago, Boavista e Sal têm uma maior disponibilidade de áreas com boas condições para desenvolver estes projetos.

3.2 Recurso Eólico

Cabo Verde tem um grande potencial eólico. Em diversas zonas das ilhas de São Vicente e Santiago verificam-se ventos médios acima dos 8m/s. O vento predominante provém do sector nordeste.

Na ilha de Santiago verificam-se velocidades médias entre 6m/s a 8m/s. A zona sul da ilha tem uma área de planalto muito ampla, com facilidade de acesso e com capacidade para instalar vários parques eólicos de grande dimensão.

A ilha de São Vicente apresenta o melhor recurso eólico, tem locais para a instalação de mais de 20 MW de projetos identificados quer ao nível de projetos eólicos quer ao nível de projetos solares[1]. São Vicente é a ilha que regista a maior velocidade média anual do vento, apresentando diversas localizações onde registam-se velocidades médias superiores 8,5 m/s. As ilhas do Sal, Fogo, São Nicolau e Brava apresentam áreas com um potencial médio/elevado na ordem dos 7 m/s. A ilha de Santo Antão, embora esteja próxima da ilha de São Vicente, tem um potencial eólico significativamente menor, com uma velocidade média de 5 m/s em quase toda a ilha. As ilhas de Boavista e Maio, também não apresentam um recurso eólico muito elevado, tendo velocidades entre os 6 e 6,5m/s.

Na Figura 10 apresenta-se o mapeamento a meso escala do recurso eólico, realizado pelo Riso National Laboratory.

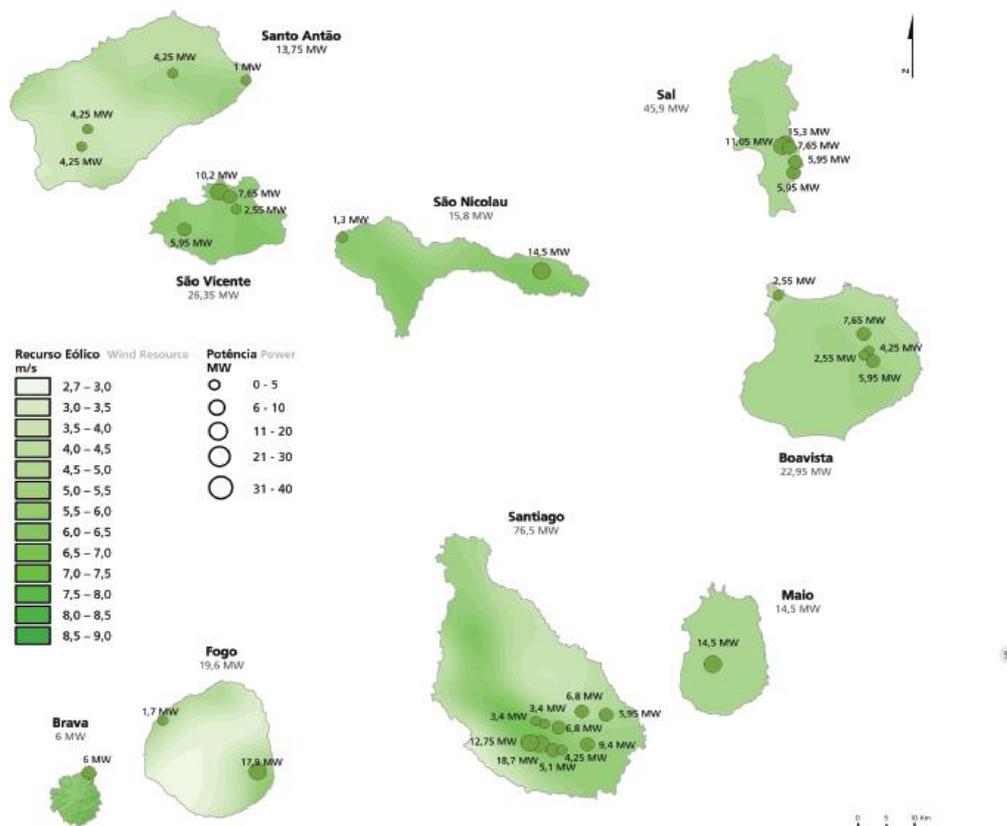


Figura 10: mapeamento a meso escala do recurso eólico [1]

3.3 Recurso Hídrico

As precipitações em Cabo Verde são muito reduzidas, concentrando apenas em três meses do ano. É caracterizado por uma forte sazonalidade. Com estas características, não há capacidade para

gerar o escoamento necessário à exploração de um aproveitamento hidroelétrico convencional. No entanto estudos identificaram possíveis locais viáveis para a implementação de empreendimentos hidroelétricos reversíveis de bombagem. A complementaridade de empreendimentos hidroelétricos de bombagem pura com parques eólicos e solares permite maximizar a penetração de energias renováveis nos sistemas elétricos. Uma vez que a energia eólica que é gerada, durante as horas de menor consumo do sistema elétrico, pode ser armazenada neste tipo de projeto, sendo depois consumida nas horas de maior demanda do sistema. Estudos realizados, identificaram três alternativas do tipo terrestre no interior da ilha de Santiago, cada um com cerca de 20 MW, e duas alternativas no litoral da ilha de São Vicente. Uma marítima usando água do mar em bruto e outra terrestre mas usando água dessalinizada.

Os projetos identificados para ilha de Santiago são os mais viáveis e económicos, sendo que a realização de uma das alternativas é fundamental para atingir níveis elevados de penetração de energia eólica.

3.4 Recurso Geotérmico

As ilhas de Cabo Verde são de origem vulcânica, com vulcanismo recente e por isso reúnem a partida, condições para apresentar um recurso geotérmico relevante, principalmente a ilha do Fogo e a ilha de Santo Antão. No entanto, estudos realizados não identificaram manifestações geotérmicas. As amostras da água analisadas e os estudos geofísicos desenvolvidos não revelaram indícios de alterações geotérmicas, exceto numa zona localizada na caldeira do vulcão na ilha do Fogo. Apresenta algumas características possíveis de serem atribuídas a um sistema geotérmico de elevada temperatura. Esta zona possui uma anomalia e resistividade que pode estar associada a um à existência de um possível reservatório localizado a 1000 m e os 1500m de profundidade. Porém, a probabilidade da existência de um reservatório é reduzida, uma vez que a estrutura identificada não apresenta a continuidade e extensão típica de reservatórios geotérmicos além da ausência de outros indícios.

Para desenvolver um projeto para a produção de eletricidade nesta zona, torna-se necessário a realização de sondagens de prospeção a cerca de 1000 m de profundidade, para identificar a existência de um reservatório e comprovar as suas características. Em caso de sucesso previu-se a instalação de um projeto de cerca de 3 MW.

Capítulo 4

Análise do potencial eólico e solar da ilha de São Vicente

4.1 Introdução

O sistema de fornecimento de energia elétrica da ilha é baseado em combustíveis fósseis e na energia eólica.

A topografia da ilha é relativamente uniforme, com exceção do Monte Verde. A montanha tem 774 m de altura e está localizada no centro da ilha, o que pode ser adequado para armazenamento através do bombeamento hídrico.

Neste capítulo avaliou-se as radiações solares e a velocidade do vento da ilha de São Vicente para os anos de 2011, 2012 e 2013. Os dados utilizados para a análise foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (INMG). Ainda neste capítulo será caracterizado o diagrama de carga da ilha.

4.2 Sistema Elétrico Atual de São Vicente

O parque electroprodutor da ilha de São Vicente é constituído por duas centrais termoelétricas, alimentadas por combustíveis fósseis, situadas nas localidades de Maciota e Lazareto, e um parque eólico instalado na localidade de Monte Flamengos localizada a 6 km da cidade do Mindelo. A potência instalada na central da Maciota é de 10.909 kW e no Lazareto, 7.440 kW para a central a diesel e 900 kW para a central eólica (Tabela 6)

Tabela 6 - Repartição da Potência instalada em cada uma das centrais localizadas em São Vicente em KW a 31-12-2012

	<i>Diesel</i>	<i>Eólica</i>	<i>Solar</i>
<i>Maciota</i>	10.909	-	-
<i>Lazareto</i>	7.440	900	-
<i>Total</i>	18.349	900	-

A procura e o consumo de energia na ilha são relativamente estáveis durante todo o ano, dado que não há grandes variações climáticas, capazes de fazer oscilar o consumo de energia elétrica.

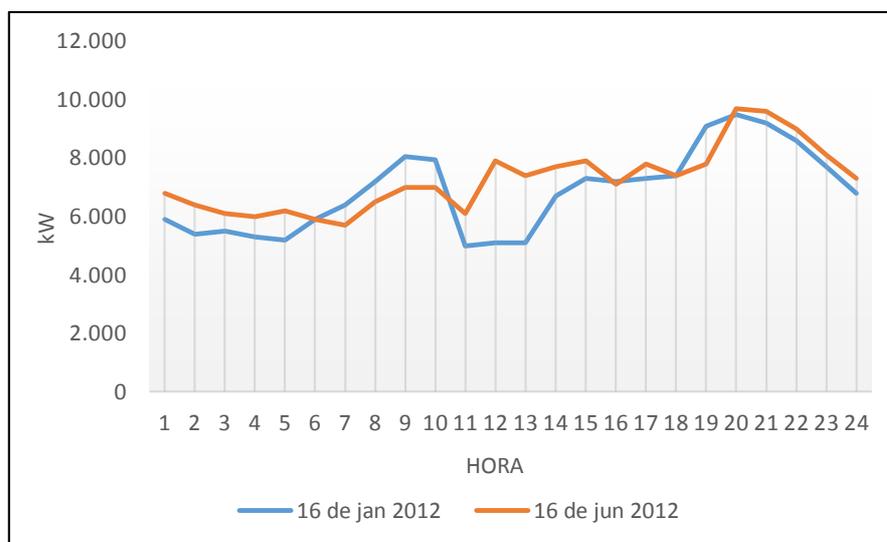


Figura 11: potência em kW de um dia no inverno (16 de janeiro) e no verão (16 de junho) (ELECTRA)

Na Figura 11 está representada o diagrama horário de um dia de verão e de um dia de inverno. Pode-se verificar que a ponta máxima foi registada no mês de junho por volta das 20h. Em geral a configuração do diagrama de carga da ilha de São Vicente para o ano de 2012, não varia muito de mês para mês. Nota-se que o pico em cada mês, geralmente ocorre no final do dia, por volta das 20 horas. Na Tabela 7 conclui-se que a ponta máxima registada em 2012 ocorreu no dia 11 de setembro pelas 20 horas.

Na Figura 12 nota-se que o diagrama de carga não varia muito de mês para mês. Estão representados apenas alguns meses de 2012, mas a conclusão é válida para os restantes meses do ano. Os meses onde se registam o maior consumo são julho e Agosto, deve-se ao facto de ser um dos meses onde se regista uma maior concentração de emigrantes nas ilhas e também devido aos aparelhos de climatização. No anexo 1 pode-se consultar o diagrama de carga diário, de apenas alguns dias, do mês de janeiro e o diagrama de carga mensal dos restantes meses.

Tabela 7- Potências máximas registadas em 2012, na Iha de São Vicente (ELECTRA)

	Dia	Hora	Valor (kW)
Janeiro	3	20:00	10.700
Fevereiro	20	20:00	10.200
	28	20:00	10.200
Março	1	20:00	10.100
	27	20:00	10.100
Abril	23	20:00	10.300
Maio	14	20:00	10.400
Junho	12	21:00	10.300
Julho	20	20:00	10.600
Setembro	11	20:00	10.800
Outubro	15	20:00	10.600
	5	19:00	10.300
Novembro	22	20:00	10.300

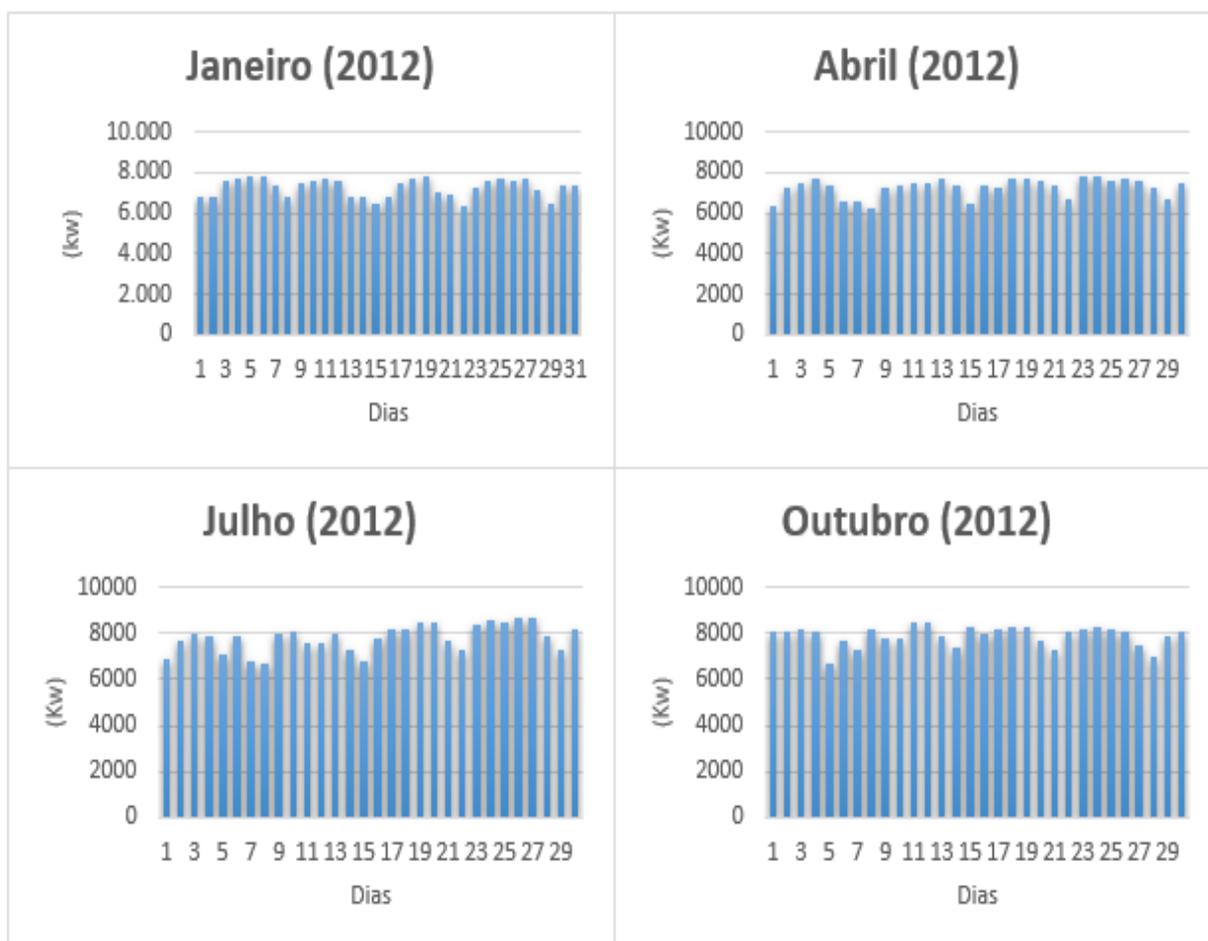


Figura 12: Diagrama de carga mensal de alguns meses registado na ilha de São Vicente em 2012 (ELECTRA)

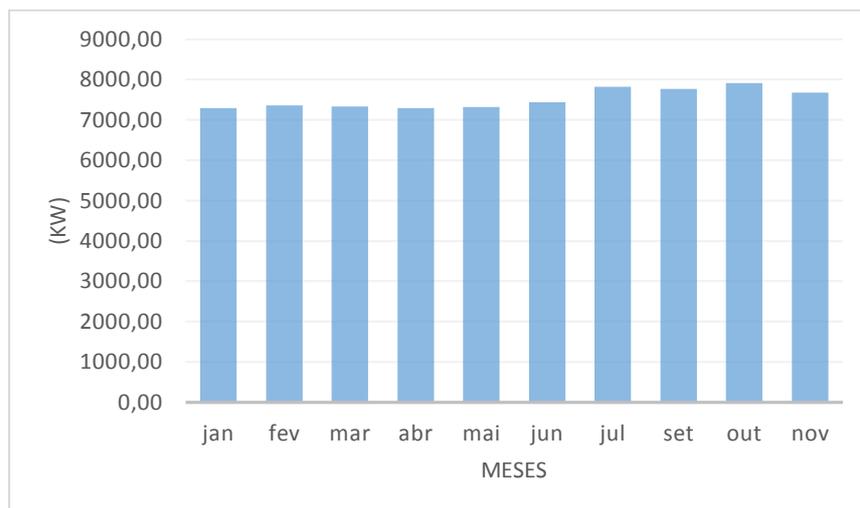


Figura 13: Potências médias (kW) registadas em cada mês de 2012, em São Vicente

Em 2012, o mês onde se registou um maior consumo foi em outubro seguido do mês de julho (Figura 13). Mas é de notar que a ponta máxima, registada em 2012, ocorre em setembro.

4.2.1 Consumo Desagregado

A Figura 14 representa os consumos desagregados, referentes ao ano de 2013, da ilha de São Vicente. Nota-se que a maior porção de consumo é derivada do sector doméstico seguido do sector industria/comercio/Agricultura.

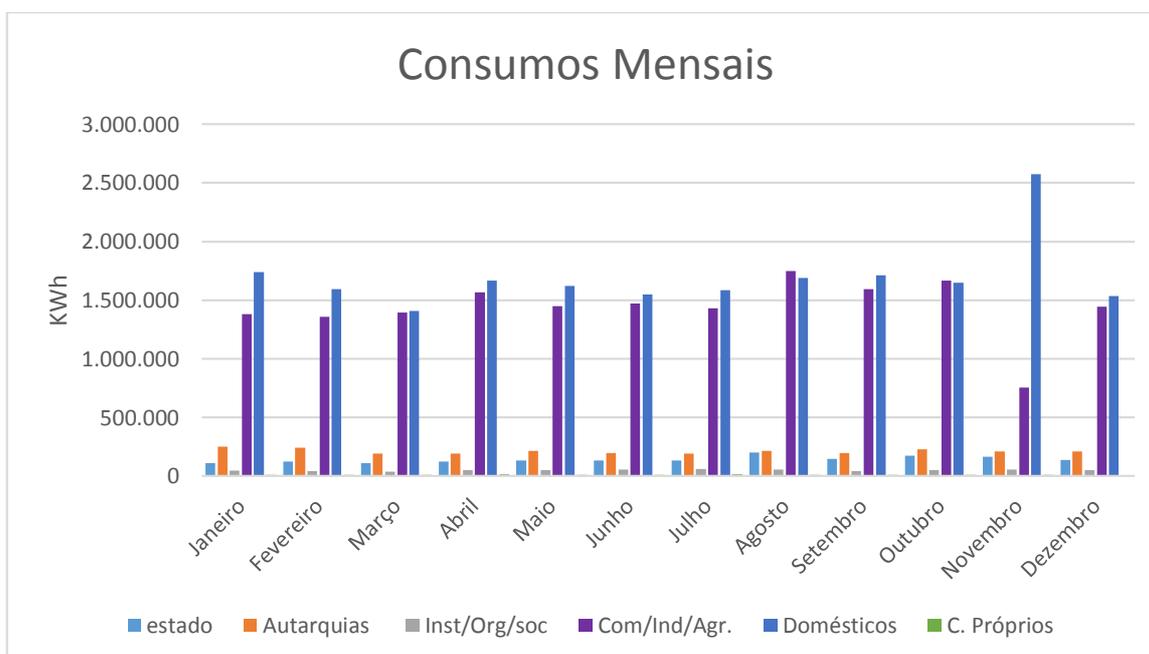


Figura 14: Consumos desagregados por sector referentes a 2013, da ilha de São Vicente (ELECTRA)

4.3 Caracterização da Radiação Solar e Velocidade do Vento da ilha de São Vicente

4.3.1 Radiação Solar

São Vicente tem um clima quente e raramente são registados precipitações mesmo nos meses mais húmidos. Estudos realizados, pela Gesto para o PERCV, identificaram várias zonas disponíveis na ilha, com boas características para a implementação de centrais fotovoltaicas.

Com os dados cedidos pelo INMG foi possível avaliar a radiação solar no Mindelo, sendo possível identificar os meses com maior e menor radiação e como varia diariamente.

Conclui-se que o nascer do sol ocorre, aproximadamente todo o ano, as 8 horas e que o pôr-do-sol acontece por volta das 19:30 em alguns meses e por volta das 20:00 em outros meses.

Fez-se uma análise a variação da radiação solar em três anos, para cada mês, e nota-se que a radiação solar em cada um dos anos não varia muito.

Em média, o mês onde se registou uma maior radiação solar (W/m^2) em 2012, foi em junho e em 2013 no mês de abril. Na Figura 15 é possível verificar a variação da radiação solar em 2012, 2013 e em 2011 para alguns meses. Na Figura 16 estão representados os máximos e mínimos registados em cada mês (2011, 2012, 2013). A Radiação solar de alguns dias, de todos os meses encontra-se em anexo.

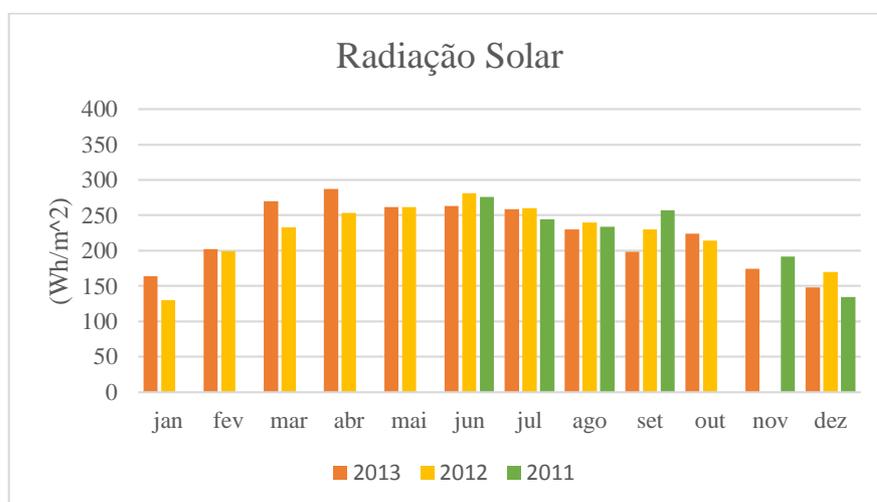


Figura 15: média anual da radiação solar medida em São Vicente (Mindelo)

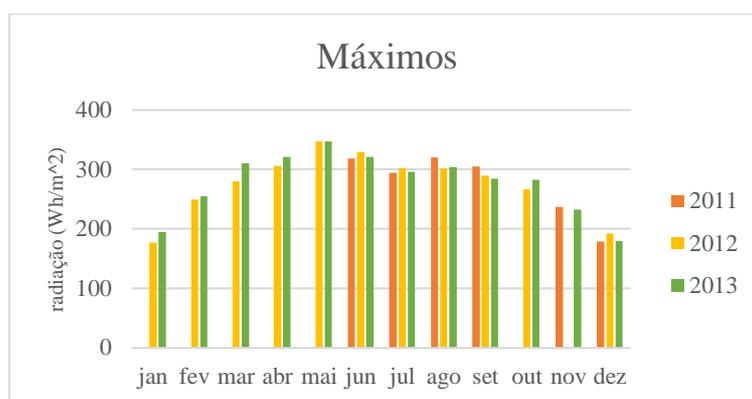


Figura 16: Máximos registados no Mindelo

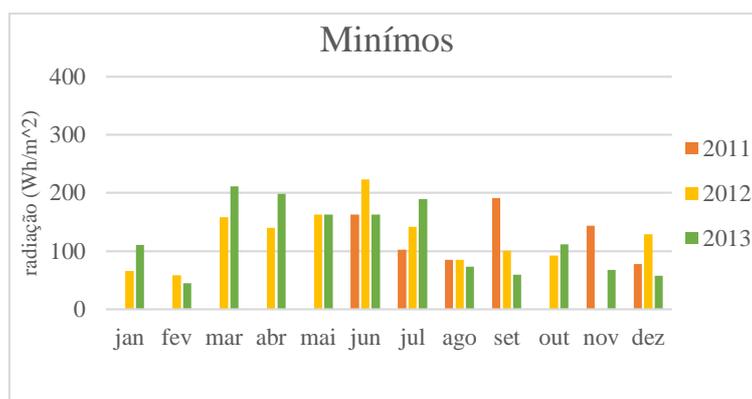


Figura 17: Mínimos registados no Mindelo

Torna-se importante esta análise por forma a avaliar as características da radiação solar por forma a estudar potenciais zonas para a instalação de centrais solar.

Os preços dos painéis solares tem vindo a sofrer algumas alterações. Os atuais preços caíram bruscamente (pela redução de sobre-estímulos, pela crise económica e pelo início do aumento da produção de silício solar, separado da fileira microeletrónica) [8].

Alguns estudos, realizados no âmbito do PERCV, revelam que o potencial de São Vicente, para a instalação de centrais eólicas é de 7,5MW. Para a determinação deste valor foi utilizada uma metodologia para identificação de áreas favoráveis para a instalação de parques solares, que consiste num vasto conjunto de critérios técnicos e ambientais. Foram analisadas algumas premissas tais como: acessibilidade, orografia, distancia ao ponto de interligação na rede elétrica, passivos ambientais e o recurso solar[1, 9].

4.3.2 Velocidade do Vento

A ilha de São Vicente tem um grande potencial eólico. Verificam-se ventos com velocidades acima dos 8 m/s, é a ilha que apresenta a maior velocidade média anual do vento.

Também foram identificadas várias zonas com boas condições para a instalação de parques eólicos.

Dados obtidos pelo INMG, permitiram analisar como varia as velocidades do vento ao longo dos anos de 2011, 2012 e 2013, registados no Mindelo. Os ventos são mais predominantes em fevereiro, abril, maio e junho em 2012. Mais uma vez nota-se que não existe uma grande variação entre os anos. A variação da velocidade do vento diária (de alguns dias) de todos os meses encontra-se em anexo.

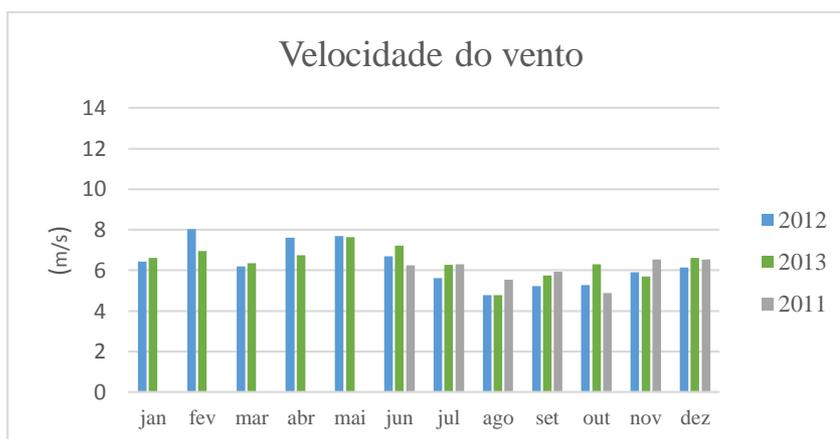


Figura 18: velocidades médias em m/s registadas no Mindelo (INMG)

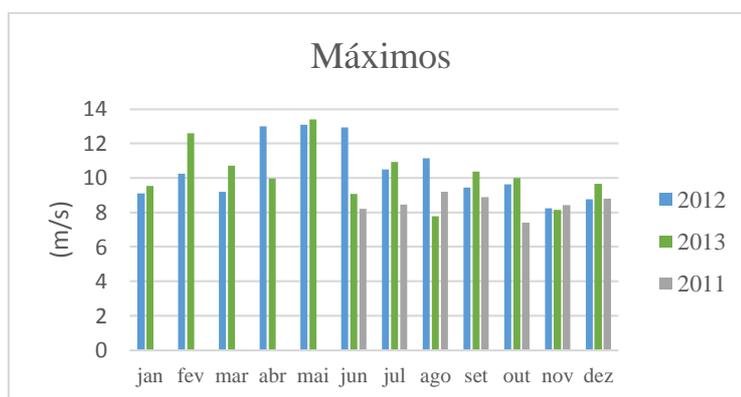


Figura 19: Velocidades máximas registadas no Mindelo (INMG)

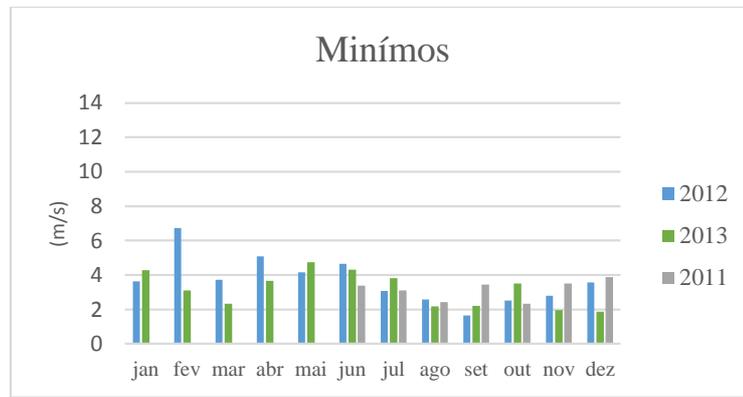


Figura 20: Velocidades máximas registadas no Mindelo (INMG)

Capítulo 5

Complementaridade entre a Energia Solar e a Energia Eólica

Neste capítulo é feito um estudo sobre a complementaridade entre a energia solar e a energia eólica para a ilha de São Vicente. Tendo como base uma serie de dados mensais de 3 anos (2011,2012 e 2013), para cada variável, por forma à analisar cada uma das fontes de energia renovável.

5.1 Dados obtidos

Para avaliar a complementaridade entre as fontes de produção de energia na ilha de São Vicente, solar e eólica, foram compilados dados da radiação solar e velocidade do vento.

Os dados obtidos foram os seguintes:

- Radiação Solar média mensal no Mindelo entre 2011 e 2013 (Wh/m²)
- Velocidade média mensal do vento no Mindelo entre 2011 e 2013 (m/s)

5.2 Conversão dos dados

Uma vez que as duas variáveis têm unidades de medida diferentes, por forma a compará-los é necessário converte-las para uma unidade à dimensional, o fator de carga.

5.2.1 Radiação Solar

Os dados da radiação solar do Mindelo, São Vicente, referem-se a densidade de energia diária média de cada mês. Assim a potência média para um determinado rendimento de conversão é dada pela Eq. 1

$$P = R \cdot A_p \cdot \eta \tag{Eq. 1}$$

Em que:

- P - potência (W);
- R - radiação solar média mensal, por dia (W/m²);
- AP - área dos painéis (m²);
- η - rendimento da conversão;

Considerando uma determinada potência instalada e a área associada é possível calcular o respetivo fator de carga. Considerou-se painéis solares de 250 W e com uma área de 1,6095 m².

Para uma potência de 7,5 MW (potencial considerado para São Vicente), a área total associada é de 48.285 m². Assim o fator de carga, para um rendimento de 14,3%, é dado pela Eq. 2

$$fc = \frac{R \cdot A_P \cdot \eta}{P_i} = \frac{R}{1086,2} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

- fc - fator de carga;
- Pi - potência instalada (W).

5.2.2 Velocidade do Vento

Os dados obtidos da ilha de São Vicente, no Mindelo, referem-se à velocidade do vento medidos a 10 metros de altura. Para este estudo utilizou-se uma turbina de 850 kW onde o eixo situa-se a 60 metros de altura. As turbinas habitualmente utilizadas em outras geografias encontram-se entre os 2 MW e 3 MW. Para este caso utilizou-se um modelo de pequena escala devido as limitações logísticas existentes em Cabo Verde, nomeadamente ao nível do portuário e meios de elevação.

Para relacionar a velocidade média a duas alturas diferentes utiliza-se a lei de Prandtl, Eq. 3.

$$\frac{v(z)}{v(z_R)} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_R/z_0)} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

- v(z) - velocidade média do vento à altura z (m/s);
- v(z_R)- velocidade média do vento à altura de referência z_R (m/s);
- z_R - altura de referência (m);

- z_0 - comprimento característico da rugosidade do solo (m).

Para um comprimento característico da rugosidade do solo de 0,02 m (terreno descampado), a relação é dada pela

$$\frac{v(60)}{v(10)} = \frac{\ln(60/0,02)}{\ln(10/0,02)} = 1,29 \quad \text{Eq. 4}$$

A potência disponível num dado local, para uma turbina eólica, é dada pela Eq. 5.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T \cdot v^3 \cdot \eta \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

- P - potência (W);
- ρ - densidade do ar (1,225 kg/m³, em condições de pressão e temperatura normais);
- A_T - área da secção plana transversal do rotor da turbina (m²);
- v - velocidade do vento (m/s);
- η - Rendimento da conversão (%).

Entrando em consideração com a relação anteriormente obtida para a velocidade do vento (Eq. 4), a expressão passa a ser dada pela Eq. 6.

$$P = 1,315 \cdot A_T \cdot v^3 \cdot \eta \quad \text{Eq. 6}$$

A Eq. 6 é válida apenas para a zona de operação entre a velocidade de cut-in e a velocidade nominal. Para velocidades do vento inferiores à velocidade de cut-in (4 m/s) ou superiores à velocidade de cut-out, os valores foram corrigidos para zero. Para velocidades entre a nominal (12 m/s) e a velocidade de cut-out (25 m/s), os valores foram corrigidos para a velocidade nominal.

Considerando uma determinada potência instalada e a área associada é possível calcular o respetivo fator de carga (Eq. 7). Para uma potência de 20,5 MW (potencial considerado para ilha de São Vicente), considerando a utilização de turbinas de 850 kW, com 52 metros de diâmetro, a área total associada é 51226 m² (0,05 km²) e com um rendimento de 35% o fator de carga é:

$$f_c = \frac{1,315 \cdot A_T \cdot v^3 \cdot \eta}{P_i} = \frac{v^3}{870} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

- f_c - fator de carga;
- P_i - potência instalada (W).

5.3 Análise dos Dados

Calculou-se a média mensal para a velocidade do vento e para a radiação solar no período 2012-2013. Observou-se que, a radiação solar atinge o seu máximo em abril (2013) e julho (2012). Em fevereiro, maio e junho são registados as maiores velocidades do vento (Figura 22, Figura 23). A velocidade do vento atinge o seu valor mínimo em agosto.

Verifica-se que não há grande dependência entre o vento e a radiação solar. A radiação solar é praticamente constante durante todo o ano e as velocidades do vento são superiores que a radiação em quase todos os meses do ano, exceto no mês de agosto e meados de julho e setembro, em que a velocidade atinge valores inferiores que a radiação solar. É uma grande vantagem, considerando que não se terá grandes problemas no sistema com a intermitência do vento, durante todo o ano as temperaturas são aproximadamente constante.

Em Portugal a velocidade do vento e a radiação solar variam quase inversamente, apresentando uma correlação negativa (Figura 21). [10] Na ilha de São Vicente as fontes são mais constantes, como se pode verificar na Figura 22 e Figura 23.

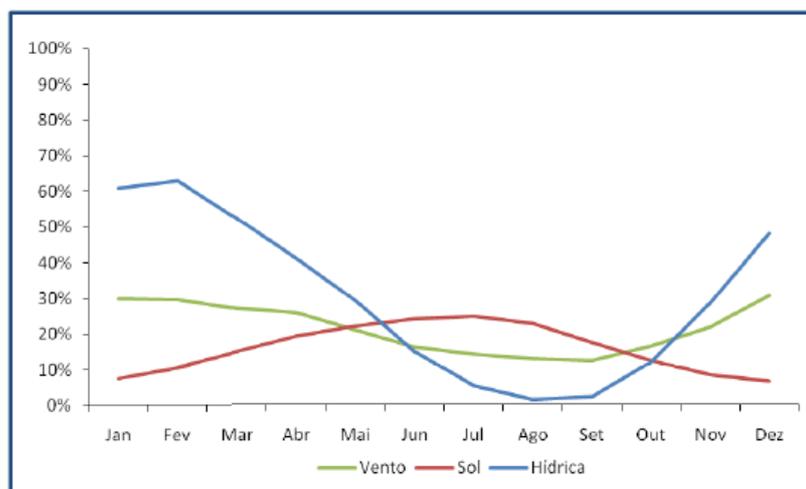


Figura 21: Variação anual média do fator de carga do vento, solar e hídrico [10]



Figura 22: Variação anual média dos fatores de carga do vento e do sol em 2012 (INMG)

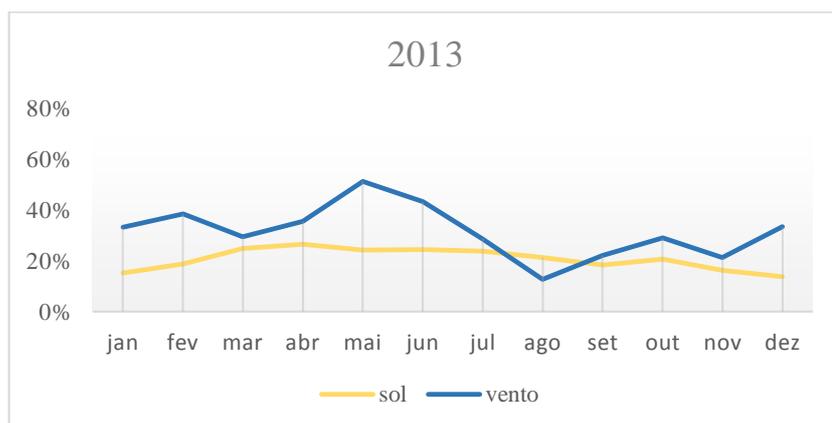


Figura 23: Variação anual média dos fatores de carga do vento e do sol em 2012 (INMG)

5.3.1 Radiação Solar

A análise individual a intermitência de cada fonte mostra que a radiação solar é a fonte com menos flutuações relativamente à média. Entre 2012 e 2013, o fator de carga médio anual varia entre 12% e 24%. O gráfico da Figura 24 representa os valores médios, mínimos e máximos do fator de carga medio anual da radiação solar no ano de 2012. Os valores máximos e médios são praticamente constantes ao longo do ano.

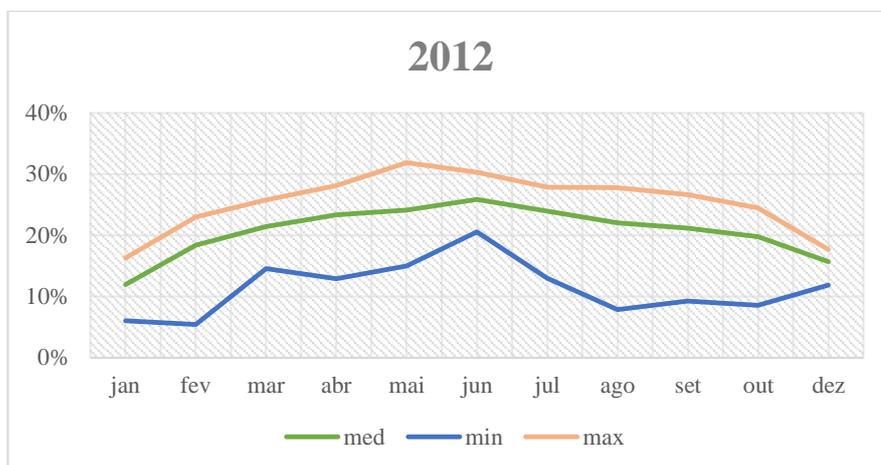


Figura 24: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da radiação solar referentes a 2012

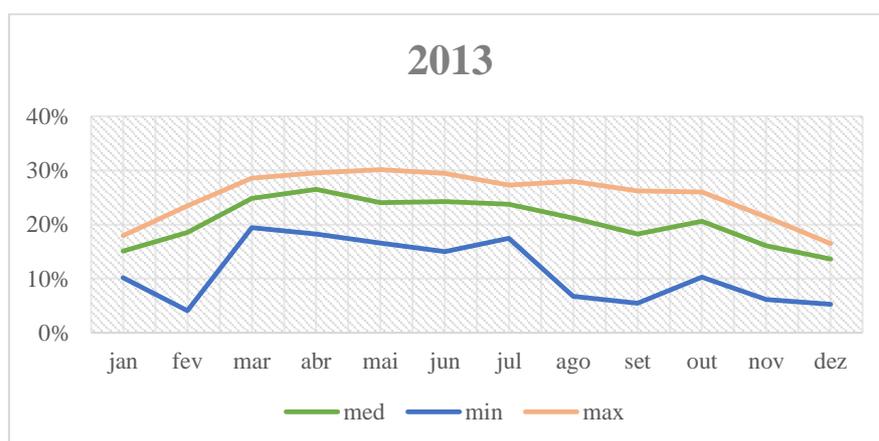


Figura 25: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da radiação solar referentes a 2013

Analisando a variação ao longo de um dia médio, nota-se que a energia solar está disponível em média, durante todo o ano, entre as 8 e as 20 horas (hora solar), atingindo o pico diário por volta das 14 horas (Figura 26, Figura 27), não há qualquer desfasamento na hora. Ao longo do ano, não há grandes alterações com a hora do nascer do sol e do pôr-do-sol.

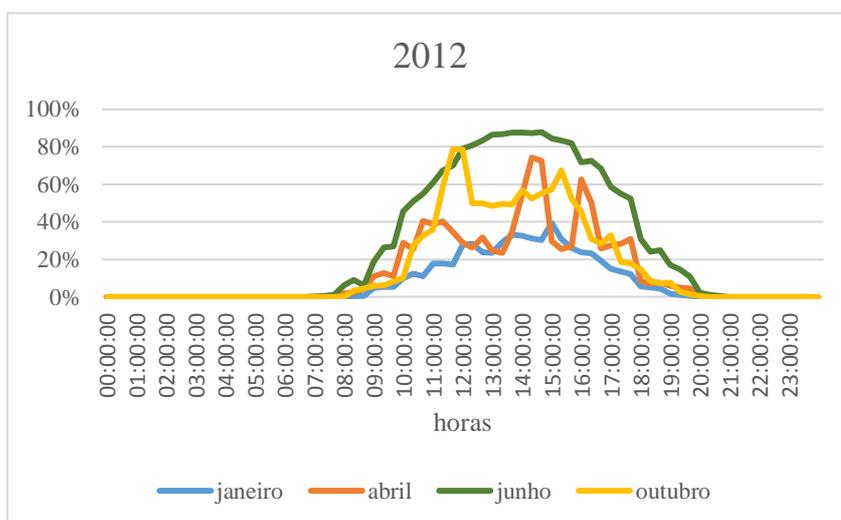


Figura 26: Valores horários do fator de carga da radiação solar referentes a 2012

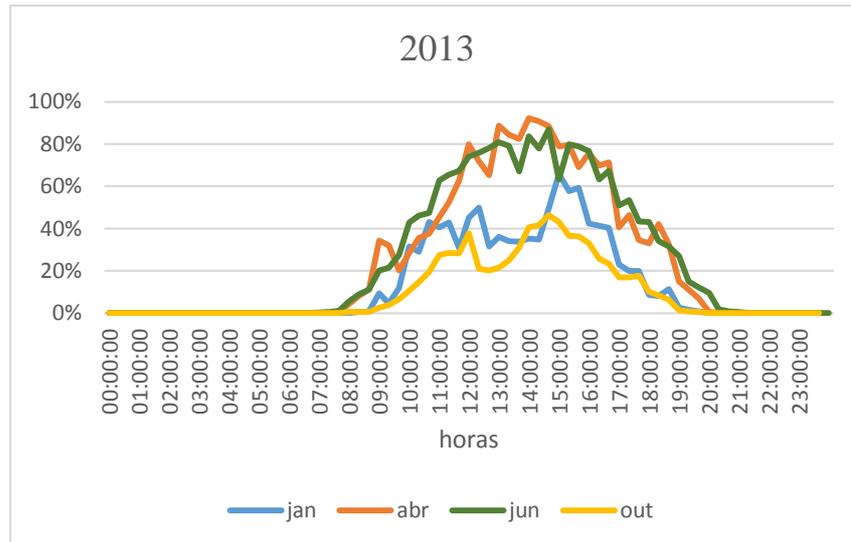


Figura 27: Valores horários do fator de carga da radiação solar referentes a 2013

5.3.2 Velocidade do Vento

A velocidade do vento apresenta alguma variabilidade de ano para ano e, mesmo nos diferentes meses verificam-se grandes alterações. Entre 2012 e 2013 o fator de carga médio anual da velocidade do vento varia entre 13% e 52%, os máximos e mínimos mensais variam entre 6% e 92%.

As velocidades do vento registadas atingem valores elevados, mas nunca valores que obrigam à paragem das turbinas eólicas, o que pode ser um grande conveniente para aproveitar ao máximo o recurso eólico disponível. As velocidades médias atinjam 13 m/s.

A Figura 28 e a Figura 29 representam as variações dos valores médios, máximos e mínimos do fator de carga, referentes a 2012 e 2013, da velocidade do vento.

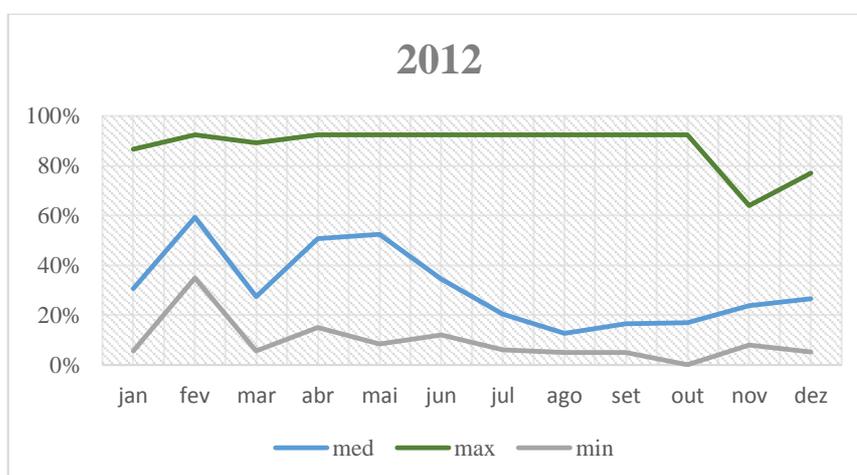


Figura 28: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da velocidade do vento referentes a 2012

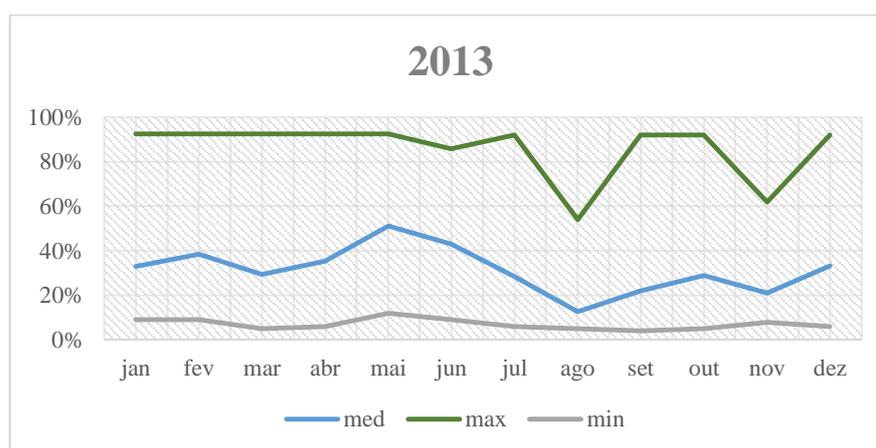


Figura 29: Valores médios, mínimos e máximos do fator de carga da velocidade do vento referentes a 2013

Fazendo uma análise da variação da velocidade do vento ao longo de um dia médio, conclui-se que há uma grande variabilidade de mês para mês e mesmo entre os dois anos (2012 e 2013). Verifica-se que a energia eólica está disponível durante as 24 horas (Figura 30), mas por norma atinge valores mais elevados entre as 8 e as 20 horas. Em 2013, durante o mês de fevereiro, maio e dezembro, as velocidades são maiores, enquanto em agosto, apesar de globalmente a velocidade do vento ser mais reduzida, são atingidos picos elevados (aproximadamente as 4 horas). Em 2012, as velocidades mais elevadas foram registadas no mês de fevereiro e maio, sendo que o mês de agosto não apresenta grandes picos, tendo sempre valores muito reduzidos.

Na e apenas estão representados os valores de um dia médio para os meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro em 2012 e 2013. Para a escolha destes meses considerou-se os meses com maiores velocidades e os meses com menores velocidades durante o ano todo, uma vez que em Cabo Verde não existe a distinção de estações (inverno, outono, primavera e verão. Apenas é definida duas estações, a das chuvas e da seca.

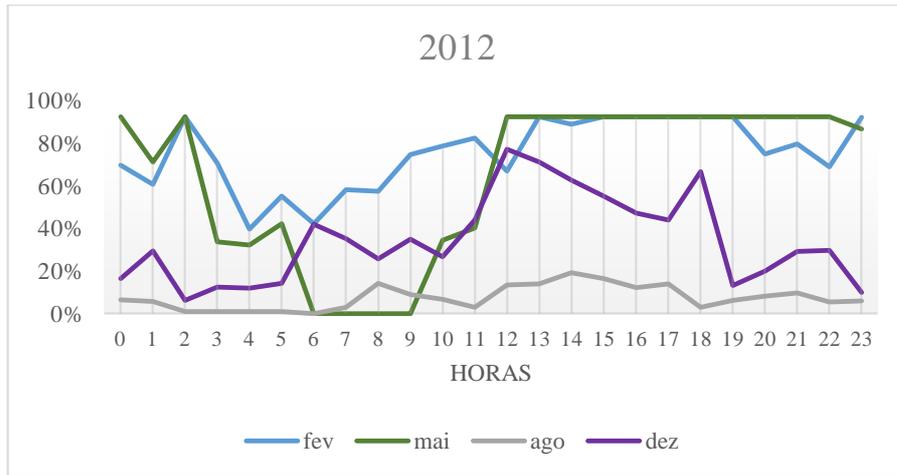


Figura 30: Valores horários do fator de carga da velocidade do vento de 2012

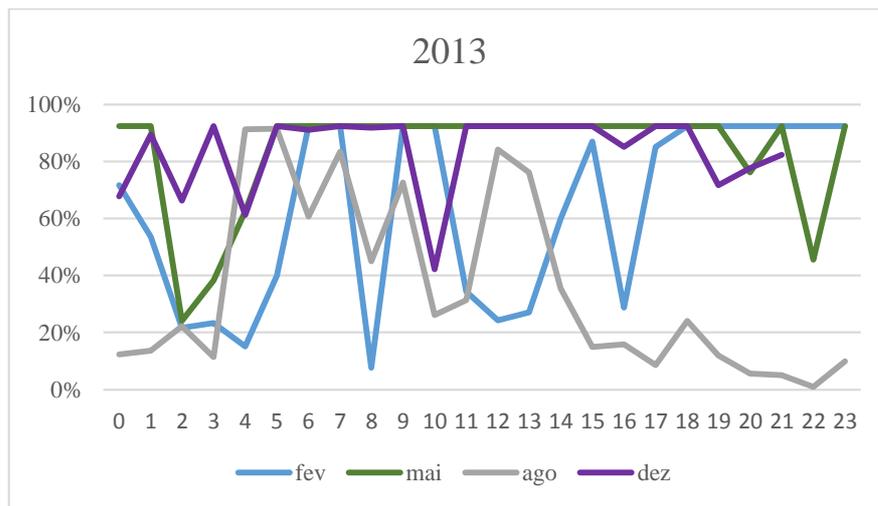


Figura 31: Valores horários do fator de carga da velocidade do vento de 2013

Capítulo 6

Armazenamento de Energia

Para a integração na rede de fontes de energia renovável, neste capítulo serão caracterizadas algumas tecnologias de armazenamento de energia adequadas as condições da ilha de São Vicente para o armazenamento de energia, tais como, baterias, flywheels e hídrica reversível. Será feita uma avaliação económica da aplicação destas tecnologias.

Como já foi abordado anteriormente a ilha de São Vicente utiliza a dessalinização para obter água potável, deste modo, neste capítulo será abordado a dessalinização com o uso de energias renováveis, para que este processo se torna mais económico.

6.1 Introdução

Para a produção de energia elétrica, utilizando fontes renováveis, o armazenamento de energia irá desempenhar um papel muito importante nas redes de eletricidade. Permite ajustar a procura e produção de energia elétrica nos sistemas de geração de energia elétrica. A energia produzida em alturas de baixo consumo, baixo custo de produção ou a partir de fontes de renováveis intermitentes, pode ser armazenada para depois ser libertada em alturas de elevadas procuras, de elevados custos de geração ou quando não está outra forma de geração disponível.

A procura de energia está sempre a sofrer variações horarias, diárias, e sazonais. Também a geração utilizando fontes renováveis está sujeito a variações significativas.

Não é necessário instalar as tecnologias de armazenamento junto às fontes renováveis, podem ser instaladas em qualquer ponto da rede.

Existe uma vasta gama de tecnologias de armazenamento, torna-se necessário analisar as diferentes tecnologias e adequa-las às aplicações.

A integração de fontes de energias renováveis em sistemas de energias de pequenas ilhas apresentam várias vantagens, nomeadamente a nível económico, seu alto custo tecnológico é compensado pelo alto custo das fontes convencionais de energia.

As tecnologias de armazenamento usadas nos sistemas elétricos podem ser classificadas pela forma como o armazenamento é feito. A Tabela 8 mostra algumas das formas de armazenamento e respectivas tecnologias utilizadas.

Tabela 8 - Tipos de armazenamentos de energia e respectivas tecnologias

Tipos de armazenamento	Tecnologias
Armazenamento de energia elétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Supercondensadores; • Supercondutores;
Armazenamento de energia eletroquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Baterias (ex: as ácidas de chumbo, de níquel, de íões de lítio, etc); • Baterias de células de fluxo (ex: as de brometo de zinco e brometo de vanádio);
Armazenamento de energia cinética	<ul style="list-style-type: none"> • Flywheels;
Armazenamento de energia potencial	<ul style="list-style-type: none"> • Aproveitamentos hidroelétricos reversíveis; • Armazenamento de ar comprimido;
Armazenamento de energia química	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrogénio; • Recombinação/dissociação de amónia
Armazenamento de energia térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas sensíveis ao calor (ex: acumuladores de vapor ou água quente, grafite, rochas quentes ou concreto, etc.); • Sistemas de calor latente

6.2 Tecnologias de Armazenamento

Equilibrar a oferta e a procura de energia é sempre um processo complexo, quando se utiliza os recursos renováveis (vento, sol, hídrica) como fonte de energia elétrica, em grande escala, este processo torna-se ainda mais difícil devido à intermitência das fontes renováveis. O uso de tecnologias de armazenamento de energia permite um contínuo fornecimento de energia ao consumidor, forma segura e estável. Algumas tecnologias oferecem capacidade de armazenamento de energia significativas, mas exigem características geográficas específicas e consideráveis infraestruturas.

Os sistemas adequados para complementar a intermitência das fontes renováveis, são sistemas de armazenamento com uma autonomia muito longa, de preferência com autonomia de várias horas, podendo atingir vários dias.

Atualmente estão disponíveis no mercado, uma grande variedade de opções de armazenamento de energia: condensadores, ar comprimido, bombeamento hídrico, flywheels, e baterias recarregáveis. Cada categoria tem os seus próprios méritos baseando em uma variedade de fatores específicos de aplicação.

6.2.1 Baterias

Vários tipos de baterias são utilizados no armazenamento de energia, tais como, as baterias de ácidas de chumbo, de níquel de cadmio, de íões de lítio, de metal-ar, de hidretos metálico de níquel. Cada uma difere no tipo de material utilizado. Atualmente as baterias eletroquímicas são as utilizadas para o armazenamento de energia, devido ao seu baixo custo, aliado a uma densidade de energia razoável. As principais desvantagens são: o seu reduzido tempo de vida útil e os impactos ambientais.

A escolha mais eficaz, do tipo de bateria, vai depender de vários fatores. A figura abaixo mostra algumas variáveis que estão incluídas na decisão de qual o tipo de bateria a selecionar para um determinado sistema [11].



Figura 32: Fatores que influenciam a escolha do tipo de bateria

Baterias Ácidas de Chumbo

As baterias ácidas de chumbo foram inventadas em 1859, são o tipo de baterias recarregáveis mais antigas e mais usadas. Consistem em placas de chumbo imersas numa solução ácido sulfúrico. Quando bem projetadas são robustas, seguras e com tempos de vida útil aceitáveis, para

além de apresentarem baixos custos. Os baixos custos devem-se à utilização de materiais comuns, o que favorece a produção em massa. No entanto, essas baterias são lentas para carregar, não podem ser totalmente descarregadas e têm um número limitado de ciclos de carga / descarga, têm fraco desempenho à baixa temperatura e baixa durabilidade.

O chumbo e o ácido sulfúrico usado são altamente tóxicos e criam riscos ambientais, o que pode ser particularmente irônico quando utilizado para acompanhar fontes limpas de energia, por exemplo em sistemas fotovoltaicos. A figura a baixo representa a estrutura de uma bateria ácida de chumbo.

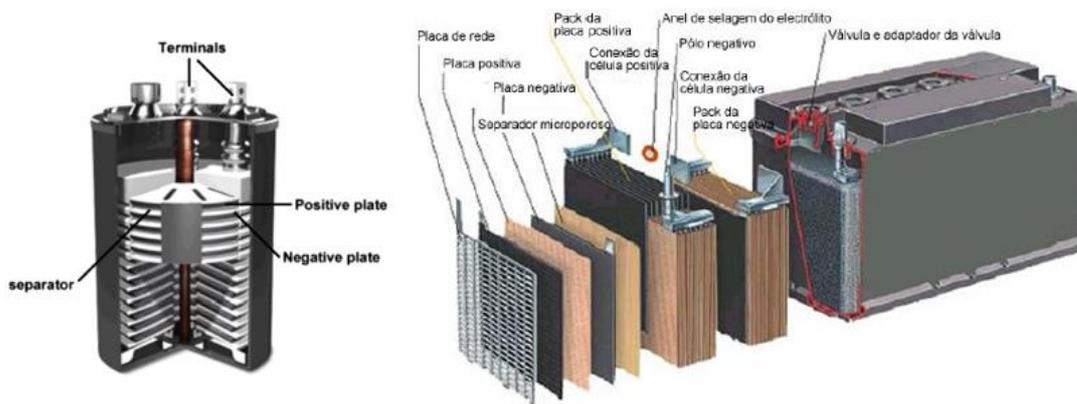


Figura 33: Bateria Ácida de Chumbo

Em aplicações na rede elétrica são usadas como backup para emergências. Contudo devido ao número de ciclos limitado, a sua aplicação foi considerada economicamente inaceitável.

A quantidade de energia que a bateria pode entregar não é fixa e depende da sua taxa de descarga. Recentemente houve uma evolução neste tipo de bateria, são as chamadas baterias ácidas de chumbo de espuma de carbono (ou grafite). Contém um coletor de corrente elétrica construído de espuma de carbono ou grafite, o que conduz a um razoável incremento da área de reações químicas e elimina a necessidade de placas de ligação.

Foram desenvolvidas novas tecnologias para ultrapassar alguns dos problemas deste tipo de bateria (Advanced Lead-acid). Estas tecnologias possibilitam uma taxa de recarregamento da bateria mais rápida e uma diminuição do peso e do tamanho da bateria, eliminando desta forma matérias não estava a ser útil, e otimizando os materiais ativos e a mistura química do eletrólito.

Baterias de Iões de Lítio

A bateria de lítio-íon, ilustrada na Figura 34, têm conseguido uma penetração significativa no mercado dos consumidores de eletrônicos portáteis e refaz a transição para aplicações em veículos híbridos e elétricos, também tem oportunidades em armazenamento de rede. A redução de custo contínuo, o tempo de vida e melhorias na recarga são cruciais para esta bateria química, na expansão em aplicações nas redes. As principais vantagens são, a sua elevada densidade de energia, elevado rendimento e um ciclo de vida longo. Assim, para a mesma energia armazenada, necessitam apenas de um quinto do peso e um terço do volume que seriam necessários no caso de uma bateria ácida.

As desvantagens desta tecnologia são seu alto custo devido à necessidade de encapsulamento especial e de proteção de sobrecarga dos circuitos internos e os efeitos nocivos que a descarga profunda tem em seu tempo de vida.

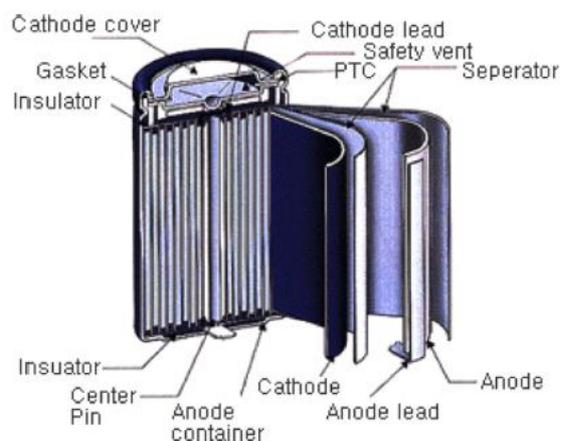


Figura 34: Estrutura de uma bateria de íons de lítio [12]

Existem três tipos de baterias de íons de lítio existentes no comércio, cobalto, manganésio e fosfato. Duas importantes inovações são as baterias lítio de célula de ar e as baterias de lítio sulfúrico. As baterias lítio de célula de ar consistem em ânodos de lítio acoplados electroquimicamente a oxigênio, através de um cátodo de ar, que têm uma elevada densidade de energia, reduzida tensão de descarga e uma longa vida útil.

Este tipo de bateria é a que tem uma mais larga gama de aplicações, devido à sua flexibilidade de tamanho e formato e ao reduzido peso. A sua aplicação em veículos elétricos resultou no desenvolvimento de novos sistemas de células com maior rendimento e segurança.

Em aplicações na rede elétrica começam a ser usadas as baterias de lítio titânio e de lítio fosfato de ferro. As baterias de lítio titânio têm capacidade de carga rápida, bom funcionamento a baixas temperaturas e boa vida útil. As baterias de lítio fosfato de ferro são resistentes a sobrecargas e seguras. Estes dois tipos de baterias são atualmente usados em serviços de sistema, nomeadamente em regulação da frequência[10].

Baterias de Níquel-Cádmio

A bateria de níquel-cádmio (Ni-Cad) é constituída por um elétrodo positivo com oxi-hidróxido de níquel como o material ativo e um elétrodo negativo constituído por cádmio metálico. São as baterias mais utilizadas em aplicações domésticas de baixa potência, mas ainda são pouco utilizadas em armazenamento de larga escala, devido a sua baixa densidade de energia. No entanto, esta baixa densidade de energia é compensada por uma elevada densidade de potência e por uma boa robustez. Outros inconvenientes são o efeito de memória e a utilização de materiais tóxicos (cádmio) no seu fabrico.

Existem dois modelos da bateria de níquel-cádmio, um ventilado e fechado. As baterias de níquel-Cádmio fechadas são muito comuns no quotidiano, no controlo remoto, lâmpadas, etc. As ventiladas tem os mesmos princípios de funcionamento que as fechadas, mas o gás é libertado se ocorrer um excesso de carga e descarga rápida.

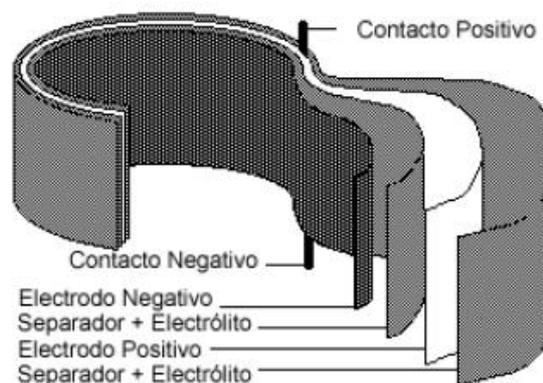


Figura 35: Bateria Níquel-Cádmio

Estas baterias são mais preferidas em relação às ácidas em aplicações onde é requerida elevada fiabilidade, devido às suas reduzidas necessidades de manutenção. São usadas em varias aplicações de *backup* e para reserva girante. Também já foram usadas para o controlo de parques eólicos em sistemas com fracas interligações, nomeadamente em ilhas.

Baterias de Sódio-Enxofre

As Baterias de sódio-enxofre (NaS) são bateria recarregáveis que operam a altas temperaturas (250 a 400°C), utilizam sódio metálico e oferecem soluções atraentes para muitas aplicações de armazenamento de energia elétrica em larga escala. As aplicações incluem o nivelamento de carga, qualidade de energia e corte de picos, bem como nas energias renováveis para o gerenciamento e integração.

Uma bateria de sódio-enxofre é um tipo de bateria de metal fundido construído a partir de sódio e enxofre, tal como ilustra a figura seguinte.

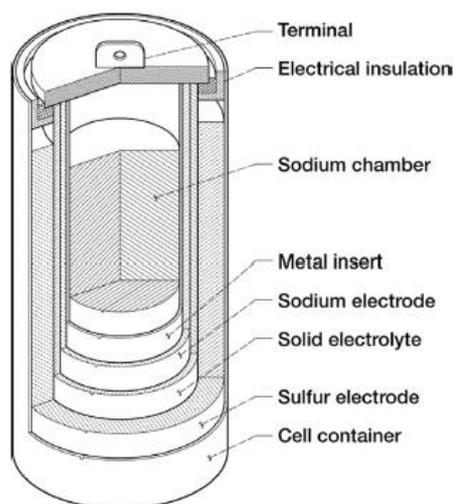


Figura 36: Bateria de Sódio-Enxofre

Possuem 3 a 5 vezes a densidade de energia e potência das melhores baterias ácidas. Usam materiais baratos e abundantes, e têm um longo período de vida útil. No entanto, o sódio é muito corrosivo e reativo, e o seu custo é elevado. Outra variante destas baterias é a bateria sódio-sal, que é obtida, substituindo o enxofre por um sal, como por exemplo o cloreto de níquel. A principal vantagem da utilização do cloreto de níquel é tornar a pilha muito pouco tóxica, mas a densidade de energia diminui cerca de 30% e o tempo de vida útil é reduzido em 20%.

Baterias de Cloreto de Sódio-Níquel

Pequeno e leve, esta bateria possui uma resposta rápida, robustez à descarga completa. Comparativamente às baterias de sódio-enxofre apresentam como vantagem a capacidade para resistir a sobrecargas e descargas, a sua maior segurança e a tensão da célula mais elevada.

Não necessita de ar condicionado, tem um ciclo de vida longo, alta densidade de energia, é livre de manutenção e tem elevada capacidade de reciclagem da matéria-prima e de emissão zero. As suas desvantagens incluem seu alto custo e potência mais baixas. Até agora, a tecnologia tem principalmente sido utilizado em veículos elétricos e submarinos, mas estão também em desenvolvimento versões de elevada potência, para o armazenamento de energia em larga escala e nivelamento de carga para aplicações industriais. São também conhecidas como baterias ZEBRA.

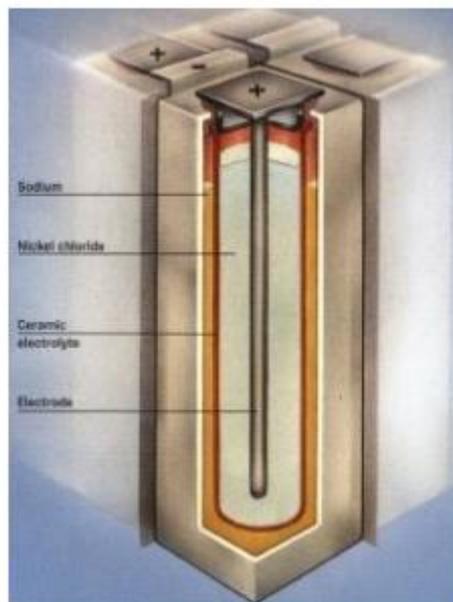


Figura 37: Bateria Zebra

6.2.2 Hídrica Reversível

Para este método de armazenamento, são usados dois reservatórios de água em alturas diferentes. Quanto mais acentuado for o desnível, entre os dois reservatórios, maior será o potencial energético. No modo de carga, a água é bombeada a partir do reservatório inferior para o reservatório superior. No modo de descarga, a água flui a partir da parte superior para o reservatório inferior, movimentando as turbinas reversíveis e produzindo de eletricidade.

Este é o sistema de armazenamento mais comum no setor elétrico. É tradicionalmente dependente das condições naturais, geralmente fazendo uso de rios ou lagos. No entanto, alguns

métodos inovadores têm surgido nos últimos anos, tais como o uso do mar como o reservatório inferior (Japão) ou a proposta de utilizar um reservatório de superfície como o reservatório superior e um reservatório subterrâneo, possivelmente abaixo do outro, como o reservatório inferior.

Este tipo de tecnologia de armazenamento de energia está já tecnicamente evoluído, não havendo grande margem de evolução técnica. A evolução desta tecnologia apenas se poderá efetuar atuando no rendimento do ciclo de armazenamento. Tem baixo custo, elevada densidade de potência e de energia e boa velocidade de resposta. Contudo, apresenta como desvantagem a necessidade de um local apropriado e com grande disponibilidade tanto de recursos hídricos como de espaço, uma vez que para um armazenamento considerável de água é necessário alagar grandes áreas de terreno.

A ilha de São Vicente tem uma montanha localizada no seu centro, Monte Verde com cerca de 750 metros, pode tornar-se adequado o uso de bombeamento hídrico como técnica de armazenamento. Uma vez que não há água potável na ilha, a solução proposta, é a utilização de água dessalinizada no bombeamento na estação hidráulica para mais tarde ser fornecida à população.

6.2.3 Flywheels

As Flywheels possibilitam a armazenagem de energia elétrica em energia cinética. Quando carrega, o volante acelera, quando se descarrega, a energia cinética é retirada.

Existem dois tipos principais: baixa e alta velocidade, também denominado de alta potência e alta energia, respetivamente. O primeiro tipo é mais barato, mas tem um tempo de descarga curto (alguns segundos a alguns minutos), o segundo fornece energia para mais tempo mas é 100 vezes mais caro. A estrutura de uma flywheels encontra-se em anexo.

Uma bateria eletromecânica é constituída, essencialmente, por uma máquina elétrica rotativa, cujo veio está acoplado a um volante de inércia, suportado no estator por levitação magnética e uma unidade de controlo. As operações de carga e descarga efetuam-se através da máquina elétrica rotativa.

As vantagens desta tecnologia são a sua aparente imunidade ao número de ciclos, a velocidade de carregamento e descarregamento, a longa vida útil, reduzida manutenção e utiliza materiais ambientalmente inertes. Os inconvenientes são o armazenamento de energia limitada para a bateria de baixa velocidade e o custo elevado do tipo de bateria de alta velocidade.

Tipicamente, uma bateria eletromecânica é dimensionada para libertar a energia armazenada num curto período de tempo, que pode variar entre os 10 segundos aos dois minutos. Isto torna os

produtos atuais pouco adequados para o armazenamento de energia em larga escala. Contudo as *flywheels* podem fazer a ponte entre o armazenamento de curto e de longo prazo, com excelentes características de seguimento de carga.

6.3 Análise e Aplicação das Tecnologias

Cada tecnologia tem suas limitações e desvantagens, que as tornam apenas utilizáveis ou economicamente rentáveis para uma gama limitada de aplicações.

A tabela seguinte faz uma comparação das características fundamentais das tecnologias de armazenamento mencionadas neste trabalho.

Tabela 9 - Comparação entre as tecnologias de armazenamento[12]

Tecnologia	Vantagem	Desvantagem	Rendimento (%)	Duração de descarga	Tempo de vida
Baterias de sódio-enxofre	Elevadas densidades de energia e potência e elevado rendimento	Custo de produção elevada e baixa segurança	75-86	<8h	5 anos
Baterias ácidas de chumbo	Baixo investimento	Ciclo de vida limitado, quando descarregada intensamente	85	1min-8 h	3-12 anos
Baterias de níquel-Cádmio	Elevadas densidades de energia e potência e elevado rendimento		60-70	1min-8 h	15-20 anos
Baterias de íons de lítio	Elevadas densidades de energia e potência e elevado	Custo de produção elevado e requisitos especiais do circuito de carga			

	rendimento				
Hídrica Reversível	Elevada potência e baixo custo	Requisitos especiais para o local	70-85	4-12 h	30-50 anos
Flywheels	Elevada potência	Baixa densidade de energia	90	3-120s	20 anos

Essas opções podem ser divididas em três categorias principais:

- Qualidade de energia - a energia armazenada é apenas aplicada durante alguns segundos ou menos, para assegurar a continuidade da qualidade de serviço;
- Potência de ligação - a energia armazenada é usada durante segundos a minutos para assegurar a continuidade de serviço, quando se comuta de uma fonte de energia para a outra;
- Gestão de energia - o armazenamento é usado para desacoplar a geração de energia do consumo.

Apesar de algumas tecnologias poderem funcionar em qualquer das aplicações, a maioria das opções, do ponto de vista económico, não são rentáveis quando aplicadas às três categorias funcionais. O tamanho e o peso dos dispositivos de armazenamento são fatores importantes para determinadas aplicações. O rendimento e o ciclo de vida também são importantes, pois ambos influenciam o custo.

Entre as tecnologias de armazenamento de energia, apenas as hídricas reversíveis são utilizadas há bastantes anos e estão bem estabelecidas no mercado. As outras tecnologias ainda apresentam custos elevados, mas que estão a diminuir, e reduzida disponibilidade comercial. No entanto, alguns sistemas de armazenagem tais como as flywheels, células de fluxo e alguns tipos de baterias, podem tornar-se viáveis a médio prazo.

As hídricas reversíveis têm tido uma importante função no desempenho de serviços de equilíbrio do sistema. Os grandes aproveitamentos hídricos reversíveis podem alternar entre o modo de geração e de bombagem em poucos segundos, armazenando a energia produzida em excesso pelas fontes renováveis intermitentes e libertando-a quando a produção decresce. Tal forma de armazenamento tem potencial para armazenamento em larga escala, com rápidos tempos de

resposta e baixos custos. Outra alternativa para garantir os serviços de equilíbrio do sistema são as baterias e as células de fluxo. Num futuro próximo as baterias quânticas e o armazenamento térmico com turbina podem ser outras alternativas com elevado potencial, mas ainda com elevada incerteza em termos de custo e desempenho[10].

Capítulo 7

Conclusão e Trabalho Futuro

Neste capítulo apresenta-se o resumo das conclusões tiradas no decurso deste trabalho, fazendo uma análise crítica dos resultados obtidos e a indicação de algumas sugestões de trabalho futuro.

7.1 Conclusão

O Consumo em Cabo Verde tem vindo a crescer no decorrer dos anos devendo-se, essencialmente, ao esforço de eletrificação que tem vindo a ser desenvolvido. Cabo Verde exhibe uma escassez de recursos energéticos e é dependente da importação de combustíveis fósseis. Os preços elevados do petróleo fazem aumentar significativamente os custos de produção. Para garantir o fornecimento de água potável, recorre ao uso de centrais de dessalinização, que por sua vez exige um processo energético intenso.

Sendo um país com um recurso solar bastante abundante e um grande potencial eólico, aproveita-se destes recursos para a produção de eletricidade, de modo a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

Neste trabalho apenas analisou-se a ilha de São Vicente. Fez-se um estudo sobre as características da radiação solar e velocidade do vento ao longo dos anos e ainda um estudo da complementaridade entre estes dois recursos.

A radiação solar é praticamente constante ao longo dos anos estudados, não apresentando grande variabilidade diária. O nascer do sol ocorre, aproximadamente todo o ano, as 8 horas e o pôr-do-sol acontece por volta das 19:30 em alguns meses e as 20:00 em outros meses. Ao longo do ano não há desfasamentos na hora. Registou-se uma maior radiação em junho de 2012 e abril de 2013.

A velocidade do vento atinge velocidades bastante altas nos meses de fevereiro, dezembro e maio. Foram registados valores muito reduzidos no mês de agosto em 2013 e no mês de setembro em 2012. Apresenta uma grande variabilidade ao longo de um dia sendo que os maiores valores ocorrem por volta das 20 horas.

De forma a avaliar a complementaridade entre as energias eólica e solar foram agrupados os dados mensais disponíveis (2 anos) para a radiação solar global média mensal do Mindelo, a velocidade média mensal do vento, também do Mindelo. Como as duas variáveis têm unidades de medida distintas, de forma a estas serem comparáveis, foram convertidas em fatores de carga.

Concluiu-se que a radiação solar é aproximadamente constante ao longo do ano, não dependendo muito da velocidade do vento, e a velocidade do vento é sempre superior que a radiação solar, ao longo de todo o ano e apenas apresenta valores inferiores no mês de agosto. Não foi possível determinar a correlação entre o vento e o sol por ter-se dados de apenas dois anos. Ao juntar fontes renováveis complementares, diminui-se os problemas de intermitência quando comparado com a concentração da potência instalada em apenas uma forma de energia.

Calculando as potências da energia eólica e solar, pode-se avaliar de que forma a produção renovável contribui para a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis. Comparando a energia produzida, a partir da energia eólico e solar, com o diagrama de cargas registado na ilha conclui-se que aumentando a capacidade de produção do parque eólico e instalando uma central solar, a produção das centrais térmicas irá diminuir (diminuição dos gastos em combustíveis) e, podendo evitar os frequentes cortes de energia que ocorrem na ilha.

O potencial eólico previsto neste trabalho foi de 20,5 MW, que adicionado a capacidade eólica já instalada contribuirá imenso para reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Para a central solar, foi previsto um potencial de 7,5 MW. Na Figura 38 pode-se analisar de que forma a produção de renovável irá contribuir para o consumo. Adicionou-se a energia renovável prevista com a produzida (em janeiro de 2012) e comparou-se com o consumo registado no mês de janeiro. O resultado é vantajoso, portanto conclui-se que integrando em grande escala as energias renováveis, na ilha de São Vicente os gastos de produção nas centrais térmicas irão diminuir muito. Também é bastante vantajoso, a integração de fontes renováveis na dessalinização. Sendo que este processo consome uma grande quantidade de energia, a utilização de energias renováveis, diminuirá os custos de produção.

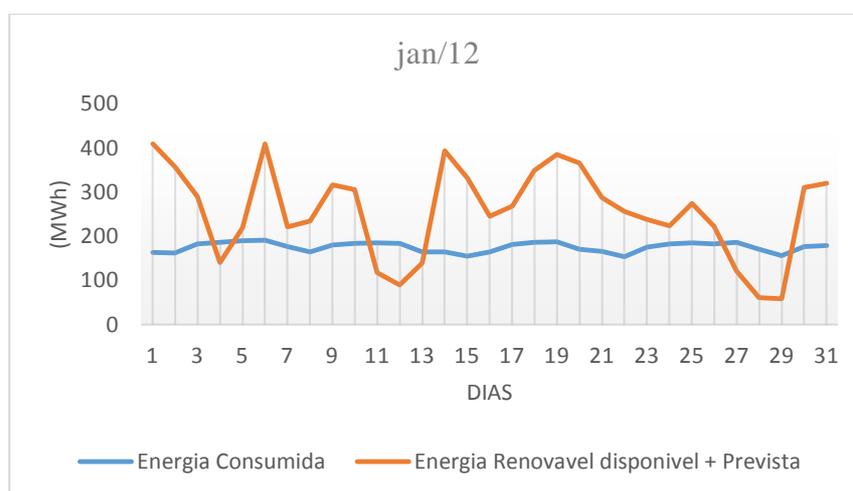


Figura 38: Variação da energia consumida e energia produzida ao longo do mês de janeiro

Para o dia 15 de janeiro de 2012, fez essa mesma comparação, e concluiu-se que praticamente toda a potência renovável produzida, dos parques instalados adicionado a potencia calculada, é sempre superior a potencia gerada nesse dia (Figura 39).

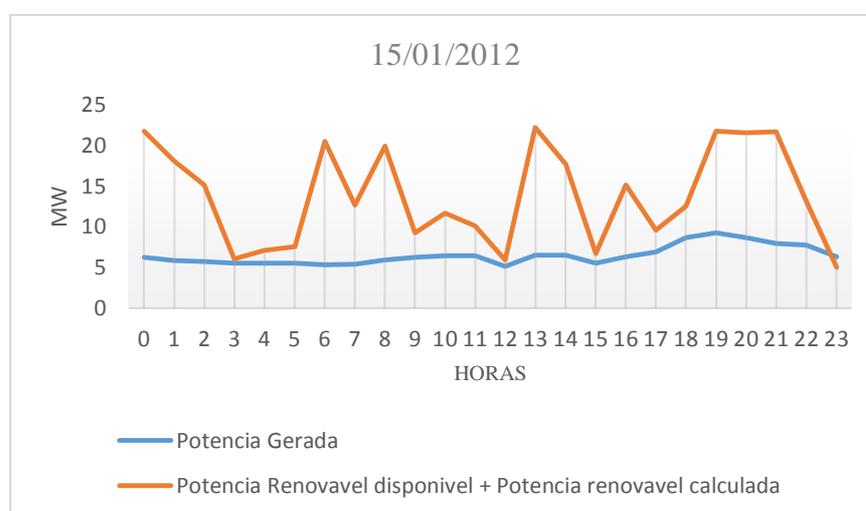


Figura 39: Variação da potência gerada e potência renovável produzida ao longo do dia 15 de janeiro de 2012

Foram caracterizadas algumas tecnologias de armazenamento de energia, nomeadamente hídras reversíveis, baterias, flyweels.

Nos serviços de equilíbrio do sistema, as hídras reversíveis são a tecnologia de armazenamento tradicionalmente utilizada, embora existam outras alternativas, nomeadamente alguns tipos de baterias.

Assim, foi avaliada a aplicação em armazenamento em larga escala utilizando baterias. Concluiu-se que as baterias ácidas de chumbo não apresentam viabilidade, as baterias de iões de lítio podem

ter alguma viabilidade para valores mais reduzidos de investimento e as baterias de sódio-enxofre são economicamente rentáveis.

Na ilha de São Vicente, recorre-se ao uso de centrais de dessalinização, para garantir o fornecimento de água potável. Este processo exige um processo energético intenso, tendo-se elevados custos na produção. Neste trabalho, sugeriu-se a utilização de fontes renováveis para o fornecimento de energia no processo de dessalinização de forma a diminuir os custos.

7.2 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros sugere-se que com dados, da velocidade do vento e da radiação solar, de muitos anos (50 anos) cria-se um modelo climatológico para gerar anos fictícios, que depois poderão ser usados para testar as condições que minimizam a intermitência entre anos e entre meses, e de forma a determinar o *mix* renovável ótimo.

Poder-se-á ainda estudar formas de aumentar a potência eólica e a potência solar na ilha de São Vicente e deste modo avaliar as possibilidades de uma ilha 100% renovável.

Referencias Bibliográficas

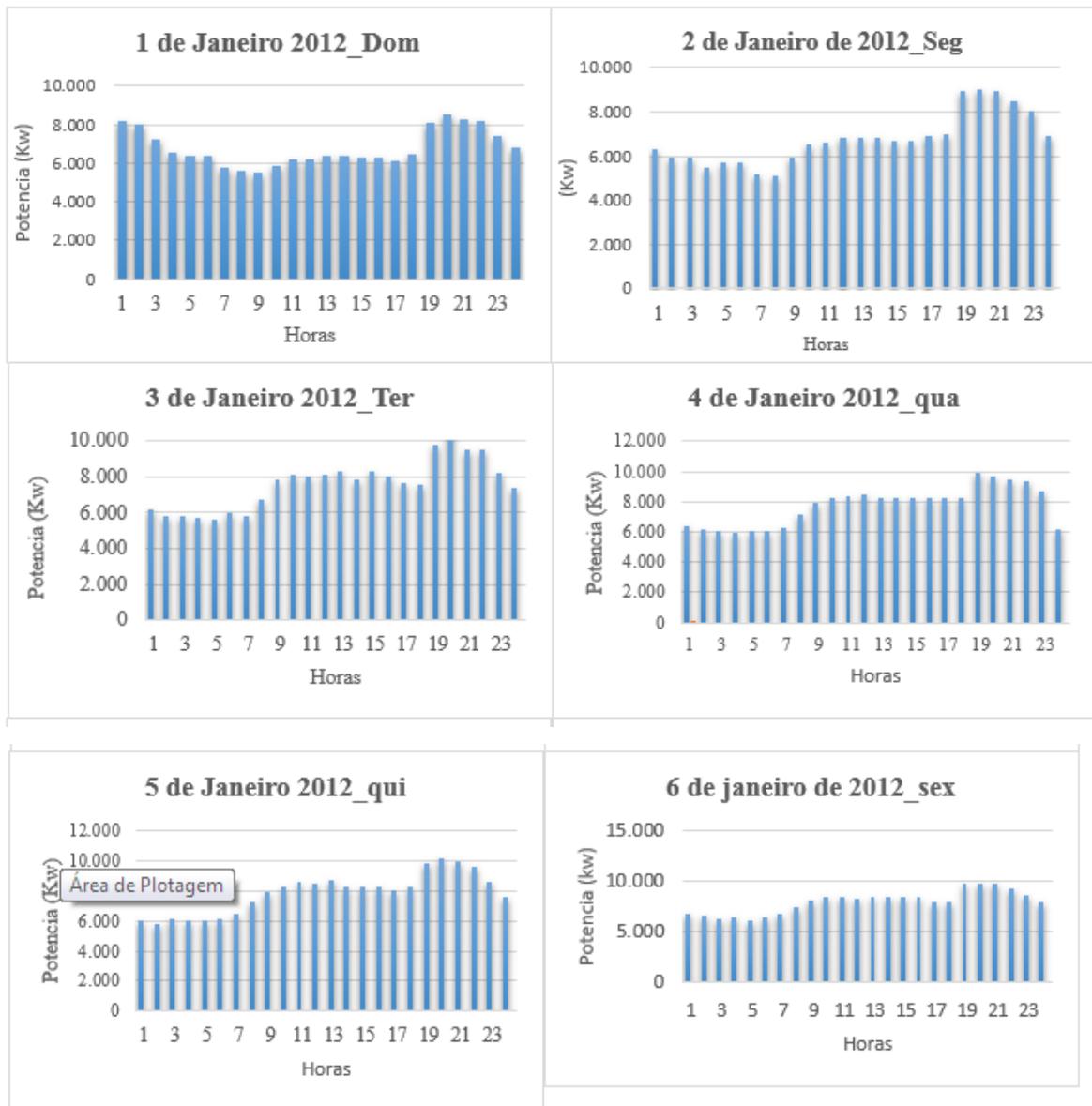
- [1] Gesto Energia, S., *Plano energético renovável de Cabo Verde*. Direção-Geral de Energia, Praia, Cabo Verde, Anexo A: Caracterização do Sector Eléctrico Actual, 2011.
- [2] ELECTRA, *Relatorios e Contas de 2012*. 2013.
- [3] Monteiro Alves, L.M., A. Lopes Costa, and M. da Graça Carvalho, *Analysis of potential for market penetration of renewable energy technologies in peripheral islands*. *Renewable energy*, 2000. **19**(1): p. 311-317.
- [4] DINIZ, A.C.G.C.M., *Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação de Cabo Verde. VI - Ilha de São Vicente*. Lisboa: Garcia de Orta, Ser. Botânica 12. IICT., 1994.
- [5] EROT, *Esquema Regional da Ilha de São Vicente. Caracterização e Diagnostico Ambiental 2012*. **Vol. II**, : p. 1-106

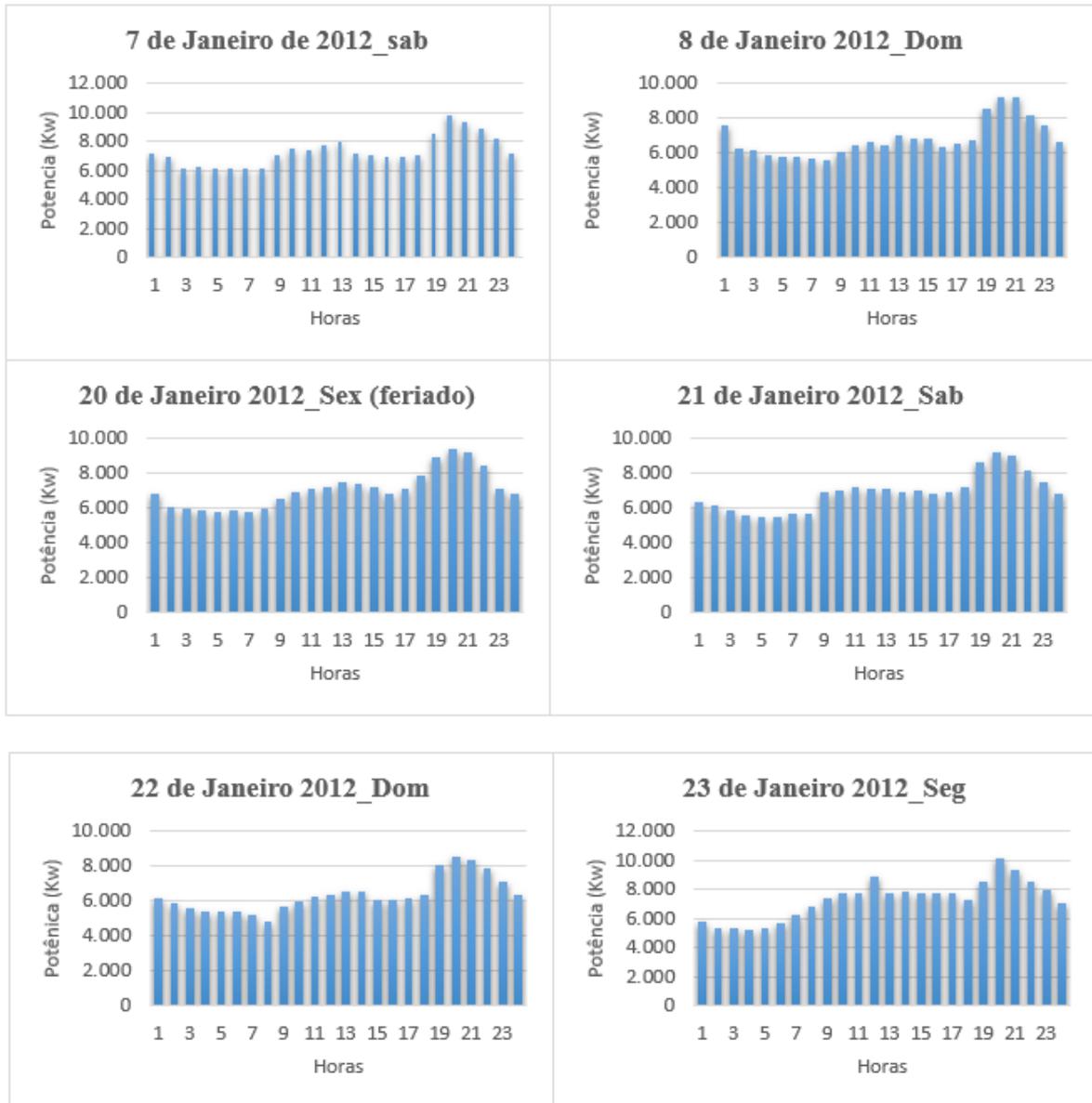
- [6] Santos, R.S.L.d. *Energia Eléctrica em Cabo Verde*. [cited 2014; Available from: <http://www.electra.cv/EnergiaCV.htm>].
- [7] IEA-ETSAP, I., *Water Desalination Using Renewable Energy*. 2012.
- [8] Economistas, F.d.C.d.U.d.L.O.d. *Energia2020*. 2010 [cited 2014; Available from: http://energia2020.fc.ul.pt/energia2020/docs/SumarioSolar_ENERGIA2020_AntonioVallera_MCBrito.pdf].
- [9] Alves, G.J., *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica nas energias renováveis: o potencial da energia solar na ilha de São Vicente-Cabo Verde*. Universidade do Porto, 2013.
- [10] Moura, P.S., *Metodologias e tecnologias para a integração em larga escala de fontes renováveis intermitentes*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 2010.
- [11] Albright, G.E., Jake Al-Hallaj, Said, *Comparison of lead acid to lithium-ion in stationary storage applications*. AllCell Technologies LLC, Chicago, USA, 2012.
- [12] Poullikkas, A., *A comparative overview of large-scale battery systems for electricity storage*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013. **27**: p. 778-788.

Anexo 1

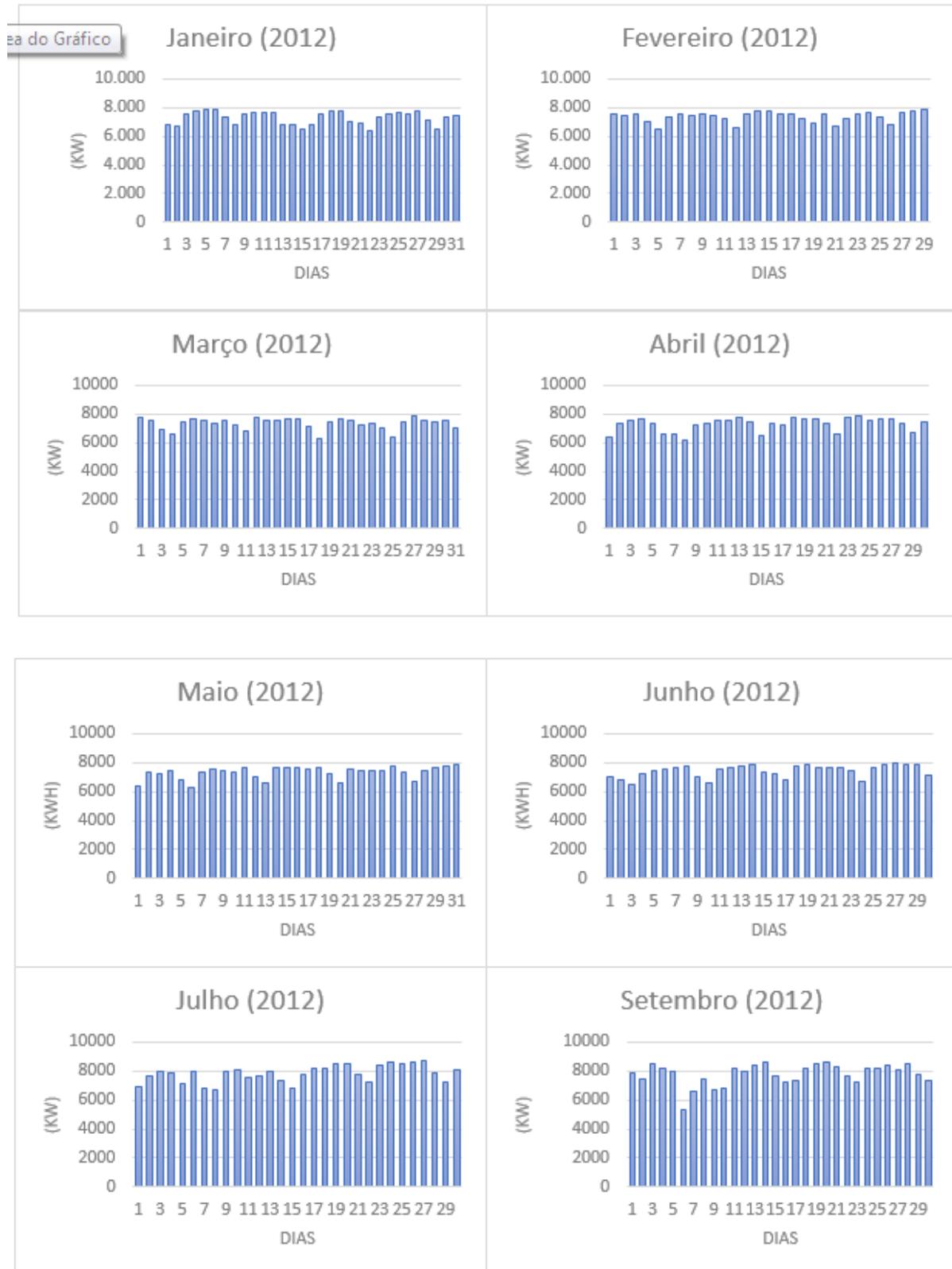
Diagrama de cargas da ilha de São Vicente

1.1 Diagrama de carga diário do mês de janeiro



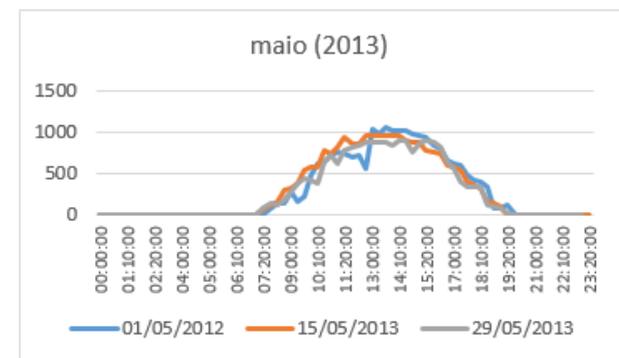
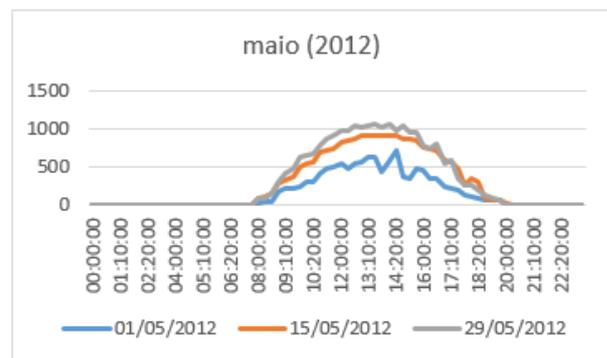
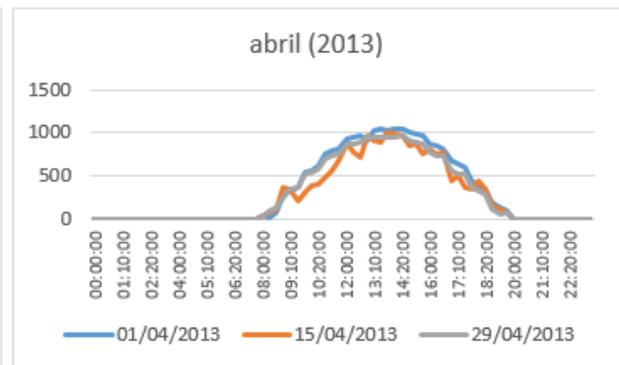
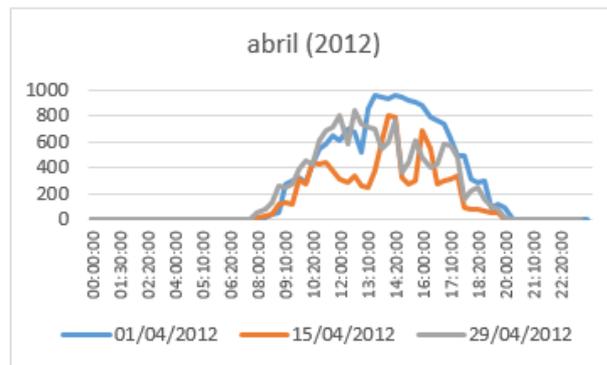
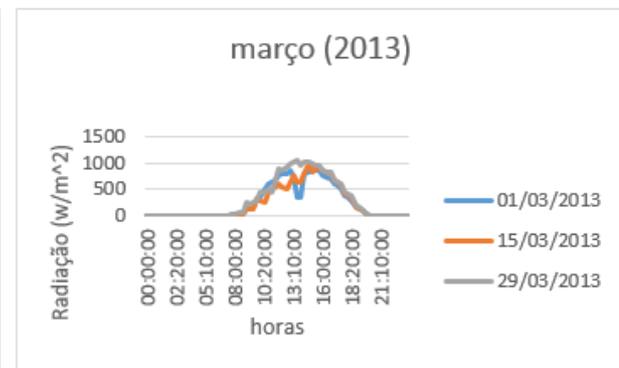
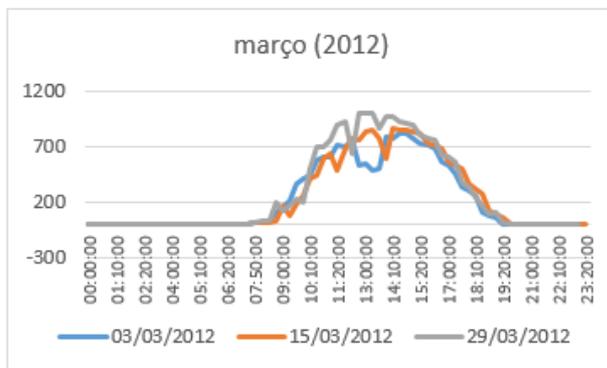
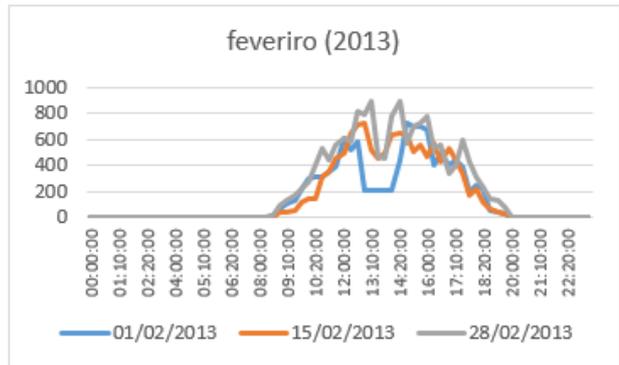
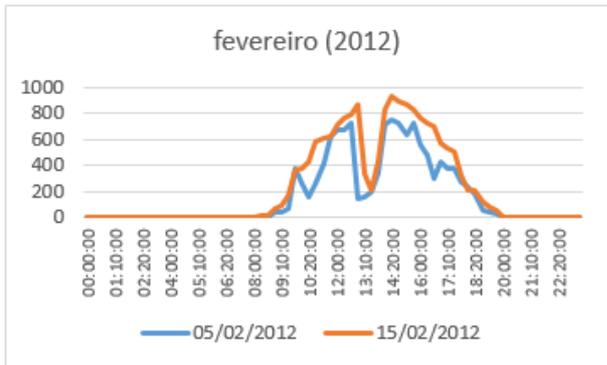


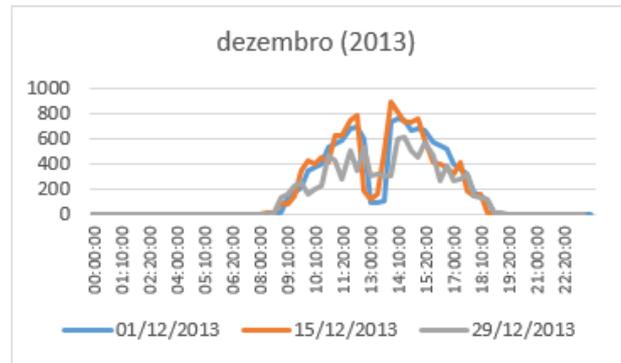
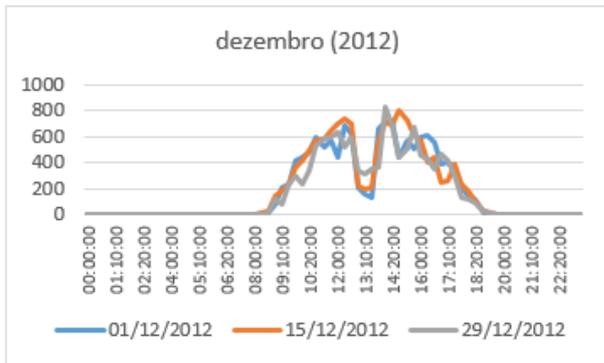
1.2 Diagrama de carga mensal



Anexo 2

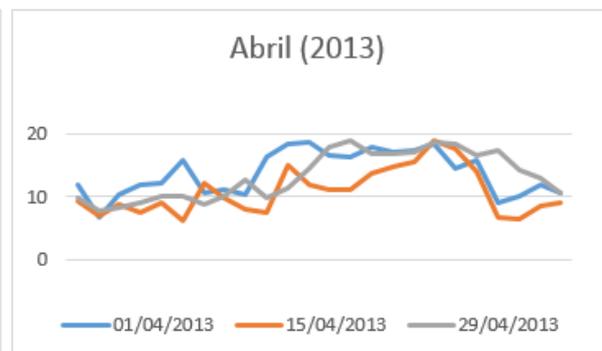
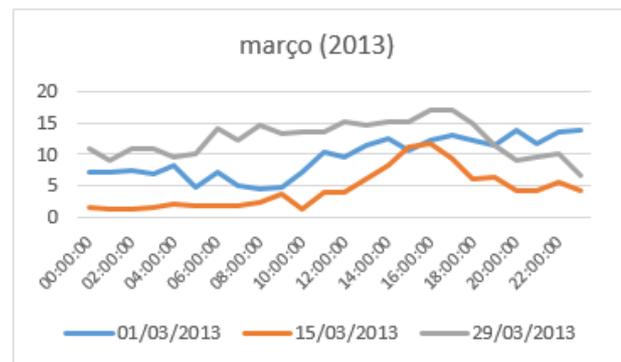
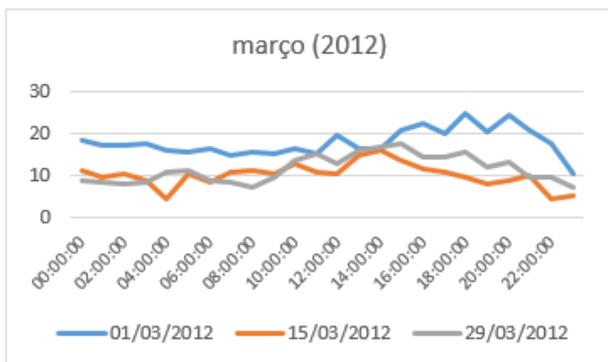
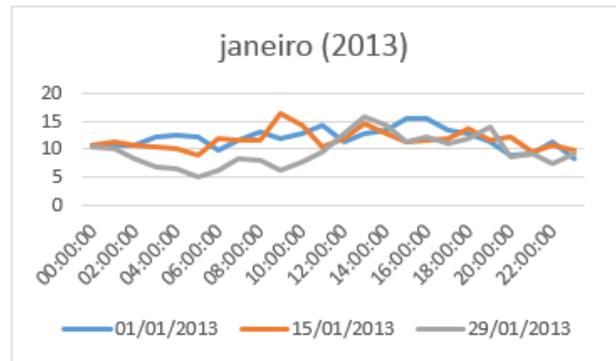
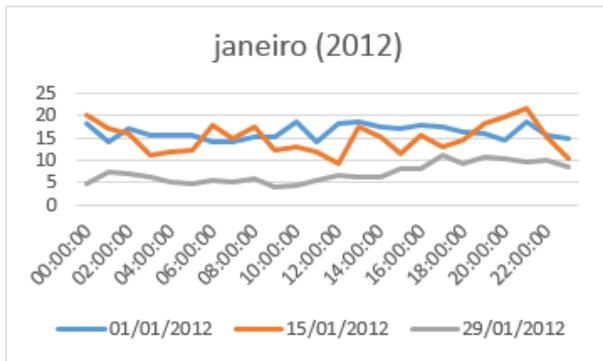
Variação diária da radiação Solar (w/m^2)

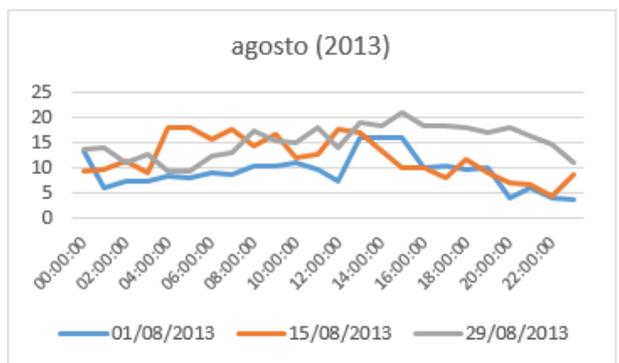
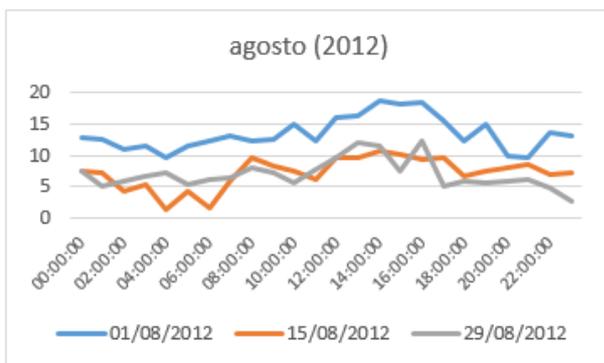
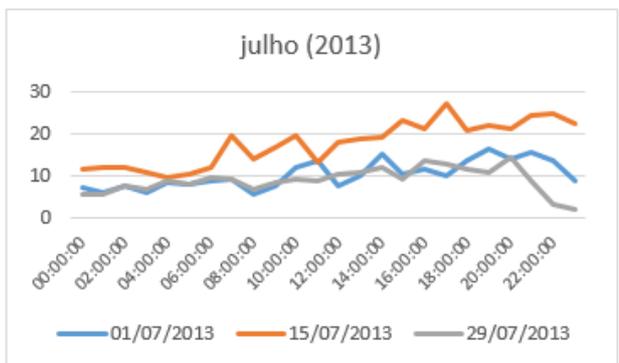
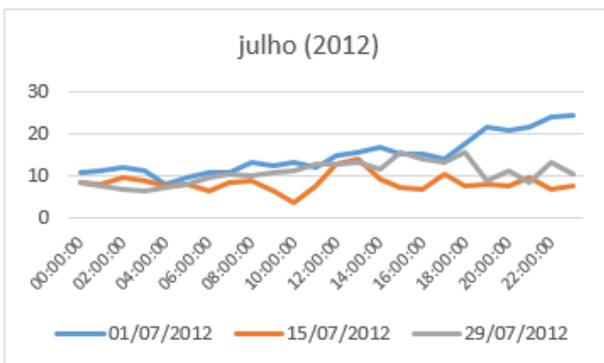
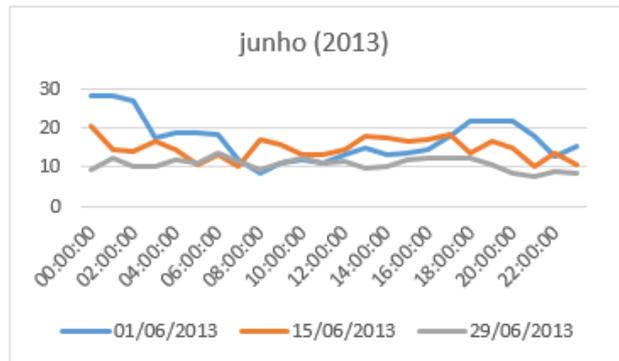
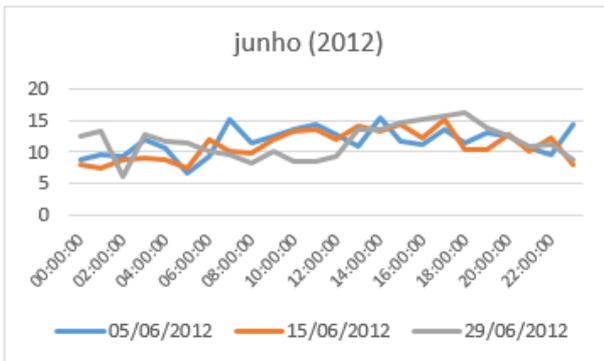
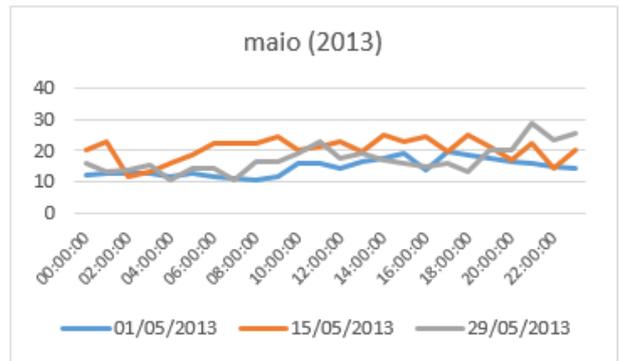
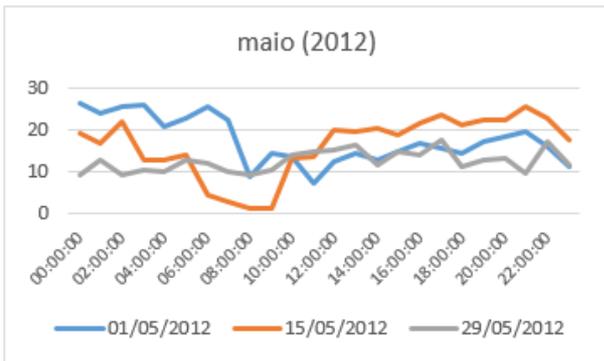


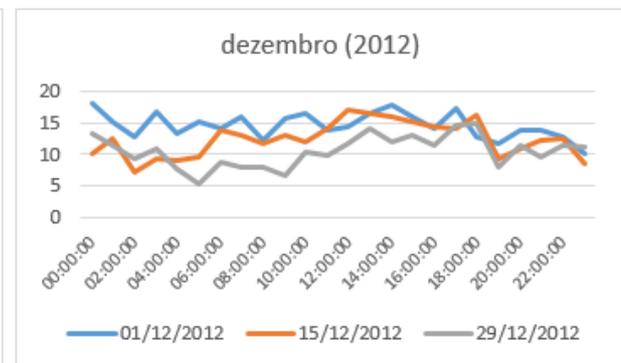
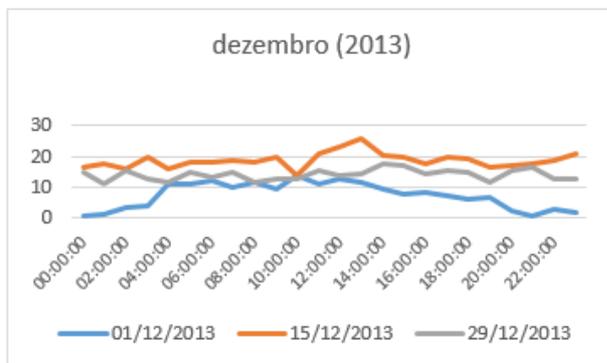
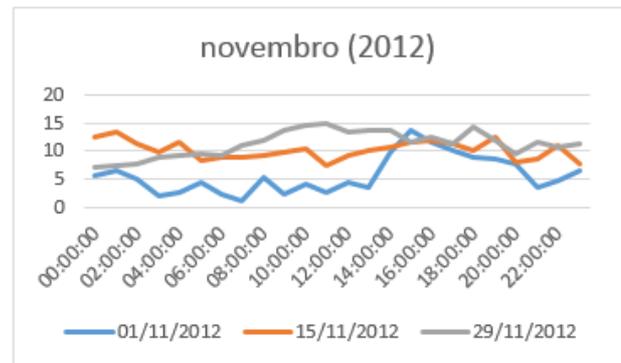
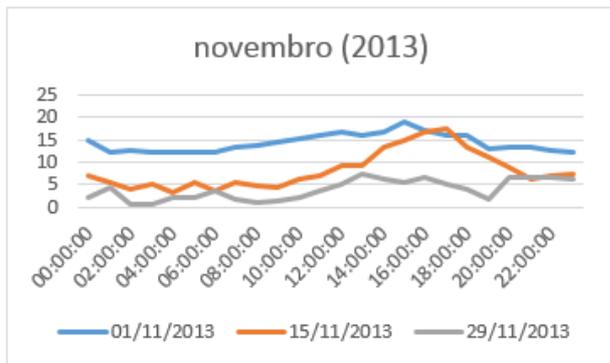
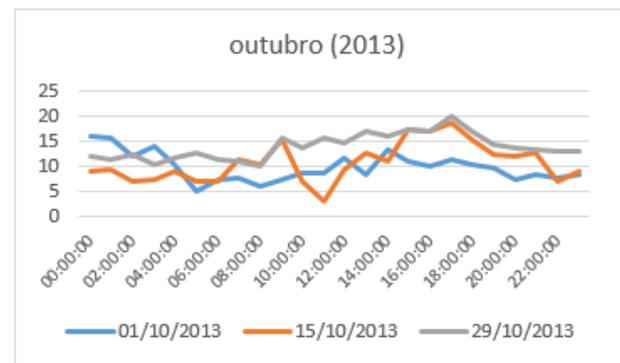
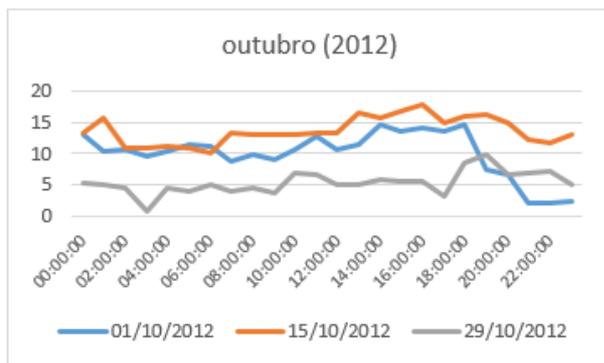
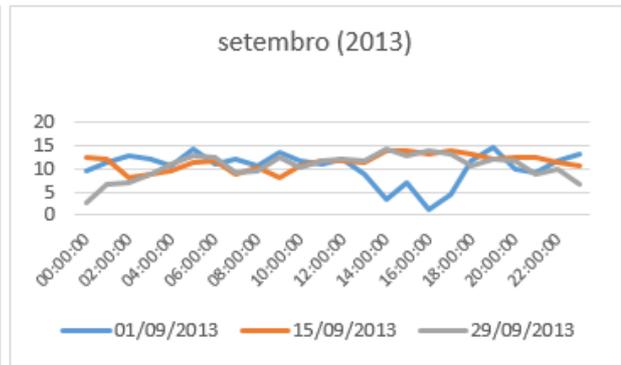
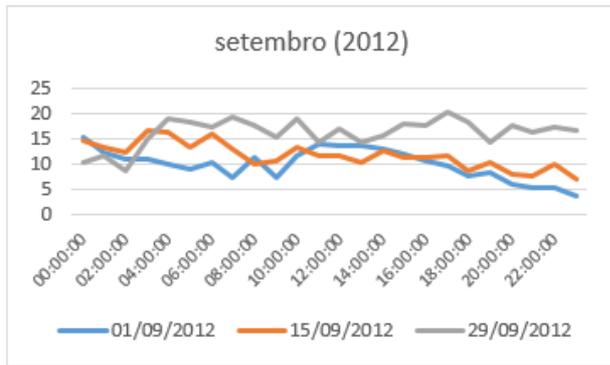


Anexo 3

Variação diária da velocidade do vento (nós)







Anexo 4

Tecnologias de armazenamento

4.1 Flywheels



