

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Otimização da Penetração de Energia Renovável na Rede Elétrica de Cabo Verde

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energias

Éder Jorge Duarte Pinto Lizardo

Orientador: Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão

Coorientador: Professor Doutor Eduardo José Solteiro Pires



Vila Real, Dezembro de 2017

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Otimização da Penetração de Energia Renovável na Rede Elétrica de Cabo Verde

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energias

Éder Jorge Duarte Pinto Lizardo

Orientador: Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão
Coorientador: Professor Doutor Eduardo José Solteiro Pires

Dissertação submetida à
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
para a obtenção do grau de MESTRE
em Engenharia de Energias,
de acordo com o disposto
no DR – I série – N.º 151, Decreto-Lei n.º 115/2013 de 7 de agosto e no
Regulamento de Estudos Conducente ao Grau de Mestre da UTAD
DR, 2.ª série - N.º 133 de 13 de julho de 2016

Resumo

Cabo Verde é um arquipélago onde se tem verificado um crescimento da população e, por consequente, o aumento da procura de energia e água. O turismo está a ser um dos grandes impulsionadores de desenvolvimento de Cabo Verde. O país não possui reservas de petróleo, nem recursos hídricos suficientes para satisfazer a procura crescente. Desta forma, o país tem adotado políticas que estimulam as energias renováveis reduzindo assim a dependência em relação ao exterior, face aos combustíveis fósseis, e por outro lado promovendo um desenvolvimento sustentável.

Numa primeira fase da dissertação apresenta-se uma revisão do estado do sector energético em Cabo Verde. Nesta parte faz-se o enquadramento, a evolução, a caracterização do parque eletroprodutor e a contextualização dos recursos renováveis, eólicos e solares. De seguida, a introdução, fala-se sobre a dessalinização e descrevem-se os tipos de tecnologias de dessalinização existentes. Adicionalmente é demonstrada a sua distribuição mundial, por tecnologia em uso e por regiões que utilizam essa tecnologia. Em seguida é ilustrada a importância que a dessalinização tem em Cabo Verde: é caracterizado o seu parque dessalinizador e posteriormente são demonstradas as combinações possíveis entre a dessalinização e as fontes de energia renováveis.

Na segunda fase, é caracterizada o estudo de caso, a ilha do Sal, o seu setor energético e o parque dessalinizador. Com as suas potencialidades, a nível de energia renovável, são apresentados os dados da energia eólica utilizados para fazer a simulação de cenários.

Esta dissertação teve como objetivo demonstrar que a energia eólica disponível que não é produzida, pode ser aproveitada na dessalinização. Para esse efeito elaborou-se um pequeno algoritmo para tratar os dados num caso de estudo e assim ilustrar como poderia funcionar o sistema de energia eólica acoplada à dessalinização, de modo a otimizar este, tendo em conta a eficiência do parque e as limitações dos fatores de carga dos dessalinizadores.

Por fim, conclui-se após a simulação de cenários, que a energia eólica disponível que não é produzida, segundo a média de vento anual a 8,9 m/s, pode ser aproveitada em até 40%. Esse valor é estabelecido pelo fator de carga dos dessalinizadores, isto é, o fator de carga máxima dos dessalinizadores é alcançado.

PALAVRAS-CHAVE: Energias Renováveis, Redes Elétricas, Energia Eólica, Dessalinização, Energia Disponível, Osmose Inversa.

Abstract

Cape Verde is an archipelago where recent population growth has been observed, and, consequently, increase in demands for energy and water. Tourism is becoming one of the great drivers of the development of Cape Verde. The country does not have neither petrol reserves nor enough water resources to satisfy the growing demand. Thus, the country has adopted policies that support the renewable energies, by reducing the external dependency regarding fossil fuels, and on the other hand, by promoting a sustainable development.

In a first stage, this work shows a review of the situation of the energy sector in Cape Verde. It also shows the framework, the evolution, the profiling of the electro production area and the contextualisation of solar and wind renewable resources. Thereafter, the introduction deals with desalinisation and describes the types of existing desalinisation technologies. Additionally, it shows its worldwide distribution, by technology in use and by regions that use that technology. Afterwards, it is illustrated the importance of the desalinisation in Cape Verde: its desalination plant is characterized and posteriorly are shown the possible combinations between desalinisation and the sources of renewable energy.

In the second stage, the study case is characterized, the island of Sal, its energy sector and the desalination plant. With its potentialities, at the level of renewable energy, it is shown the data of wind energy used for simulating the scenarios.

This dissertation is aimed at evidencing that the available wind energy that is not produced may be used for desalinization. For this purpose, it was designed a small algorithm to deal with the data in a case study and so illustrate how the system of wind energy grouped to desalinization could work in order to optimize the latter, taking into account the efficacy of the plant and the limitations of the load factors of the desalinators.

Finally, the conclusion is that, after the simulation of the scenarios, the available wind energy that is not produced, according to the annual average of the wind at 8.9 m/s, may be used until 40%. This value is established by the load factors of the desalinators, namely, the maximum load factor of the desalinators is reached.

KEY WORDS: Renewable Energy, Electrical Network, Wind Energy, Desalinization, Available Energy, Reverse Osmosis.

Agradecimentos

Na realização da presente dissertação, contei com o apoio direto ou indireto de múltiplas pessoas às quais estou profundamente grato.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão, pela sua grande disponibilidade e total apoio ao longo da realização deste trabalho, assim como também ao Professor Doutor Eduardo José Solteiro Pires.

A todos os amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis. Para não correr o risco de não enumerar algum não vou identificar ninguém, aqueles a quem este agradecimento se dirige sabê-lo-ão, desde já os meus agradecimentos.

À Minha Família, um enorme obrigada por acreditarem sempre em mim e naquilo que faço e por todos os ensinamentos de vida. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que, constantemente, me oferecem.

Por último, quero agradecer à minha mãe pelo apoio incondicional e paciência demonstrados e total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foram surgindo. A ela dedico este trabalho.

A todos o meu sincero e profundo Muito Obrigado!

Índice

Capítulo 1	1
1.1. Introdução	1
1.2. Enquadramento	1
1.3. Motivações e Objetivos.....	2
1.4. Estrutura da dissertação	3
Capítulo 2 – Energia Elétrica no Arquipélago de Cabo Verde	5
2.1. Caracterização do arquipélago	5
2.2. Sector Energético	6
2.3. Recursos Renováveis em Cabo Verde	9
Capítulo 3 - Dessalinização	19
3.1. Enquadramento	19
3.2. Dessalinização em Cabo Verde.....	24
3.3. Combinação da dessalinização com energia renovável.....	26
Capítulo 4 - Caso de Estudo	29
4.1 Caracterização	29
4.2 Sector energético	30
4.3 Dessalinização na ilha do Sal	36
4.4 Algoritmo	36
4.4.1. Dados de Energia Eólica.....	38
4.4.2. Dados da Dessalinização.....	41
4.4.3. Projeção de Cenários.....	43
4.5 Discussão de Resultados	46
Capítulo 5 – Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro.....	55
5.1. Conclusões.....	55
5.2. Trabalhos futuros.....	56
Referências	59

Índice de Figuras

Figura 1 - Arquipélago de Cabo Verde. Fonte (CIA)	5
Figura 2 - Mapa de velocidade média do vento. Fonte (Gesto Energia S.A., 2011)	9
Figura 3 - Parque eólico da Wind Electric em S. Antão	11
Figura 4 - Comparação entre energia produzida e energia disponível. Fonte (Relatório e Contas, 2015)	12
Figura 5 – Energia Disponível, mas não Produzida a nível Nacional, ano 2015.	13
Figura 6 - Radiação global nas ilhas de Cabo Verde. Fonte (Gesto Energia S.A., 2011)	15
Figura 7 Parque Solar na ilha do Sal. Fonte (Costa, 2015).....	16
Figura 8 - Parque Solar na ilha de Santiago. Fonte (Costa, 2015).....	17
Figura 9 - Distribuição das centrais de dessalinização no mundo. Fonte (Foundation for Water Research, 2015).....	19
Figura 10 - Esquema do processo de evaporação Multi-Flash.	21
Figura 11 - Esquema do Processo de Destilação Múltiplo Efeito	21
Figura 12 - Esquema do Processo de destilação por Eletrodiálise	22
Figura 13 - Esquema do Processo de destilação por Osmose Inversa.....	23
Figura 14 - Distribuição mundial das tecnologias de dessalinização. Fonte (IRENA, 2015)	24
Figura 15 - Arquipélago de Cabo Verde - Ilha do Sal. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2015)	29
Figura 16 - Central elétrica da Palmeira. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016).....	31
Figura 17 - Central fotovoltaica de Santa Maria. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)	32
Figura 18 - Central elétrica de Águas de Ponta Preta. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)	32
Figura 19 - Parque eólico de Lajedo de Ribeira de Tarrafe. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016).....	33
Figura 20 - Gráficos com dados do vento da ilha do Sal. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)	33
Figura 21 - Esquema do Sistema Elétrico do Sal. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)	34
Figura 22 - Mix de geração elétrico na ilha do Sal em 2015	35
Figura 23 - Fluxograma do Algoritmo	37
Figura 24 - Simbologia	37
Figura 25 - Curva de potencia das Turbinas V850.....	39
Figura 26 - Energia Disponível não Produzida na ilha do Sal (MWh).....	41

Figura 27 - Quantidade de Energia Disponível utilizada.	46
Figura 28 - Adicional de água dessalinizada.....	47
Figura 29 - Fator de Carga dos Dessalinizadores.....	48
Figura 30 -Emissões de CO ₂	49
Figura 31 - Custo da Energia para dessalinização.....	50

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Consumo de Eletricidade em Cabo Verde de 2010 a 2015.....	7
Tabela 2 - Zonas desenvolvimento de recurso eólico. Fonte (Gesto Energia S.A., 2011)	10
Tabela 3 - Contribuição da Wind Electric na produção de eletricidade na ilha de S. Antão	11
Tabela 4 - Contribuição anual da Cabeólica na produção de eletricidade em Cabo Verde.....	12
Tabela 5 - Dados Energia dos quatro parques, ano 2015.....	13
Tabela 6 - Dados sobre os quatros parques eólicos da Cabeólica. Fonte (Relatorio e Contas, 2015)	14
Tabela 7 – Zonas de desenvolvimento de Recurso Solar. Fonte (Conselho de Minisros, Resolução nº 7/2012)	15
Tabela 8 - Distinção das Tecnologias de Dessalinização	20
Tabela 9 - Parque dessalinizador, ano 2015	25
Tabela 10 - Parâmetros que influenciam o preço de água dessalinizada. (WaterReuse Association DesalinationCommitte, 2017).....	25
Tabela 11 - Combinações possíveis de Fontes Renováveis com Dessalinização. Fonte (Al-Karaghoulî, Ali.; Kazamerski, L, 2011).....	26
Tabela 12 - Evolução da população, dados comparativos dos censos de 2000 e 2010. Fonte: INE	30
Tabela 13 - Evolução da população, dados comparativos 2011 a 2015. Anuário Cabo Verde. Fonte: INE	30
Tabela 14 - Empresas produtoras e distribuidoras de eletricidade na ilha do Sal	31
Tabela 15 - Geração de energia elétrica na ilha do Sal em 2015. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016).....	35
Tabela 16 – Unidades dessalinização em operação no ano 2015	36
Tabela 17 - Dados do Parque eólico da Cabeólica na ilha do Sal (2015)	40
Tabela 18 - Parque dessalinizador da Electra	42
Tabela 19 – Cenário Base, ano 2015	43
Tabela 20 - Projeção de Cenários	44
Tabela 21 - Emissões de CO ₂	45
Tabela 22 - Preço de 1kWh em função da origem energética no ano 2015. Fonte (ELECTRA - Empresa de Eletricidade e Água SARL, 2015)	50

Listas de Abreviaturas e Símbolos

AEB - Águas e Energia da Boavista

APP - Águas de Ponta Preta

APN - Águas de Porto Novo

CIA - Central Intelligence Agency

Electra - Empresa de Eletricidade e Água, SARL

ED – Energia Disponível

EP - Energia Produzida

FC - Fator de carga dos dessalinizadores

IFC - International Finance Corporation

IJ - Infrastructure Journal

MED - Destilação de Múltiplo Efeito

MSF - Evaporação Multi-Flash

OMS - Organização Mundial da Saúde

PESER - Plano Estratégico Sectorial das Energias Renováveis

PDER - Plano Diretor de Energias Renováveis

ppm - Partes por milhão

PPP - Parceria Público-Privada

RO - Osmose Inversa

RISO - Riso National Laboratory

ZDER - Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis

Capítulo 1

1.1. Introdução

O presente documento visa apresentar o trabalho efetuado no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro cujo tema tem como título Otimização da Taxa de Penetração de Energia Renovável nas Redes Elétricas de Cabo Verde.

Cabo Verde é extremamente dependente de energia primária onde a importação de combustíveis consome elevados recursos financeiros que podiam ser investidos noutras áreas. A necessidade de energia atinge outra dimensão quando temos em conta que a água consumida no país é proveniente do processo de dessalinização, processo esse que consome grande quantidade de energia (processos térmicos).

O país possui condições para produzir energia renovável em grande quantidade, sendo a energia eólica aquela que mais tem sido aproveitada. No entanto, o aumento da produção energia eólica coloca novos constrangimentos em termos de estabilidade do sistema.

1.2. Enquadramento

Nos últimos anos, Cabo Verde tem feito um investimento considerável em Energias Renováveis isso tem levado ao aumento dos problemas resultantes da elevada penetração de energia proveniente de fontes renováveis. Este facto deve-se às redes elétricas de Cabo Verde em algumas ilhas serem caracterizadas por possuírem pouca carga de tal modo que não é possível injetar na rede elétrica toda a energia capaz de ser produzida pelas fontes renováveis.

O aumento da integração de energia eólica nas redes elétricas de Cabo Verde, e o recurso cada vez maior a fontes renováveis para a produção elétrica resulta de um contínuo interesse social, político e económico, com vista a diminuir a dependência do país face aos combustíveis fósseis e para proporcionar uma melhoria na balança de pagamentos através da diminuição das importações de energia como também permitir, por um lado, a contenção da emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa.

A escassez de água potável em Cabo Verde foi sempre um dos maiores entraves ao desenvolvimento socioeconómico do país. Tal situação resulta das condições climáticas que se verificam no país, ou seja, fraca pluviosidade. Paralelamente a essa situação, o aumento da população, o crescimento urbano e o aumento das necessidades de água para irrigação, turismo, indústria e outros, causa situações de *stress* hídrico, sendo que a tendência é para o seu agravamento no futuro.

Em Portugal, Irlanda e Dinamarca há uma elevada taxa de penetração de energia eólica no sistema sendo que, para os dois primeiros, com aproveitamento hidroelétrico, e para o caso da Dinamarca a sua rede está interligada com os países vizinhos.

Cabo Verde não tem como seguir o modelo português ou irlandês na construção de aproveitamentos Hidroelétricos pois, o país não tem rios. Se optasse pelo modelo dinamarquês também não podia, pois, o arquipélago encontra-se muito afastado da costa africana.

1.3. Motivações e Objetivos

Cabo Verde é um país pobre no que toca à disponibilidade de combustíveis fósseis para a produção de energia em centrais convencionais, porém, o país tem um enorme potencial, que deve ser explorado, no que respeita à disponibilidade de meios para produção de energia em centrais de energia renovável.

Consciente das suas potencialidades no sector renovável, no ano 2009, o país definiu uma meta que em 2015 pelo menos 25% da energia elétrica consumida no país fosse proveniente de fontes renováveis. O objetivo foi alcançado com a construção de duas centrais solares e cinco parques eólicos. Neste momento existe uma meta muito mais ambiciosa em que até 2020 Cabo Verde esteja no top 10 dos países com maior taxa de penetração de Energias Renováveis.

Com esta dissertação, pretende-se estudar, uma nova configuração do sistema elétrico de modo a utilizar a dessalinização como uma estratégia para absorver mais energia eólica disponível que não está a ser produzida. Existem dois objetivos específicos:

- Elaboração de um algoritmo que permita integrar todas as variáveis do sistema e seja capaz de melhor aproveitar o excedente da energia eólica com a dessalinização.
- Outro objetivo é criar cenários de operação, no nosso caso estudo a ilha do Sal, de modo a ver os reais impactos desta estratégia Eólica-Dessalinização.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em 5 capítulos. O presente Capítulo faz uma introdução ao tema em questão, um enquadramento de Cabo Verde no que toca à energia renovável e são apresentados os dados objetivos desta dissertação.

No Capítulo 2 é feita a caracterização do Arquipélago de Cabo Verde, no que toca ao sector energético, ilustração do potencial dos recursos renováveis como também os investimentos feitos na área das energias renováveis.

No Capítulo 3 introduzem-se as tecnologias de dessalinização, a distribuição dessa tecnologia no mundo. De seguida caracteriza-se o parque dessalinizador de Cabo Verde. Também são demonstradas, nesse capítulo, as combinações possíveis para a combinação de energia renovável com a tecnologia de dessalinização. Por último é ilustrada a importância que a dessalinização pode ter no aproveitamento da energia eólica disponível, mas não produzida.

No Capítulo 4 caracteriza-se o caso estudo, ilha do Sal, no que toca ao potencial de recurso renovável, caracterização do parque electroprodutor e as unidades de dessalinização. Adicionalmente é quantificada a energia eólica disponível, mas não produzida, como também os cenários onde essa mesma energia é utilizada para dessalinização.

Finalmente, no Capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões desta dissertação e as perspectivas para um trabalho futuro.

Capítulo 2 – Energia Elétrica no Arquipélago de Cabo Verde

2.1. Caracterização do arquipélago

Cabo Verde é um arquipélago constituído por dez ilhas, sendo nove habitadas, e oito ilhéus, com uma superfície total de 4 033Km² e situa-se a 450km da Costa Senegalesa, entre os 14°48' e 17°12' de latitude Norte e 22°41' e 25°22' de longitude Oeste, conforme ilustrado no mapa da figura 1.



Figura 1 - Arquipélago de Cabo Verde. Fonte (CIA)

O clima de Cabo Verde é do tipo árido ou semiárido, caracterizado por um longo período de estação seca (8 a 9 meses) e uma curta estação chuvosa, com temperaturas moderadas devido à influência marítima, com valores médios por volta dos 25°C. As temperaturas médias mensais são mais elevadas em setembro (26,7°C) e as mais baixas registam-se em janeiro e fevereiro (18,4°C).

A população de Cabo Verde foi estimada em 524 833 habitantes, com base no Anuário de 2015. Entre 2010 e 2015, a taxa média de crescimento da população foi de 5% ao ano. (Instituto Nacional de Estatística, 2015)

A economia do país é orientada para a prestação de serviços, sendo o turismo neste momento o grande impulsionador desta. O país possui quatro aeroportos internacionais, nas ilhas do Sal, Santiago, Boa Vista e São Vicente. Esses permitem que o sector do turismo se desenvolva a cada ano que passa.

2.2. Sector Energético

2.2.1 Enquadramento

Sendo dez ilhas onde nove são habitadas o país tem que replicar as mesmas infraestruturas para cada ilha inviabilizando, assim a redução de custos através de economia de escala.

Ter disponibilidade contínua de energia a baixo custo é fundamental para o desenvolvimento de qualquer país. Cabo Verde é extremamente dependente de energia primária e a importação de combustíveis consome elevados recursos financeiros que podiam ser investidos noutras áreas.

A necessidade de energia atinge outra dimensão quando temos em conta que a água consumida no país é proveniente do processo de dessalinização, processo esse que consome grande quantidade de energia (processos térmicos).

O sector energético é caracterizado pelo consumo de combustíveis fósseis (derivados do petróleo), biomassa (lenha) e utilização de energia renováveis nomeadamente a energia eólica e solar. Todo o combustível fóssil consumido no país, à exceção da lenha, é proveniente da importação, uma vez que o país não possui fontes de hidrocarbonetos.

2.2.2 Evolução

O sector energético cabo-verdiano no que toca à energia elétrica e à produção de água começou com um único produtor, a Electra, SARL ficando responsável pela produção, distribuição e comercialização da água e energia elétrica.

A empresa foi criada em 17 abril de 1982 e permaneceu como produtor em regime de exclusividade até 2006, nessa data foi alterada a legislação de modo a permitir a entrada de outras empresas produtoras de energia elétrica.

Com essa abertura as primeiras empresas a começarem a operar, como produtores independentes, foram a APP (Águas de Ponte Preta) na ilha do Sal e a AEB (Águas e Energia da Boavista).

Em 2011, entraram em operação duas empresas novas produtoras de energia elétrica, Cabeólica e a Wind Electric. A Wind Electric opera um parque eólico na ilha de Santo Antão, e a Cabeólica opera quatro parques eólicos, em São Vicente, Sal, Boavista e Santiago.

2.2.3 Caracterização do parque electroprodutor

A produção de eletricidade tem vindo a ser alvo de avultados investimentos e reestruturação com reforço de potência e integração de tecnologias de conversão de fontes de energias renováveis.

A potência instalada vem crescendo a um ritmo acelerado, tendo-se verificado um salto de 109,2MW em 2011 para 153,4MW em 2015. Esta potência inclui 26MW de aerogeradores e 7,5MW de Painéis Fotovoltaicos.

A distribuição de energia é efetuada, na maioria das ilhas, através de uma rede de média tensão de 20kV, com um total de 297,6km de linhas aéreas e 538,7km de linhas subterrâneas. Santiago é a única ilha com 43km de linha de 60kV.

O consumo final de eletricidade em Cabo Verde tem tido, historicamente, um crescimento rápido - taxa média anual acima de 8,0%. Contudo, no ano de 2011, o crescimento teve uma quebra significativa, ficando-se por taxas abaixo dos 5,0%. Em termos absolutos, o consumo de eletricidade cresceu de 269,9GWh, em 2010, para 333,8GWh, em 2015, ver tabela 1. (ELECTRA - Empresa de Eletricidade e Água SARL, 2015).

Tabela 1 - Consumo de Eletricidade em Cabo Verde de 2010 a 2015.

Ano	Consumo Final de Eletricidade (GWh)
2010	269,9
2011	283,6
2012	291,5
2013	307,0
2014	321,0
2015	333,8

2.2.4. Enquadramento Jurídico

A visão do Governo de Cabo Verde para o setor energético, expressa no Documento de Política Energética de Cabo Verde é “Construir um setor energético seguro, eficiente, sustentável e sem dependência de combustível fóssil”.

Esta visão está assente em quatro pilares fundamentais:

- Segurança Energética e redução da dependência das importações – Garantir a redução da dependência das importações de energia e facilitar o acesso contínuo ao fornecimento de energia.
- Aposta nas Energias Renováveis – Investir e adotar tecnologias de energias renováveis e alternativas, com a consequente redução da dependência da importação de combustíveis.
- Sustentabilidade – Garantir a sustentabilidade do setor energético do ponto de vista ambiental, sociopolítico e económico.
- Eficiência – Garantir um sistema de fornecimento, distribuição e consumo de energia adequado e eficiente em todo o país.

O decreto-lei n.º 1/2011, de 3 de janeiro veio criar um regime de licenciamento e exercício de atividade específico e adaptado às energias renováveis. O decreto, para além de enquadrar questões mais técnicas, estabelece um quadro de incentivos ao investimento, incentivos fiscais e incentivos aduaneiros. Adicionalmente também define o tratamento especial para a microgeração: a isenção de estudo de impacto ambiental e benefícios fiscais:

O diploma previa a elaboração de um Plano Diretor de Energias Renováveis (PDER) a ser revisto de cinco em cinco anos, a elaboração de um Plano Estratégico Setorial das Energias Renováveis (PESER) e a definição de Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER). O PDER foi elaborado e aprovado em 2011. O PESER foi aprovado por Resolução do Conselho de Ministros nº 7/2012, de 9 de dezembro.

Os artigos 13º e 14º do decreto-lei nº1/2011, relativos aos benefícios fiscais e aduaneiros, foram revogados e atualizados com um novo código de benefícios fiscais contido na Lei nº26/VIII/2013.

O decreto-lei nº 18/2014 veio alterar o decreto-Lei n.º 1/2011 no sentido de permitir um maior envolvimento da Agência de Regulação Económica nos processos de decisão, em parceria e colaboração com a Direção Geral de Energia.

2.3. Recursos Renováveis em Cabo Verde

Cabo Verde tem um potencial de 3 000 MW de energias renováveis, tendo sido identificados mais de 500MW de projetos concretos com custos inferiores aos dos combustíveis fósseis. Dos estudos realizados, concluiu-se que em Cabo Verde o recurso renovável mais abundante é o Sol, mas é o Vento o recurso que apresenta maiores vantagens económicas (DGE - Direção Geral de Energia, 2015).

A caracterização dos recursos renováveis vai focar-se nos recursos eólico e o solar por serem recursos já explorados em Cabo Verde.

2.3.1. Recurso Eólico

O potencial eólico do arquipélago de Cabo Verde foi caracterizado pelo Riso National Laboratory (RISO), com recurso a uma metodologia KAMM/WAsP, tendo sido realizadas medições de recurso nos seguintes locais: Selada do Flamengo e Selada de São Pedro na ilha de São Vicente, Monte de São Filipe na ilha de Santiago, Palmeira, na ilha do Sal e Sal-Rei, na ilha da Boavista. A figura 2 representa o mapeamento do recurso eólico no arquipélago. (DGE - Direção Geral de Energia, 2015).

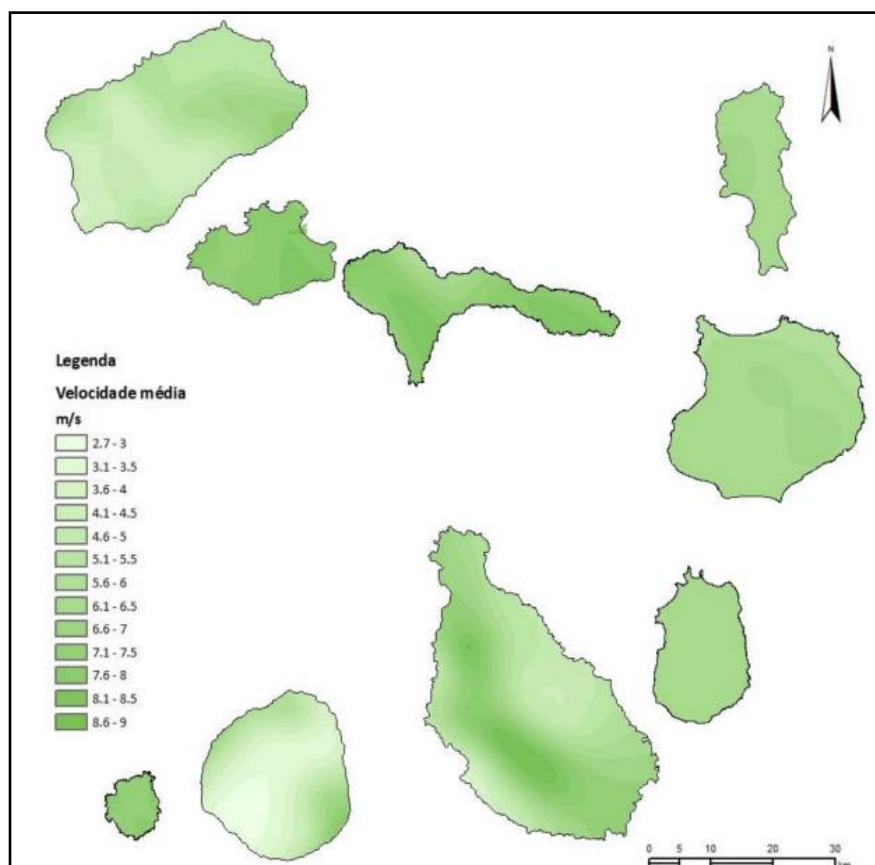


Figura 2 - Mapa de velocidade média do vento. Fonte (Gesto Energia S.A., 2011)

O relatório do RISO apresenta dados sobre a sazonalidade e a orientação predominante do recurso eólico em Cabo Verde.

No que respeita à sazonalidade, verifica-se uma clara assimetria anual, com dois períodos distintos:

- a) De janeiro a junho registam-se velocidades médias elevadas de vento;
- b) De julho a dezembro, regista-se um decréscimo significativo das velocidades de vento.

Em relação à orientação, 90% dos ventos em Cabo Verde têm a direção NE (Gesto Energia S.A., 2011).

A energia eólica pode ser considerada uma das mais promissoras fontes naturais de energia para Cabo Verde, conclusões apresentadas no Plano Estratégico Sectorial das Energias Renováveis (PESER), onde estão estabelecidas as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER). As ZDER identificadas - ver tabela 2 - apresentam uma capacidade para a instalação de uma potência de aproximadamente 285 MW. (Conselho de Minisros, Resolução nº 7/2012)

Tabela 2 - Zonas desenvolvimento de recurso eólico. Fonte (Gesto Energia S.A., 2011)

Ilha	ZDER	Projeto	Potência (MW)	Área da ZDER (km²)
Santiago	ZDER.ST.1	Terras Altas	96,9	36,31
	ZDER.ST.2	Praia Baixo	6,8	0,52
	ZDER.ST.3	Monte da Chaminé	5,95	0,43
Sal	ZDER.SL.1	Cascanhal	45,9	20,85
Fogo	ZDER.FG.1	Cova Figueira	17,85	2,91
	ZDER.FG.2	Monte Ledo	1,7	0,04
S. Antão	ZDER.SA.1	Lombo da Torre	11,05	1,05
	ZDER.SA.2	João Daninha	11,05	0,64
	ZDER.SA.3	Galheteiro	12,75	1,92
S. Vicente	ZDER.SV.1	João D'Évora	10,2	0,64
	ZDER.SV.2	Areia Branca	7,65	0,53
	ZDER.SV.3	Pé de Verde	2,55	0,12
S. Nicolau	ZDER.SN1	Jalunga	14,45	3,16
Boavista	ZDER.BV1	Picos da Boavista	20,4	13,67
Maio	ZDER.MA.1	Batalha	14,45	1,72
Brava	ZDER.BR1	Furna	5,95	0,37

Empresas que operam com Parques Eólicos em Cabo Verde:

2.3.1.1. WIND ELECTRIC

A Wind Electric foi o primeiro produtor independente a operar um parque eólico na ilha de Santo Antão. O parque está em operação desde 2011 e é equipado com duas turbinas eólicas, marca “Micon”, de 30 metros de altura, três pás de quatro metros de comprimento, sendo a potência nominal das turbinas de 250kW cada. Na figura 3 é possível ver as duas turbinas.



Figura 3 - Parque eólico da Wind Electric em S. Antão

Tendo em conta os relatórios anuais da Electra, foi elaborada a tabela 3. A WIND ELETRIC, sendo uma empresa 100% privada e de capital cabo-verdiano, tem conseguido contribuir de uma forma significativa para a diminuição do consumo de combustíveis fósseis e ao longo dos anos de operação tem tido uma penetração média de energia eólica na rede elétrica da ilha de S. Antão, a rondar os 13,96%. (Ver tabela 3).

Tabela 3 - Contribuição da Wind Electric na produção de eletricidade na ilha de S. Antão

Ano	Contribuição anual (%)
2011	13,8
2012	16,4
2013	12,2
2014	14,8
2015	12,6

2.3.1.2. Cabeólica

A Cabeólica nasceu de uma Parceria Público-Privada (PPP) estabelecida em 2008 entre a Infraco Africa Limited, uma empresa de desenvolvimento de infraestruturas com sede no Reino Unido, o Governo de Cabo Verde e a Electra.

A PPP opera em quatro parques eólicos em Cabo Verde, com uma capacidade total instalada de 25,5MW, distribuídos pelas ilhas de Santiago (9,35MW), São Vicente (5,95MW), Sal (7,65MW) e Boa Vista (2,55MW) num total de 30 turbinas eólicas V52-850kW.

De acordo com os relatórios anuais apresentados pela Cabeólica e a Electra foi elaborada a tabela 4, onde está representada a contribuição dos quatro parques na produção anual de energia elétrica do país.

Tabela 4 - Contribuição anual da Cabeólica na produção de eletricidade em Cabo Verde.

Ano	Contribuição anual (%)
2012	20,6
2013	24,5
2014	25,2
2015	23,1

É de se salientar que essas taxas de penetração anuais poderiam ser ainda melhores se não houvesse limitações de penetração na rede, devido aos problemas associados a um elevado nível de energia eólica em redes pequenas.

Os dados que se seguem- ver figura 4 - foram obtidos a partir do relatório da empresa Cabeólica. São valores referentes à energia disponível e à energia produzida nos quatro parques da empresa, no ano de 2015.

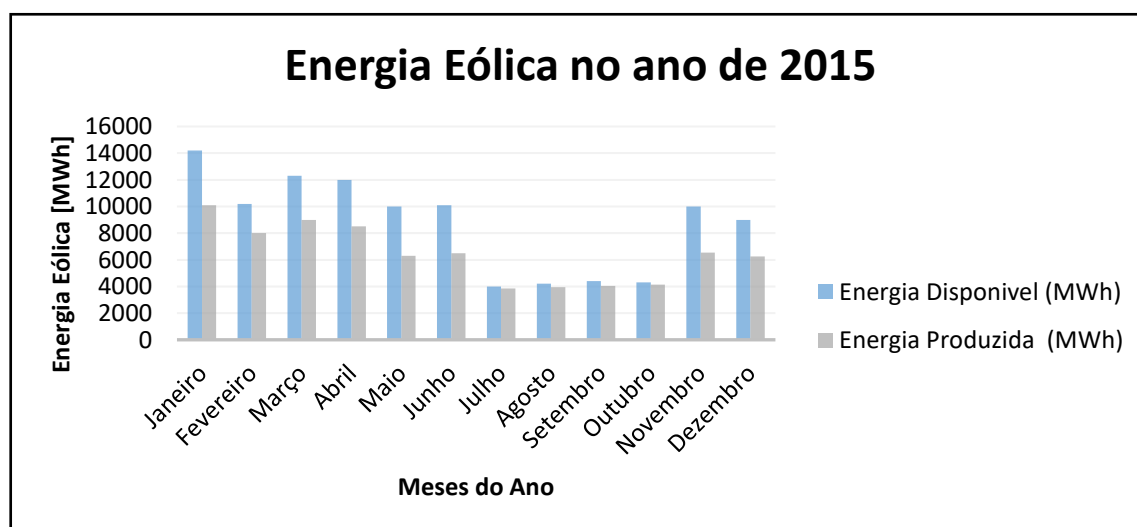


Figura 4 - Comparação entre energia produzida e energia disponível. Fonte (Relatorio e Contas, 2015)

Pode-se observar, pela figura 4, que de julho a outubro, a energia disponível é praticamente toda produzida, enquanto nos restantes meses a energia disponível apresenta uma diferença considerável em relação à energia produzida.

A figura 5 apresenta dados dos quatro parques da Cabeólica. São os parques das ilhas de São Vicente e do Sal que mais contribuem para a estatística de energia disponível, mas não produzida, isto é, nesses dois parques não se consegue injetar grande parte da energia disponível na rede.



Os dados sobre a energia disponível são obtidos a partir do *software* SCADA. Este apresenta o valor da energia disponível com base nos dados da velocidade registada do vento e da capacidade dos aerogeradores produzirem energia a partir dessa energia cinética contida no vento.

Com base na figura 4, foi elaborada a tabela 5, onde estão detalhados os dados da energia disponível, produzida e não produzida.

Tabela 5 - Dados Energia dos quatro parques, ano 2015.

Meses	Energia Disponível (MWh)	Energia Produzida (MWh)	Energia não Produzida (MWh)
Janeiro	14 200	10 100	4 100
Fevereiro	10 200	8 000	2 200
Março	12 300	9 000	3 300
Abril	12 000	8 500	3 500
Maio	10 000	6 300	3 700
Junho	10 100	6 500	3 600

Julho	4 000	3 850	150
Agosto	4 200	3 950	250
Setembro	4 400	4 050	350
Outubro	4 300	4 150	150
Novembro	4 300	4 150	3 450
Dezembro	9 000	6 250	2 750
Total	104 700	77 200	27 500

Com base na tabela 5 podemos concluir que, no ano de 2015, da totalidade da energia eólica disponível somente 73.73% foi produzida. Logo, o valor em percentagem da energia não produzida é de 26.27% representando o valor de 27 500 kW de energia não aproveitada.

A tabela 6 disponibiliza os dados que vão ser utilizados no capítulo 4, relativos aos parques eólicos da Cabeólica.

Tabela 6 - Dados sobre os quatros parques eólicos da Cabeólica. Fonte (Relatorio e Contas, 2015)

Parques Eólicos	Capacidade Instalada (MW)	Energia Produzida (MWh)	Velocidade de vento (m/s)	Disponibilidade (%)
Santiago	9,35	31 672	8,3	99,30
S. Vicente	5,95	19 072	10,2	98,89
Sal	7,65	18 776	8,9	99,22
Boa Vista	2,55	7 633	8,8	98,53
Total	25,5	77 153	9,0	98,99

É na ilha de Santiago que está instalado o parque de maior potência, daí ser o parque que apresenta o maior valor de energia produzida. Na ilha do Sal, caso de estudo, está instalado o segundo maior parque, mas esta está na terceira posição no que toca à energia produzida, pois a segunda posição é ocupada pelo parque da ilha de São Vicente. Os fatores que contribuem para tal sucedido são: a velocidade média do vento, na ilha de São Vicente, é maior do que a da ilha do Sal; as limitações quanto à penetração de energia eólica na rede são menores na ilha de São Vicente do que a do Sal, pois trata-se da segunda maior rede elétrica a nível de demanda no país.

2.3.2. Recurso Solar

Do mapeamento do recurso solar pode afirmar-se que Cabo Verde tem um recurso solar abundante. (Ver tabela 6)

Em termos de média anual, grande parte do território apresenta uma radiação global entre os 1 800 e os 2 000kWh/m²/ano, para a inclinação e exposição natural do terreno.

Relativamente ao número de horas de sol no território, mais de metade do território simulado apresenta um potencial de mais de 3 750 horas de sol por ano.

As melhores áreas das ilhas apresentam níveis de radiação global em plano horizontal entre 2 070kWh/m²/ano e 2 175kWh/m²/ano, assumindo-se um valor indicativo para as zonas com potencial do arquipélago de 2 130kWh/m²/ano. Refira-se que as máximas radiações globais em plano horizontal na Europa registam valores na ordem dos 1 700kWh/m²/ano, o que demonstra que Cabo Verde tem um recurso bastante superior ao recurso solar europeu, local onde o investimento em tecnologia solar tem vindo a aumentar desde a última década (Gesto Energia S.A., 2011).

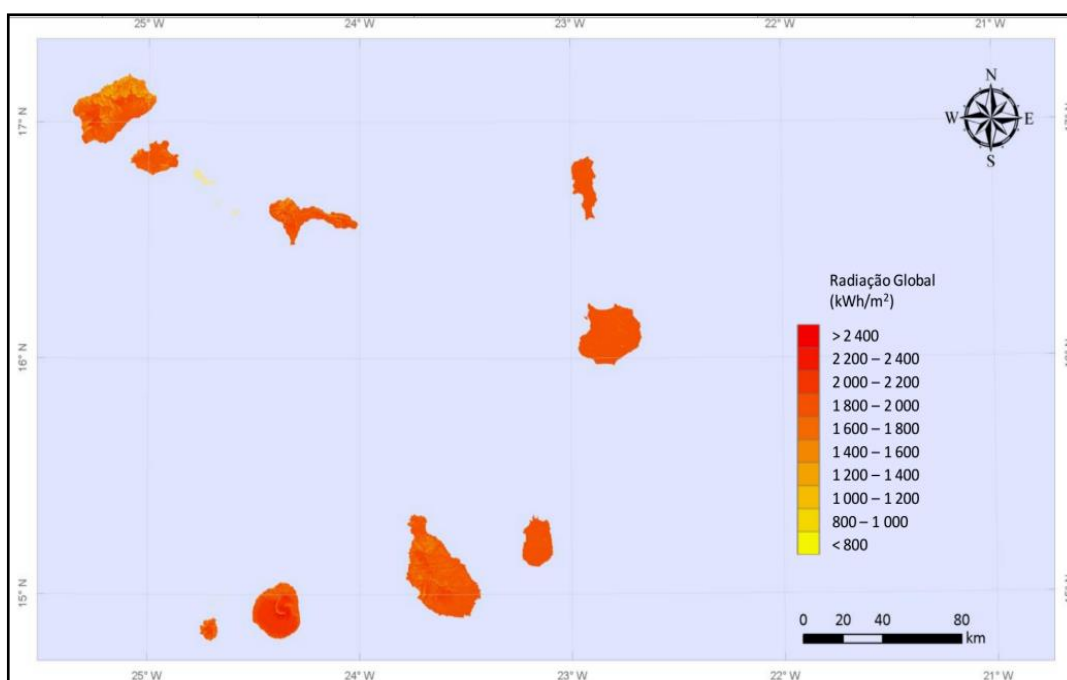


Figura 6 - Radiação global nas ilhas de Cabo Verde. Fonte (Gesto Energia S.A., 2011)

O arquipélago de Cabo Verde apresenta um recurso solar abundante. As ZDER identificadas - ver tabela 7 - apresentam uma capacidade para a instalação de, aproximadamente, 1 500MW estimando-se um potencial de produção de energia anual, na ordem dos 2 700GWh/ano.

Tabela 7 – Zonas de desenvolvimento de Recurso Solar. Fonte (Conselho de Minisros, Resolução nº 7/2012)

Ilha	ZDER	Projeto	Potência (MW)	Área da ZDER (km ²)
Santiago	ST.8	Achada da Ponta da Bomba	53	1,08
	ST.9	Achada Ribeira Pedro	89	1,78
	ST.10	Achada Bela Costa	73	1,46
São Vicente	SV.6	Salamansa	62	1,24

Santo Antão	SA.4	Porto Novo	176,5	3,54
Fogo	FG.3	Fogo	928,5	18,62
Sal	SL.2	Sal	98,5	1,92
S. Nicolau	SN.2	Preguiça	5	0,15
	SN.3	Cacimba	5	0,13
Boavista	BV.2	Ervadão	30	0,79
	BV.3	Belmonte	30	0,13
Maio	MA.2	Esgrovere	6	0,13
	MA.3	Barreiro	3	0,07
	MA.4	Alcatraz	3	0,06
Brava	BR.2	Furna	3	0,06

Parques Solares em Cabo Verde:

Durante o ano de 2010 foram construídos dois parques solares fotovoltaicos nas ilhas de Santiago e Sal. Estes projetos foram desenvolvidos pelo Governo de Cabo Verde e financiados pela linha de crédito do Estado Português para as Energias Renováveis, sendo a exploração das instalações da responsabilidade da ELECTRA.

O parque solar da ilha do Sal - ver figura 7 - tem uma potência 2 250kW, e no ano de 2015 produziu 2 173 475kWh. Esse valor representa uma contribuição de 3,8% na produção total de eletricidade no ano de 2015 na ilha do Sal (ELECTRA - Empresa de Eletricidade e Água SARL, 2015).



Figura 7 Parque Solar na ilha do Sal. Fonte (Costa, 2015)

O parque solar da ilha Santiago - ver figura 8 - tem uma potência de 4 500kW, e no ano de 2015 produziu 4 033 699kWh. A sua contribuição foi de 1,9% na produção total de eletricidade no ano de 2015 na ilha.



Figura 8 - Parque Solar na ilha de Santiago. Fonte (Costa, 2015)

Capítulo 3 - Dessalinização

3.1. Enquadramento

A dessalinização refere-se a vários processos, onde, mediante a utilização de uma fonte energética, permite a extração do excesso de sal e outros minerais da água.

A maior parte da água disponível na Terra tem a salinidade até 10 000ppm, enquanto a água do mar normalmente tem salinidade na gama de 35 000 – 45 000ppm sob a forma de sais dissolvidos totais. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o limite admissível de salinidade em água é de 500ppm e em casos especiais vai até 1 000ppm. O excesso de salinidade causa problemas de saúde (Eltawil & Yuan).

Em resposta à crescente necessidade de consumo de água, a dessalinização tem-se tornado uma importante fonte de água para a agricultura, indústria como para o consumo humano. Ela deixou de ser uma tecnologia exclusiva de zonas com reduzidos recursos hídricos. Como podemos ver, na figura 9, mais de metade dessas centrais está localizada no Médio Oriente.

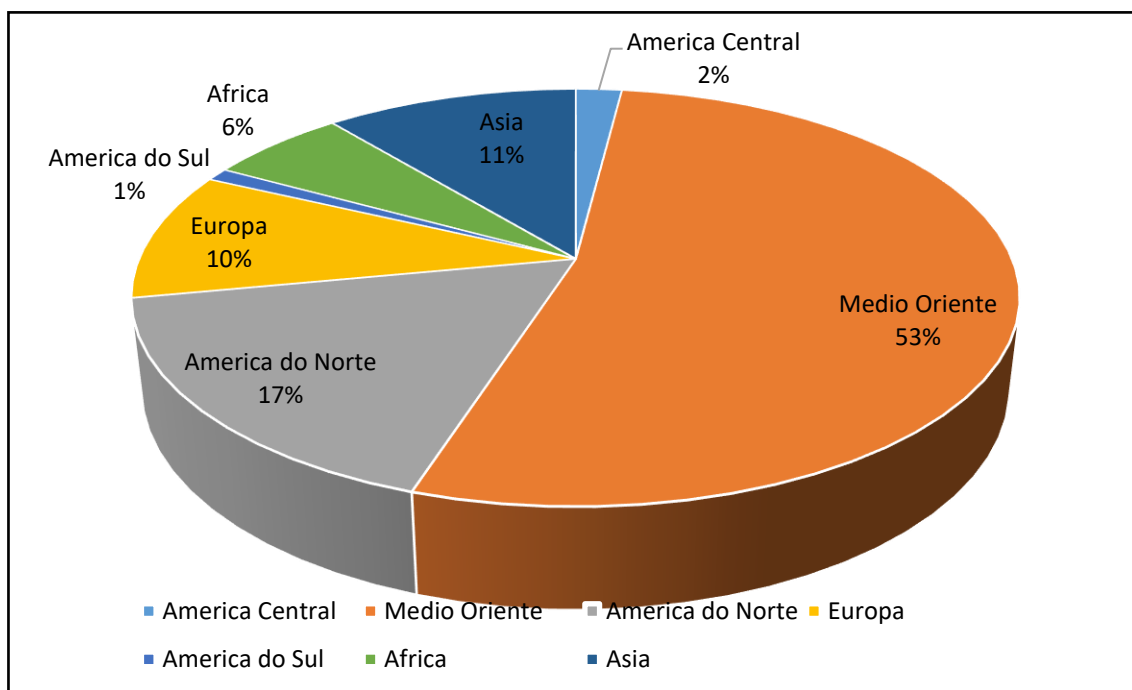


Figura 9 - Distribuição das centrais de dessalinização no mundo. Fonte (Foundation for Water Research, 2015)

No mundo existe, aproximadamente, 23 000 centrais de dessalinização em mais de 150 países. Estas possuem uma produção de água dessalinizada superior a 85 000 Mm³/dia (Foundation for Water Research, 2015).

3.1.1. Tecnologia Dessalinização

Existem dois grandes processos utilizados na redução da concentração de sais dissolvidos da água salgada ou salobra. (Ver tabela 8)

Tabela 8 - Distinção das Tecnologias de Dessalinização

Processos térmicos	Processos de tecnologia de membranas
Evaporação Multi-Flash	Osmose Inversa
Destilação de Múltiplo Efeito	Eletrodialise

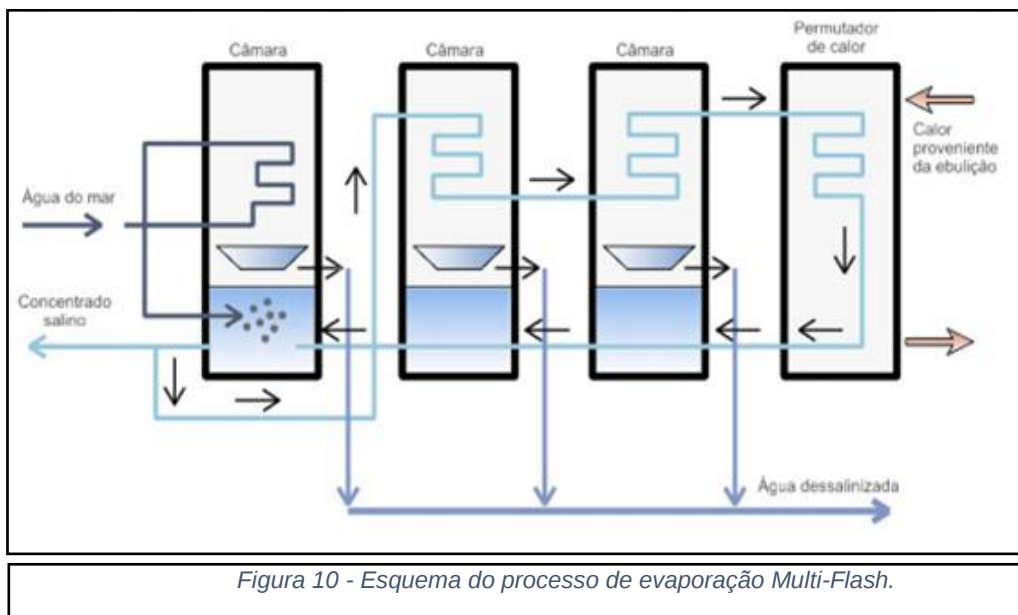
No que toca aos dois processos, térmico e de membrana, serão apresentadas as tecnologias mais desenvolvidas e com maior comercialização a nível mundial. Existem outras tecnologias, mas não serão mencionadas pois têm uma aplicação residual comparadas às técnicas referidas na tabela acima.

Processos Térmicos

Dos principais processos de dessalinização térmica destacam-se, a Evaporação Multi-Flash (MSF) e a Destilação de Múltiplo Efeito (MED). Ambos os processos são utilizados na dessalinização de água salgada e salobra, no entanto, a maioria é dedicada à dessalinização de água salgada.

Evaporação Multi-Flash (MSF)

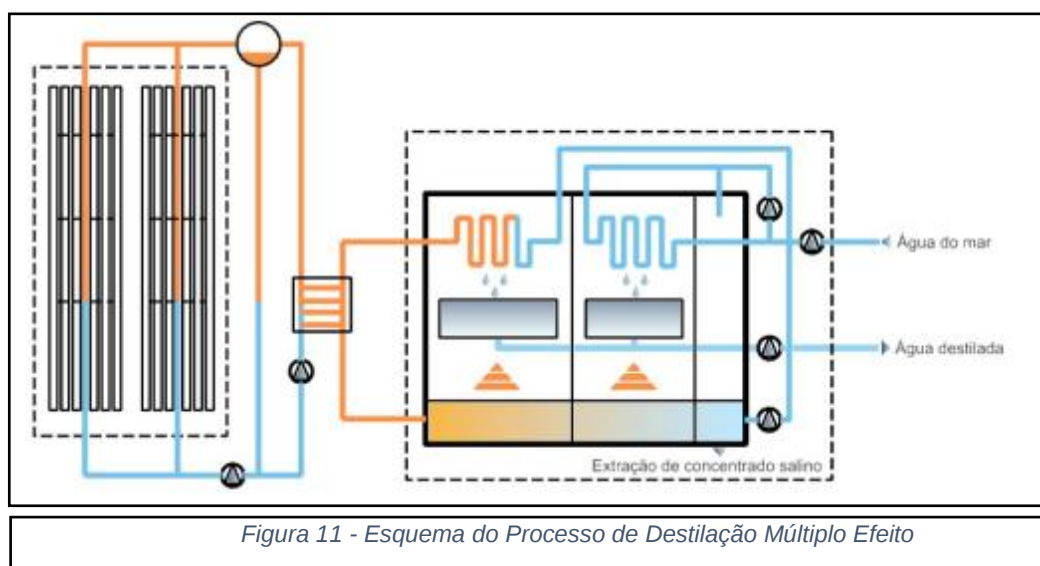
A evaporação multi-flash, ou também designada de evaporação instantânea - ver figura 10 - consiste na ebulição da água em etapas sucessivas, onde é controlada a pressão e a temperatura. Neste método recorre-se a um conjunto de evaporadores com pressões ligeiramente menores entre eles. A diminuição da pressão entre evaporadores proporciona imediatamente a ebulição da água à medida que esta atravessa cada um dos evaporadores. Este rápido processo de ebulição induz uma imediata evaporação da água salgada ou, literalmente, a uma evaporação *flash* (Gude, 2014).



O vapor sobe até aos condensadores, arrefecendo depois ao longo de várias condutas onde circula a salmoura. A água doce é conduzida para o exterior da câmara e a salmoura é enviada para o próximo meio recetor, ou para o destino final.

Destilação de Múltiplo Efeito (MED)

A destilação de múltiplo efeito inicia-se pela aspersão da água salgada fria sobre o exterior de um conjunto de tubos quentes, que são aquecidos inicialmente recorrendo a uma fonte de calor externa. O vapor que circula ao longo dos tubos é condensado em água pura. No exterior dos tubos, a fina camada de água salgada entra em ebulição assim que absorve o calor do vapor. (Ver figura 11).



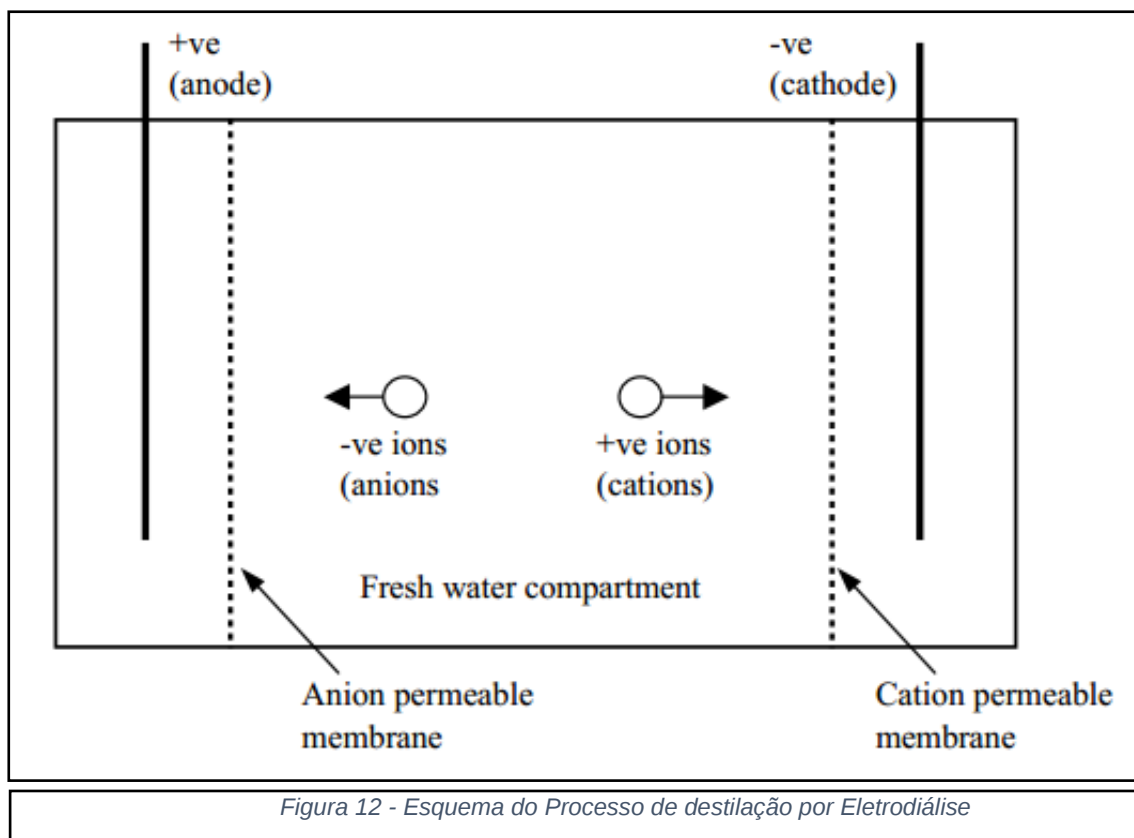
Ao vapor resultante retira-se a salmoura antes de esta prosseguir para outra etapa semelhante. O processo é repetido várias vezes. A água que não evapora regressa novamente à fase inicial e o processo vai sendo repetido até que sejam atingidos os níveis de concentração de sais desejados (Eltawil & Youn, 2009).

Processos de Tecnologia de Membranas

O processo de dessalinização por membranas consiste na separação de sais presentes na água recorrendo à utilização de membranas semipermeáveis, produzindo uma solução baixa em salinidade e um concentrado (rejeitado) de elevada salinidade.

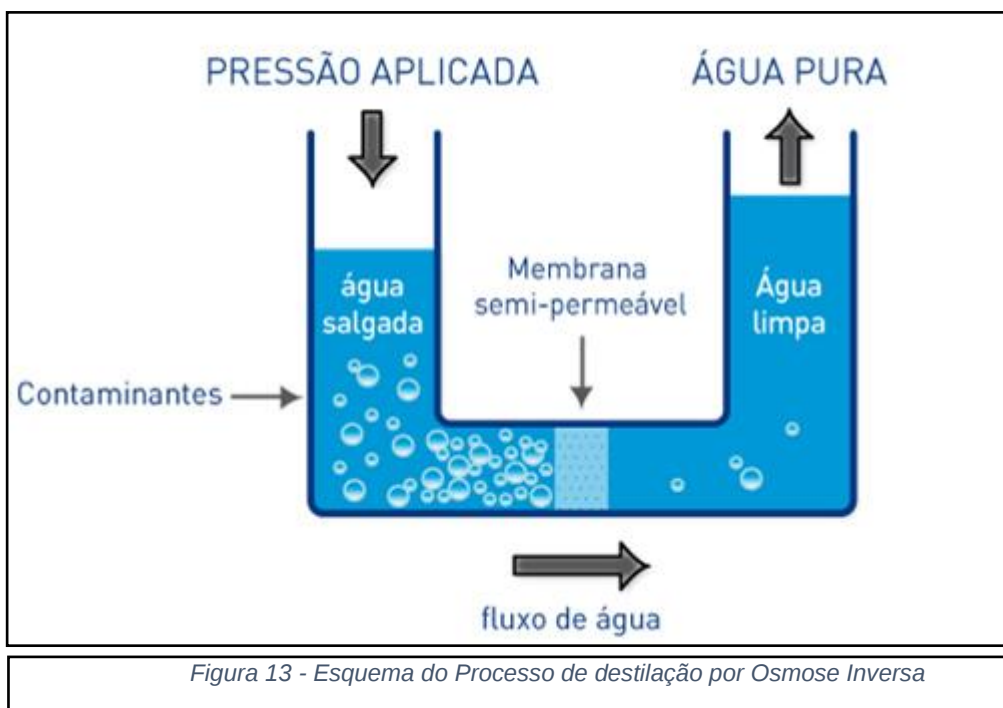
Eletrodialise

Esta técnica consiste num processo de separação dos sais dissolvidos presentes na água através da aplicação de uma força eletromotriz nos eléctrodos - figura 12. Este é um método de separação eletroquímica em que os iões são transferidos sobre membranas seletivas de iões (Levy, 2008).



Osmose Inversa (RO)

O processo de Osmose Inversa (RO), representado na figura 13, consiste na separação de sais presentes na água através de um efeito de pressão superior à pressão osmótica, sobre uma membrana semipermeável. Neste processo a água atravessa a membrana, enquanto os minerais são retidos e concentrados na membrana. A pressão aplicada no processo de (RO) depende do grau de salinidade presente na água de origem (Gude, 2014).



A recuperação de água potável, quando a água é salgada, é cerca de 30 a 50% do volume total inicial, mas, quando a água é salobra, o valor de recuperação sobe para valores entre 60 a 85% do volume total inicial introduzido no sistema (Gude, 2014).

3.1.2. Distribuição mundial das tecnologias de dessalinização

A escolha da tecnologia a aplicar para dessalinização depende de diversos fatores, tais como, demanda de água potável, fonte de energia e disponibilidade tecnológica. Como se pode ver na figura 14, a (RO) é o processo de dessalinização com maior capacidade instalada correspondendo a 66% da capacidade mundial. Em segundo, com uma capacidade instalada de 23%, está o processo (MSF).

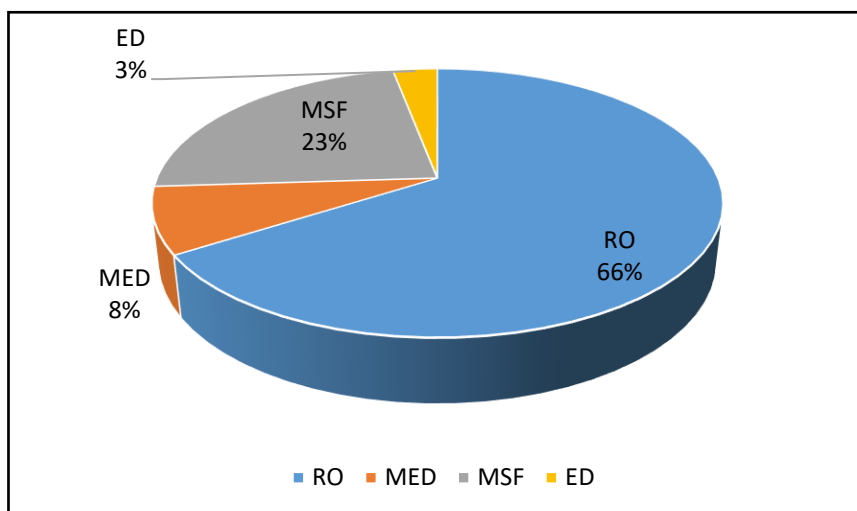


Figura 14 - Distribuição mundial das tecnologias de dessalinização. Fonte (IRENA, 2015)

A Osmose Inversa é o processo mais difundido por ser a tecnologia de dessalinização mais madura, com capacidade para dar resposta a grandes necessidades de água potável, daí ser a escolha tecnológica preferencial para servir grandes centros urbanos à volta do mundo.

3.2. Dessalinização em Cabo Verde

A escassez de água potável em Cabo Verde foi sempre um dos maiores entraves ao desenvolvimento socioeconómico do país. Tal situação resulta das condições climáticas que se verificam no país, ou seja, fraca pluviosidade e sua irregularidade (no tempo e no espaço), da descontinuidade do país (país insular) e da dispersão dos diversos aglomerados populacionais.

Paralelamente a essa situação, o aumento da população, o crescimento urbano e o aumento das necessidades de água para irrigação, turismo, indústria e outros, causa situações de *stress* hídrico, cuja tendência é para o agravamento. Por se tratar de um país insular, esta situação assume ainda maior importância, devido à impossibilidade de transferências hídricas (Santos, 2013).

3.2.1. Parque dessalinizador – Cabo Verde 2015

Na tabela 9, estão as principais empresas no ramo da dessalinização em Cabo Verde. Como se pode observar todas utilizam a tecnologia de Osmose Inversa. Existem outras unidades de dessalinização no país, mas não foram indicadas acima, pois são de uso particular.

Tabela 9 - Parque dessalinizador, ano 2015

Empresa	Ilha	Tecnologia	Capacidade Nominal (m³/dia)	Total garantida (m³/dia)
Electra	São Vicente	Osmose Inversa	5 400	5 400
	Santiago	Osmose Inversa	7 400	7 400
	Sal	Osmose Inversa	4 200	4 200
APP		Osmose Inversa	3 000	3 000
APN	S. Antão	Osmose Inversa	1 000	1 000
AEB	Boa Vista	Osmose Inversa	3 720	3 720

Tal como acontece no resto do mundo a tecnologia de (RO) é a que domina a área de dessalinização em Cabo Verde.

Existe, no mercado nacional, quatro produtores de água dessalinizada com uma capacidade combinada de 24 720m³/dia.

3.2.2. Custos associados a uma central dessalinização com tecnologia Osmose Inversa. (WaterReuse Association DesalinationCommitte, 2017)

Na tabela 10, estão representados os custos, por parâmetros, em percentagem de uma central de dessalinização de Osmose Inversa.

Tabela 10 - Parâmetros que influenciam o preço de água dessalinizada. (WaterReuse Association DesalinationCommitte, 2017)

Área	Parâmetro	Percentagem
Manutenção	Instrumentos	6%
	Bombas	
	Instalações	
	Equipamentos menores	
	Outros	
Legais	Monitorização ambiental	2%
	Seguros	
	Salários	6%
Operação	Gestão de resíduos sólidos	4%
	Substituição de membranas	11%
	Consumo de energia	55%
	Químicos	6%
	Outros custos	10%

O somatório de todos os parâmetros acima referidos dá-nos o custo final da água dessalinizada, no que toca a uma central dessalinização com tecnologia de Osmose Inversa.

O consumo de energia é a variável com maior peso no custo total da água dessalinizada. Como podemos ver pela tabela 10, esse parâmetro representa 55% do custo total da água produzida.

Os desenvolvimentos dos sistemas de recuperação de energia, associados ao melhoramento das membranas, têm permitido operar com maiores pressões, levando com que o parâmetro consumo energia para (RO) se situe em $4,2\text{kW/m}^3$, tornando-a a mais económica das tecnologias de dessalinização (Fonseca, 2010).

3.3. Combinação da dessalinização com energia renovável

O armazenamento da eletricidade proveniente de fontes renováveis é um desafio quando a produção de energia excede a procura podendo a combinação de dessalinização com energia proveniente de fontes renováveis ser uma opção interessante.

Sabendo que o custo de água dessalinizada é muito influenciado pelo custo da energia não é de se estranhar que a dessalinização renovável consiga, em certas regiões, competir com a dessalinização convencional, pois os custos das tecnologias renováveis são cada vez mais reduzidos (International Renewable Energy Agency, 2012).

As combinações possíveis entre fontes de energia renovável e as tecnologias de dessalinização são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Combinações possíveis de Fontes Renováveis com Dessalinização. Fonte (Al-Karaghoulí, Ali.; Kazamerski, L, 2011)

Recursos Renováveis	Processos de Dessalinização			
	MSF	MED	RO	ED
Solar Térmico	X	X		
Solar PV			X	X
Eólico			X	X
Geotérmico	X	X	X	X

A utilização da dessalinização acoplada à energia renovável depende de diversos fatores: entre eles, encontram-se a dimensão da central de dessalinização, salinidade da água

a dessalinizar, ligação a rede elétrica, infraestruturas como a disponibilidade do recurso renovável escolhido (Al-Karaghoul, Ali.;Kazmerski,L, 2011).

Uma vez que a Osmose Inversa é o processo de dessalinização que exige menos consumo de energia, esta é a mais utilizada em combinação com a energia eólica (Gude, 2014).

Capítulo 4 - Caso de Estudo

4.1 Caracterização

A Ilha do Sal encontra-se localizada no extremo nordeste do arquipélago de Cabo Verde - ver figura 15 - no Oceano Atlântico, a uma latitude de 16º Norte e uma longitude de 22º Oeste. Tem uma extensão de 30km na direção Norte/Sul e 12km, na direção Este/Oeste, com uma área total de 216km² e com uma orografia essencialmente plana, atingindo o seu ponto mais alto a 406 metros acima do nível do mar.

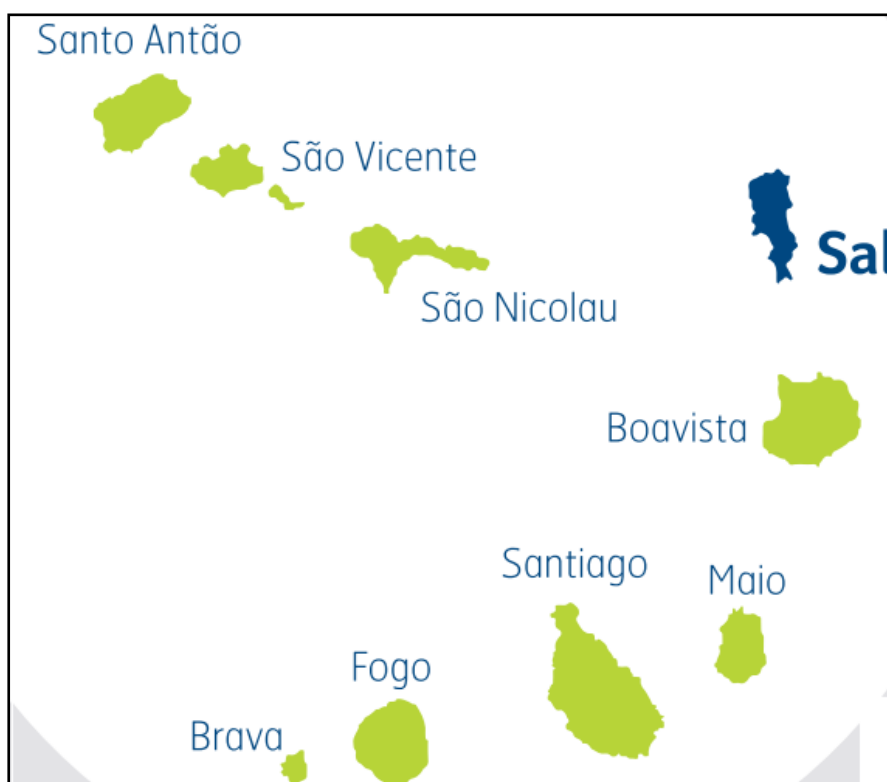


Figura 15 - Arquipélago de Cabo Verde - Ilha do Sal. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2015)

Apesar de ter sido a última ilha a ser povoada, o seu desenvolvimento sempre esteve ligado às atividades industriais e serviços: salinas e a aeronáutica. Foi a primeira ilha do país a ter um aeroporto Internacional que, associado às suas belas praias, permitiu um desenvolvimento turístico mais rápido e acentuado. Isso fez com que a sociedade da ilha do Sal atingisse um nível de vida acima da média em Cabo Verde. Neste âmbito, a ilha representa um dos maiores polos económicos do país, com uma grande contribuição para o PIB.

Esta dinâmica proporcionou um grande crescimento populacional da ilha, nos últimos anos, tal como se pode observar na tabela 12.

Tabela 12 - Evolução da população, dados comparativos dos censos de 2000 e 2010. Fonte: INE

	Censo 2000	Censo 2010	Taxa de crescimento
Cabo Verde	434 625	491 683	+13%
Ilha do Sal	14 816	25 765	+74%

Enquanto a população do país aumenta 13% de 2000 a 2010, o nº de habitantes da Ilha do Sal incrementa 74%. Através da tabela 13, pode ver-se que a população da ilha continua a aumentar com uma taxa de crescimento de 23%.

Tabela 13 - Evolução da população, dados comparativos 2011 a 2015. Anuário Cabo Verde. Fonte: INE

	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa de crescimento
Cabo Verde	499 929	505 983	512 173	518 467	524 833	+5%
Ilha do Sal	27 534	29 096	30 655	32 208	33 747	+23%

Tendo em conta as tabelas 12 e 13 podemos ver que a população da ilha no ano 2000 era de sensivelmente 14816 habitantes e no ano 2015 a população da ilha passou a ser de 33 747 habitantes, crescendo mais do dobro nos últimos 15 anos, sendo esse crescimento de 127.77%.

A razão para o crescimento populacional deve-se ao grande investimento turístico feito na ilha. A construção de empreendimentos turísticos é a principal razão para o aumento da população, pois esses empreendimentos aumentam a demanda de mão-de-obra tanto na área de construção civil como na operação desses empreendimentos.

4.2 Sector energético

O Sistema Elétrico da Ilha do Sal apresenta uma grande particularidade dentro do contexto nacional, pois trata-se da coexistência de três empresas produtoras de eletricidade

e de duas distribuidoras - ver tabela 14 - que operam de forma complementar e em parceria estratégica, no mercado mais exigente do país, constituído pela população local, por diversos estabelecimentos hoteleiros e por várias instalações industriais.

Tabela 14 - Empresas produtoras e distribuidoras de eletricidade na ilha do Sal

Empresas Produtoras de Eletricidade	Tecnologia	Empresas Distribuidoras Eletricidade
Electra	Térmica + Solar	Electra
Águas de Ponte Preta	Térmica	Águas de Ponte Preta
Cabeólica	Eólica	-

A Electra é o maior operador da ilha, pois possui a maior potência instalada e gere as contribuições das empresas Águas de Ponte Preta e da Cabeólica, sendo, por esta razão, a responsável pelo despacho da rede.

4.2.1. Potências instaladas

Electra

A Central Elétrica da Palmeira - ver figura 16 - de tecnologia térmica-diesel, tem uma potência instalada de 17MW e é constituída por grupos geradores que funcionam a partir de Fuel-180. Esta instalação encontra-se localizada nas proximidades do porto comercial da ilha e conta com o abastecimento de combustível através de um *pipeline*.



Figura 16 - Central elétrica da Palmeira. Fonte (Águas de Ponte Preta, 2016)

A primeira central fotovoltaica do país foi inaugurada na Ilha do Sal no dia 1 de outubro de 2010, com uma potência de 2,5MW (ver figura 17). A sua gestão está assegurada pela ELECTRA. Não possui qualquer sistema de armazenamento, o que faz com que toda a energia produzida seja automaticamente injetada na rede.



Figura 17 - Central fotovoltaica de Santa Maria. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)

Águas de Ponta Preta

A APP iniciou a produção de energia elétrica em 2001 utilizando grupos de geradores a *diesel* - ver figura 18 - evoluindo progressivamente a sua potência. Em 2006, foi feito um importante aumento da potência instalada, até 5MW, recorrendo a dois grupos de geradores cujo combustível principal é o Fuel-180. Os dois grupos funcionam com Fuel. Somam 3MW e adicionalmente existem três grupos auxiliares com uma potência total de 2MW que funcionam a gasóleo.



Figura 18 - Central elétrica de Águas de Ponta Preta. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)

Cabeólica

O parque gerido pela empresa Cabeólica ocupa cerca de 32 hectares e contém 9 turbinas VESTAS modelo V52-850kW, configurando uma capacidade instalada de 7,6MW. (Ver figura 19)



Figura 19 - Parque eólico de Lajedo de Ribeira de Tarrafe. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)

4.2.2. Potencial de Recursos Renováveis na ilha do Sal

A Ilha do Sal, com a sua orografia suave e plana, apresenta grandes recursos energéticos renováveis, especialmente recursos eólico e solar.

Recurso Eólico

A empresa APP, em 2004, levou a cabo o seu estudo onde através de uma torre de 12m, instalada na zona de Ponta Preta registou os valores médios de velocidade do vento de 6,81m/s, e por extrapolação, para uma altura de 45m o valor foi de 7,7m/s. A figura 20 representa os dados registados pela APP.

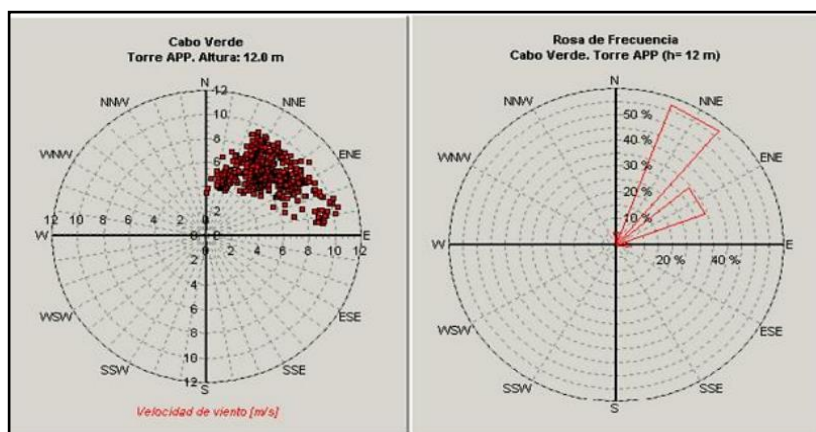


Figura 20 - Gráficos com dados do vento da ilha do Sal. Fonte (Águas de Ponta Preta,

Em 2007, a Riso National Laboratory, também caracterizou o potencial eólico e apresentou dados onde demonstra que o arquipélago tem um recurso excecional com ventos médios acima dos 8m/s. A ilha do Sal registou ventos médios na ordem dos 7m/s sendo que de janeiro a junho foram registadas as maiores intensidades. A direção predominante dos ventos provém de Nordeste (NE). O potencial de exploração da ilha do Sal é de 45,9MW numa área de 20,85km² (Gesto Energia S.A., 2011).

Recurso Solar

É na Ilha do Sal onde se verifica o menor índice de nebulosidade, a nível nacional, confirmando o seu forte recurso solar com um potencial de 98,5MW numa área de 1,92km² (Gesto Energia S.A., 2011)

4.2.3. Sistema de Distribuição de Energia Elétrica na Ilha

A rede de distribuição pública alcança uma cobertura de 100% nas áreas urbanas. As linhas de transporte, todas subterrâneas, somam cerca de 35km. Em termos de tensão, o transporte realiza-se em Média Tensão 20kV e a distribuição, em Baixa Tensão 400V. (Ver figura 21)

O principal eixo de transporte dispõe de duas linhas em anel, cada uma com condutores de alumínio de 240mm², com capacidade máxima para 14MW.

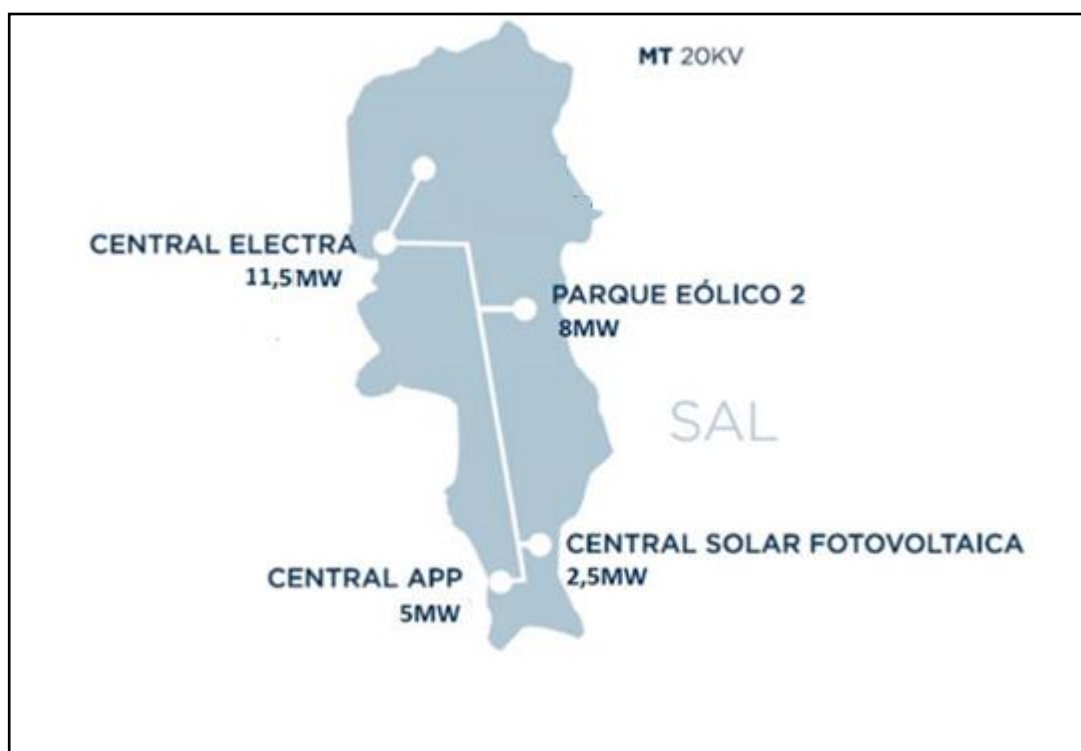


Figura 21 - Esquema do Sistema Elétrico do Sal. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)

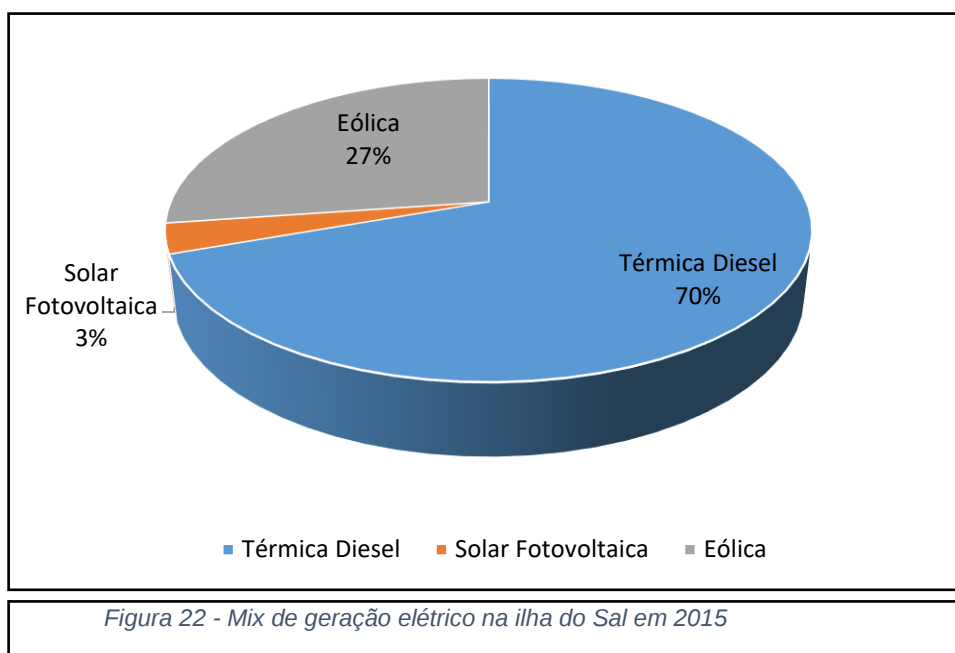
4.2.4. Geração de Energia Elétrica na Ilha do Sal

Em 2015, a produção total de energia na Ilha do Sal foi de 69GWh, em valores absolutos. A Tabela 15 apresenta a produção por empresa durante o ano de 2015:

Tabela 15 - Geração de energia elétrica na ilha do Sal em 2015. Fonte (Águas de Ponta Preta, 2016)

Empresa	Origem	Produção (GWh)
APP	Térmica Diesel	12,2
Cabeólica	Eólica	18,8
ELECTRA	Térmica Diesel	35,8
	Solar Fotovoltaica	2,2

A figura 22 representa a geração de energia elétrica na Ilha, em 2015. A taxa de penetração total das energias renováveis nesse ano foi de 30%, o que significa uma poupança de aproximadamente 4 620 toneladas de Fuel-Oil.



Na perspectiva de desenvolvimento, crescimento económico e sustentabilidade ambiental, segurança e acesso à energia, o Sistema Elétrico da ilha do Sal apresenta uma estrutura de produção equilibrada e diversificada, com quatro pontos de geração de três fontes distintas, além de uma rede de distribuição que abrange a totalidade dos centros urbanos (Águas de Ponta Preta, 2016).

4.3 Dessalinização na ilha do Sal

Com o crescimento dos empreendimentos turísticos e por consequente aumento da população residente e turística, a disponibilidade da água tornou-se uma prioridade na ilha.

A tabela 16 representa os dados sobre as unidades de dessalinização instaladas, por empresa, no ano de 2015.

Tabela 16 – Unidades dessalinização em operação no ano 2015

Empresa	Processo	Designação	Capacidade Nominal (m³/d)
Electra	Osmose Inversa	RO1 – 1 000	1 000
		RO2 – 1 000	1 000
		RO3 – 1 200	1 200
		RO4 – 1 200	1 200
Águas de Ponta Preta		RO1 - 500	500
		RO2 - 500	500
		RO3 – 1 000	1 000
		RO4 – 1 000	1 000
Total			7 400

A quantidade de água produzida, pela Electra, no ano de 2015 no Sal foi de 994 515m³ ao passo que a empresa APP, nesse ano, teve uma produção de 400 000m³. Somando a produção das duas empresas chegamos ao valor total de 1 394 515m³ de água dessalinizada no ano 2015.

4.4 Algoritmo

Pretende-se mostrar que existe margem para aumentar a eficiência do parque eólico, isto é, a utilização da energia eólica disponível, mas não ejetada na rede através da utilização das unidades de dessalinização sempre que o fator de carga destas o permita.

O algoritmo desenvolvido pretende maximizar a utilização da energia eólica disponível no parque, tendo como limitação o fator de carga dos dessalinizadores - ver figura 23 -. Considera-se energia disponível, toda a energia que o sistema consegue produzir independentemente da energia que o sistema esteja realmente a produzir. Esta diferença ocorre quando o sistema tem de produzir menos energia, abaixo da capacidade, devido ao consumo de energia ser baixo.

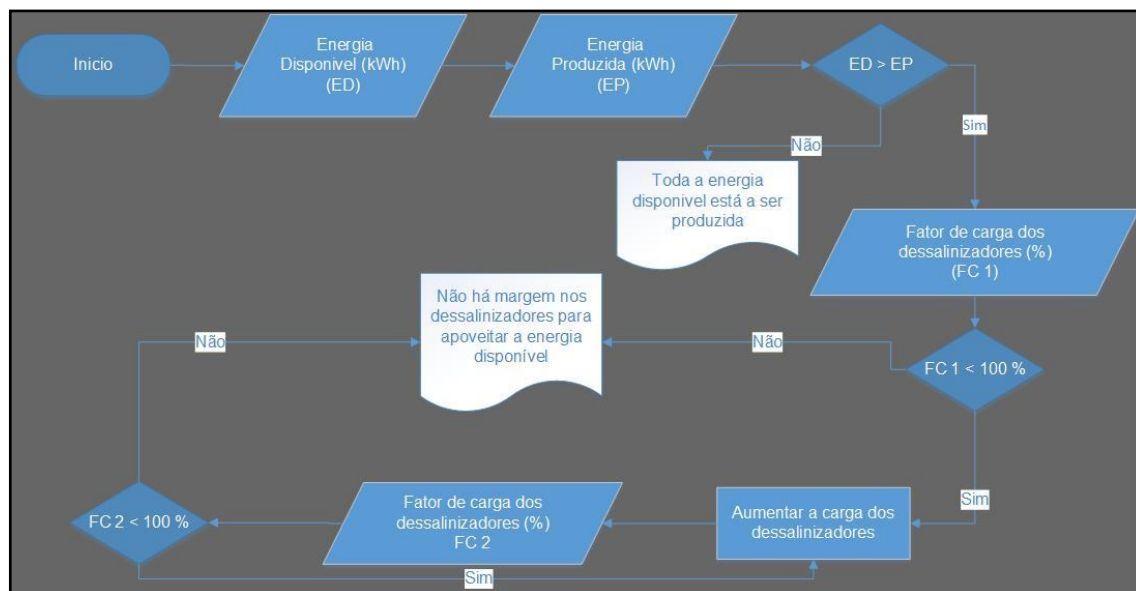


Figura 23 - Fluxograma do Algoritmo



Figura 24 - Simbologia

O programa começa por receber dados relativos à Energia Disponível (ED) e à Energia Produzida (EP) e de seguida verifica se existe diferença entre esses dois parâmetros.

No caso de não existir diferença, o programa irá escrever no ecrã “toda a energia disponível está a ser produzida”.

No entanto, se existir capacidade de aumentar a produção de energia, o programa vai solicitar a informação sobre o fator de carga dos dessalinizadores - valor representado pela expressão (FC 1) que varia de 0 a 100 por cento.

No caso de o fator de carga ser 100%, o programa irá escrever no ecrã “não há margem nos dessalinizadores para aproveitar a energia disponível”. Se o fator de carga for

inferior a 100%, o programa irá aumentar a carga dos dessalinizadores de modo a aproveitar a energia eólica disponível.

Após aumentar a carga nos dessalinizadores o programa irá solicitar novamente o fator de carga destes.

No caso de o fator de carga ser 100%, o programa irá escrever no ecrã “não há margem nos dessalinizadores para aproveitar a energia disponível”.

No caso de o fator de carga ser inferior a 100%, o programa irá continuar a utilizar a energia disponível para aumentar a carga dos dessalinizadores de modo a aproveitar a energia eólica disponível, mas não produzida.

As turbinas Vestas, modelo V52-850kW, estão equipadas com o controle de Stall e Pich, portanto é possível regular a potência injetada na rede.

O SCADA, programa de monitorização do parque, permite obter os parâmetros necessários para fazer o algoritmo iniciar, isto é a energia disponível e produzida.

A partir dos relatórios anuais das empresas Cabeólica e Electra obtiveram-se os dados necessários para realizar as simulações de cenários. Os dados utilizados são referentes ao ano de 2015.

Para simulações de cenários é preciso obter dados a nível da energia eólica e dos dessalinizadores. Esses dados foram obtidos nos relatórios de contas da Cabeólica e da Electra.

4.4.1. Dados de Energia Eólica

Para a realização das simulações dos cenários são precisos os dados da energia eólica. Não foi possível obter os valores exatos referentes à energia eólica, daí que esses valores tenham sido determinados a partir dos dados contidos no relatório anual da empresa Cabeólica. A forma utilizada para a obtenção dos parâmetros necessários é demonstrada abaixo.

A figura 25 representa a curva de potência das turbinas Vestas 850kW, sendo que a velocidade média do vento, na ilha do Sal, no ano de 2015 foi de 8.9m/s. Obteve-se a produção de 400kWh de uma turbina, a essa velocidade.

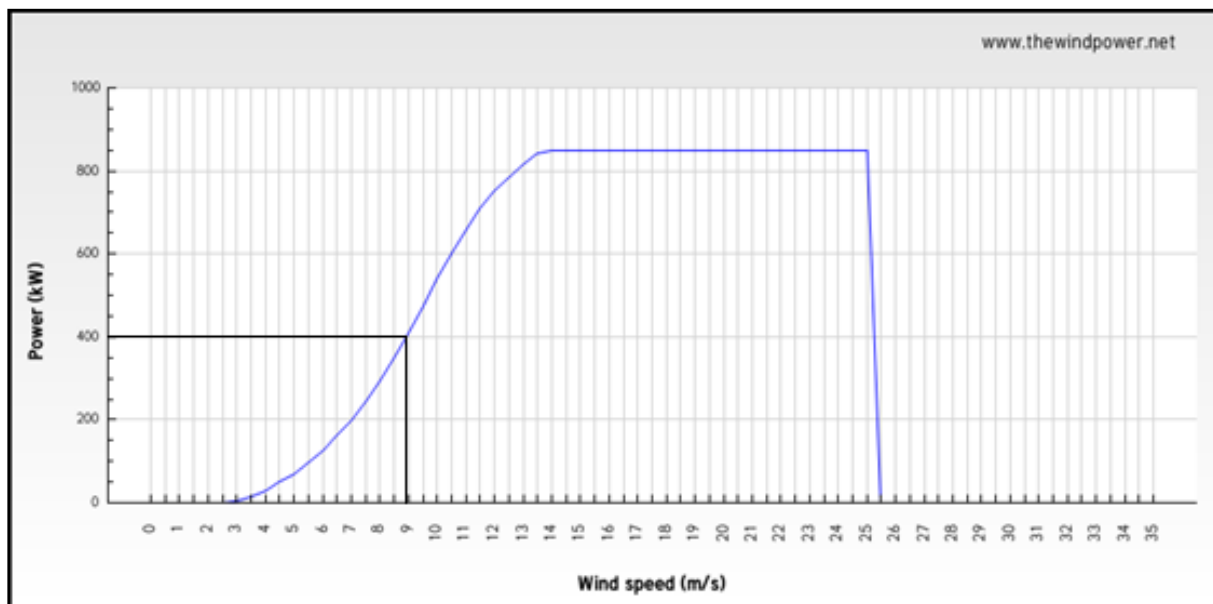


Figura 25 - Curva de potencia das Turbinas V850

Para obter o valor de energia disponível no parque da ilha do Sal foram utilizados os seguintes dados:

Nº Turbinas → 9

Energia produzida por turbina com base na velocidade média do vento → 400kWh

Ano 2015 → 365 dias

Disponibilidade do Parque no mesmo ano → 99,22%

Cálculo da Energia Disponível:

$$Energia\ Disponivel\ (kWh) = \frac{(n^{\circ} Turbinas \times 400(kWh) \times 365)}{Disponibilidade\ do\ parque}$$

Energia Disponível → 31290MWh

Cálculo da Eficiência do Parque:

Energia Disponível → 31290MWh

Energia Produzida → 18776MWh

$$Efici\ência\ do\ Parque\ (\%) = \frac{Energia\ Produzida\ (MWh)}{Energia\ Dispon\acute{v}el\ (MWh)} \times 100$$

Eficiência do parque → 60%

Cálculo da Energia não Produzida:

$$\text{Energia não Produzida (MWh)} = \text{Energia Disponível (MWh)} - \text{Energia Produzida (MWh)}$$

Energia não Produzida → 12 514 MWh

Na Tabela 17 estão representados os valores obtidos nos cálculos acima descritos.

Tabela 17 - Dados do Parque eólico da Cabeólica na ilha do Sal (2015)

Velocidade Média do Vento (m/s)	8,9
Nº Turbinas	9
Potencia Nominal de uma V850 (kW)	850
Energia produzida por turbina a velocidade média do vento (kWh)	400
Disponibilidade do parque (%)	99,22
Energia Disponível (MWh)	31 290
Energia Produzida (MWh)	18 776
Eficiência do Parque (%)	60
Energia não Produzida (MWh)	12 514

O parque tem uma velocidade média do vento de 8,9m/s e apresenta uma disponibilidade de 99,22% que é muito boa. No entanto, a eficiência do parque é de apenas 60%, pois existem limitações técnicas na rede, quanto à penetração de mais energia eólica. Portanto existe uma margem considerável de energia eólica que pode ser aproveitada.

Contribuição do parque no total da Energia Disponível não aproveitada, a nível nacional:

Energia não Produzida pelo Parque → 12 514 MWh

Energia não Produzida nos quatro Parques → 27 500 MWh

Peso do parque na energia não produzida a nível nacional (%)

$$= \frac{\text{Energia não Produzida pelo Parque}}{\text{Energia não produzida nos quatro parques}} \times 100$$

Peso do parque na energia não produzida a nível nacional → 46%

Obtido o valor de 46% de contribuição do parque da ilha do Sal para a energia não produzida, a nível dos quatro parques, apercebe-se da prioridade que o parque da ilha deve ter, com o objetivo de melhorar o uso da energia eólica disponível.

Tendo como base o valor de 46% de energia eólica não produzida, elaborou-se o gráfico da figura 26.



De julho a outubro há praticamente um aproveitamento total da energia disponível. Este fator deve-se à diminuição da velocidade do vento nesses meses, que são mais quentes, e a um aumento da carga na rede devido a um maior número de consumidores na ilha, fazendo com que, quase toda a energia disponível seja aproveitada.

Nos restantes meses existe uma margem considerável para que a energia disponível, mas não produzida, seja injetada na dessalinização. Desta forma pode-se aproveitar o recurso endógeno e renovável para obter água que é um recurso escasso na ilha do Sal.

4.4.2. Dados da Dessalinização

Para a obtenção dos parâmetros da dessalinização necessários para a realização dos cenários foi realizada uma série de cálculos descritos abaixo tendo como base o relatório anual da Electra.

Neste momento estão em funcionamento 4 unidades de dessalinização, com uma capacidade combinada de 4400m³/dia. Estão previstas entrar em operação, no final de 2017, mais duas unidades que permitirão adicionar à capacidade já existente 10 000m³/dia, (ver tabela 18).

Tabela 18 - Parque dessalinizador da Electra

	Capacidade (m ³ /dia)	Estado	Produção teórica ano (m ³)	Produção real no ano de 2015 (m ³)
1	1 000	Em operação	365 000	295 958,0
2	1 000		365 000	215 150,0
3	1 200		438 000	166 157,0
4	1 200		438 000	317 250,0
5	5 000	Entrada em funcionamento final 2017	1 825 000	-
6	5 000		1 825 000	

Com a entrada dessas duas unidades de 5000m³/dia cada, vai haver um aumento da carga na rede e assim permitir uma maior utilização da energia eólica.

Apesar de saber que no final de 2017 entrarão em funcionamento essas duas unidades, o dado relevante a tirar desse facto é que irá aumentar a carga na rede, levando a um melhor aproveitamento da energia eólica disponível. Todavia os dados desta dissertação são referentes ao ano de 2015.

Cálculo do Fator de Carga dos Dessalinizadores:

Produção Teórica das Unidades (m³) → 1 606 000

Produção Real das Unidades (m³) → 994 515

$$Fator\ de\ Carga\ (\%) = \frac{Produção\ Real\ (m^3)}{Produção\ Teórica\ (m^3)} \times 100$$

Fator de Carga (%) = 63%

Tendo em conta a média de fator de carga de 63%, existe uma margem para aproveitar a energia disponível, que não é produzida, na dessalinização.

Cálculo da quantidade de energia consumida para produzir 1m³ de água dessalinizada:

Energia Consumida (kWh) → 8 372 233

Água dessalinizada (m³) → 994 515

$$\frac{kWh}{m^3} (ano\ 2015) = \frac{Energia\ consumida\ (kWh)}{Água\ dessalinizada\ (m^3)}$$

No ano 2015 foi necessário consumir 8,42kWh/m³ para produzir um m³ de água.

4.4.3. Projeção de Cenários

Os dados trabalhados nesta dissertação referem-se ao ano de 2015, que irá ser o cenário base para a nossa projeção de operação. Em 2015, o parque eólico registou uma eficiência de 60%, os dessalinizadores tiveram um fator de carga 63%, sendo necessário consumir 8,42 kWh de energia para produzir 1 m³ de água dessalinizada. A produção anual foi de 28,92m³ de água dessalinizada por pessoa. Esses dados são exibidos na tabela 19.

Tabela 19 – Cenário Base, ano 2015

Ano	Consumo de Energia para produzir 1 m ³ de água dessalinizada (kWh)	Produção de água dessalinizada (m ³ /per capita)	Fator de carga dos dessalinizadores (%)	Eficiência do Parque (%)
2015	8,42	28,92	63	60

Sabendo que o fator de carga dos dessalinizadores ronda os 63%, não é possível aproveitar toda a energia eólica disponível, que não é produzida na dessalinização porque a utilização de 100% da energia eólica disponível iria superar o fator de carga dos dessalinizadores.

Foram projetados quatro cenários onde temos a percentagem da energia eólica disponível aproveitada, m³ de água dessalinizada, m³ de água *per capita* por ano e incremento do fator carga dos dessalinizadores. (Ver tabela 20)

Tabela 20 - Projeção de Cenários

	Porcentagem de utilização de energia eólica disponível, mas não produzida (%)	Quantidade de Energia disponível utilizada (MWh)	Quantidade de água dessalinizada (m³)	Aumento na produção anual de água dessalinizada (m³/per capita)	Incremento do fator de carga dos dessalinizadores (%)
Cenário 1	10	1 251	148 623	4,3	72
Cenário 2	20	2 502	297 245	8,6	81
Cenário 3	30	3 754	445 868	13	90
Cenário 4	40	5 005	594 490	17	100

No cenário 1, foram utilizados 10% da energia eólica disponível. Com essa injeção é possível aumentar a água dessalinizada em 4m³/per capita/ano, elevando assim dos atuais 28,92m³/per capita/ano, para o valor de 32,92m³, de água dessalinizada. Neste cenário o fator de carga, dos dessalinizadores, passará de 63% para 72,3%.

No cenário 2, utilizou-se 20% da energia eólica disponível. Com essa injeção é possível aumentar a água dessalinizada em 9m³/per capita/ano, elevando assim dos atuais 28,92m³/per capita/ano, para o valor de 37,92m³, de água dessalinizada. Neste cenário o fator de carga, dos dessalinizadores, passará de 63% para 81,5%.

No cenário 3, utilizou-se 30% da energia eólica disponível. Com essa injeção é possível aumentar a água dessalinizada em 13m³/per capita/ano, elevando assim dos atuais 28,92m³/per capita/ano, para o valor de 41,92m³, de água dessalinizada. Neste cenário o fator de carga, dos dessalinizadores, passará de 63% para 90,8%.

No cenário 4, foram utilizados 40% da energia eólica disponível. Com essa injeção é possível aumentar a água dessalinizada em 17m³/per capita/ano, elevando assim dos atuais 28,92m³/per capita/ano, para o valor de 45,92m³, de água dessalinizada. Neste cenário o fator de carga dos dessalinizadores passará de 63% para 100%.

O cenário 4, onde se utiliza 40% da energia eólica disponível, não é muito exequível, porque com essa taxa de penetração ir-se-á atingir o fator de carga máxima dos dessalinizadores o que levará à diminuição da vida útil dos dessalinizadores.

Cálculo de Emissões de Carbono (CO₂)

Devido à problemática das alterações climáticas, causadas essencialmente pela elevada emissão de gases prejudiciais para o ambiente, hoje em dia muitas empresas já contabilizam as suas emissões de gases de efeito de estufa, avaliando assim o impacto ambiental causado pela sua atividade. Para realizar esta avaliação é cada vez mais comum o uso do conceito pegada de carbono, que permite analisar as emissões diretas e indiretas dos gases de efeito de estufa produzidas durante o ciclo de vida de uma atividade. Na tabela 21, encontra-se a comparação entre as emissões de carbono, para os cenários projetados, a partir de fuel óleo e energia eólica.

Cálculo de emissões de CO₂ (tonCO₂e/kWh), fonte Fuel Óleo:

$$= \text{Total de energia consumida} \times \text{Fator de Emissão Fuel Óleo} \times 10^6$$

Fator de emissão, Fuel óleo: 778gCO₂e/kWh

Cálculo de emissões de CO₂ (tonCO₂e/kWh), fonte eólica:

$$= \text{Total de energia consumida} \times \text{Fator de Emissão Energia Eólica} \times 10^6$$

Fator de emissão, Energia Eólica: 10gCO₂e/kWh

Tabela 21 - Emissões de CO₂

Cenários	Consumo de energia (MWh)	Emissões de CO ₂ Fuel Óleo (tonCO ₂ e/kWh)	Emissões de CO ₂ Eólica (tonCO ₂ e/kWh)
1	1251,4	973,59	12,51
2	2502,8	1947,18	25,03
3	3754,2	2920,77	37,54
4	5005,6	3894,36	50,06

A implementação dos parques eólicos e solares tem levado a uma diminuição da importação de toneladas de combustíveis fósseis. Este cenário tem contribuído para redução das emissões de carbono. Como se pode ver pela tabela 21 as emissões da energia eólica são bastante reduzidas comparativamente as do fuel óleo.

4.5 Discussão de Resultados

Maior utilização de uma fonte endógena

Com uma velocidade média do vento a rondar os 8m/s e tendo em conta que a eficiência do parque é de 60%, ao acoplar a energia eólica e a dessalinização vai permitir aumentar a eficiência do parque, mediante a necessidade de água. Na figura 27, estão apresentados os cenários de operação.

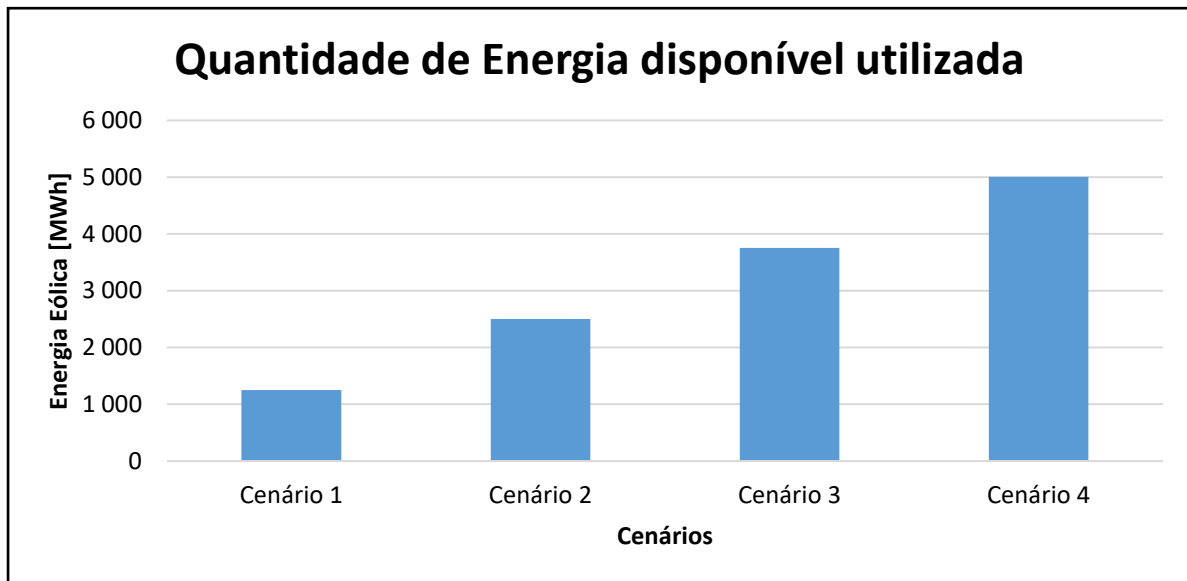


Figura 27 - Quantidade de Energia Disponível utilizada.

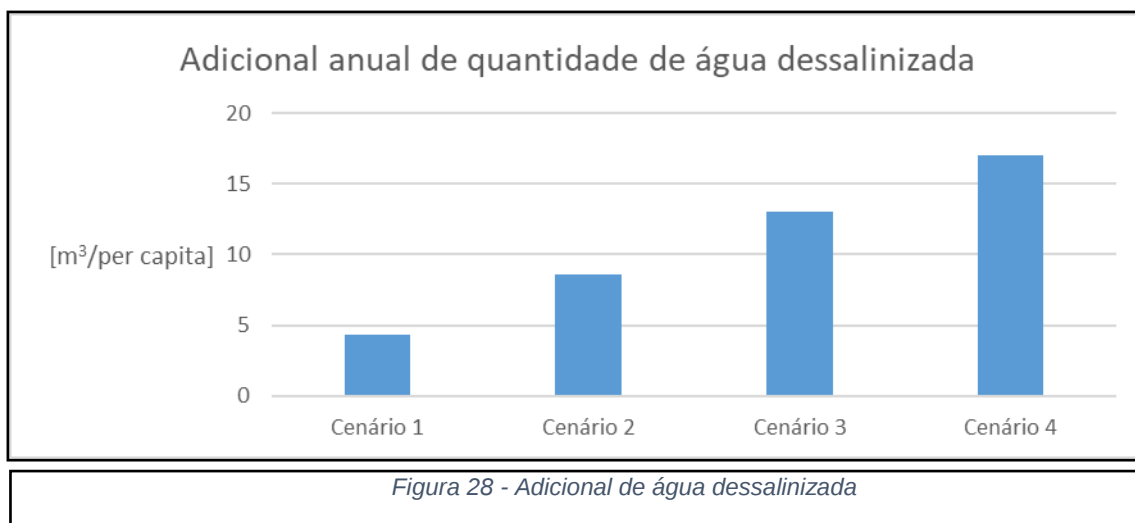
Sendo uma das prioridades da política nacional aumentar a percentagem de energia renovável utilizada, com esta complementaridade pode-se melhorar o aproveitamento da energia eólica disponível na ilha do Sal, um dos parques que mais contribui para a energia disponível não produzida a nível do país. A energia disponível não produzida é a energia que não é produzida por falta de carga na rede, apesar de existir capacidade para a sua produção.

O total de Energia Disponível não produzida é de 12 514MWh. Nos cenários projetados podemos ver que a utilização da dessalinização permitiria aumentar a eficiência do parque dos seus atuais 60%, para 64% no cenário de 1, para 68% no cenário 2, para 72% no cenário 3 e finalmente no cenário 4 onde o fator de carga dos dessalinizadores é atingido teremos uma eficiência do parque para valores de 76%.

No cenário 4, o parque eólico irá ficar somente com o valor de 7 MWh de energia disponível, mas não produzida. A contribuição renovável, na ilha, neste cenário, irá passar dos atuais 30% para 38%. Portanto seria mais uma ação em linha com as políticas traçadas pelo governo no sentido de aumentar a penetração de energia renovável no país.

Aumentar a disponibilidade hídrica da ilha

A quantidade de água dessalinizada no ano de 2015 foi de 994 515m³. Tendo em conta a população local e adicionalmente a média de turistas no referido ano, atinge-se o valor de 28.29m³/ano por pessoa, sabendo que as Nações Unidas dizem que cada pessoa necessita de 3.3m³ de água por mês para satisfazer as suas necessidades de consumo e higiene. Esse valor, num ano, seria de 39.6m³ de consumo de água por pessoa, quer isso dizer que, a ilha do Sal, apresenta um défice de 11,31 m³ em relação ao recomendado pelas Nações Unidas. A figura 28 demonstra os resultados dos cenários projetados, no que toca ao aumento da disponibilidade de água na ilha.



Com um maior aproveitamento da energia eólica na dessalinização será possível aumentar a disponibilidade hídrica da ilha tanto para as populações como para os empreendimentos turísticos.

Sabendo que o valor de 28.29m³/ano foi obtido sem levar em conta os valores de perdas na rede, a diferença deste para o valor recomendado pelas Nações Unidas ainda é maior do que os 11, 31 m³. Portanto qualquer aumento da disponibilidade hídrica é desejado.

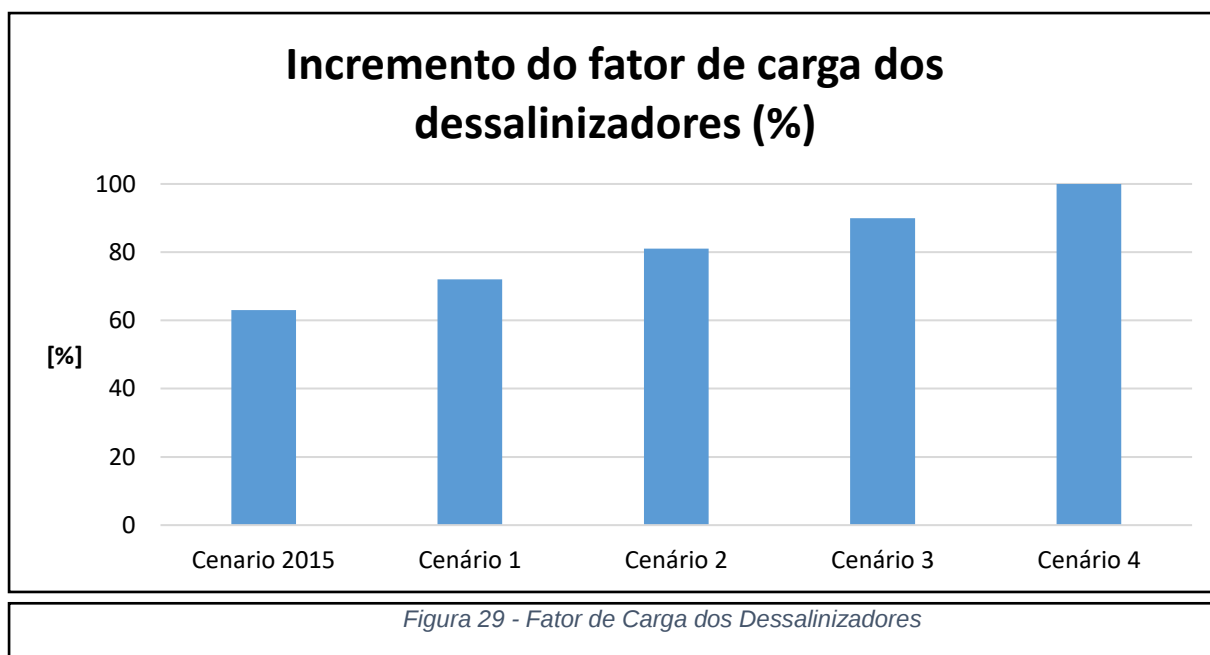
Nos cenários 1 e 2, pode-se ver pela figura 28, que apesar de aumentar a disponibilidade hídrica em 4.3m³ e 8.6m³ respetivamente, o défice não seria eliminado totalmente.

No cenário 3 haveria um aumento da disponibilidade hídrica em 13m³, o que é superior ao valor de 11m³ que é o défice atual. Mas este valor não garante definitivamente que o défice tenha sido eliminado pois existem ainda as perdas da rede.

No cenário 4, o aumento da disponibilidade hídrica foi de 17m³ e com esse valor podemos concluir definitivamente que o défice foi eliminado passando a existir uma margem na disponibilidade hídrica, situação muito mais desejada que a anterior.

Fator de carga dos Dessalinizadores

O algoritmo sugerido nesta dissertação propõe utilizar a energia eólica disponível, mas que não é produzida para dessalinizar a água do mar sempre que possível. Considerando que existe sempre energia disponível, mas que não está a ser produzida, a nossa variável limitante do sistema vai ser o fator de carga os dessalinizadores. Na figura 29 estão exibidos o fator de carga atual dos dessalinizadores e os fatores de carga nos cenários de operação projetados.



As quatro unidades de dessalinização, exploradas pela Electra, apresentaram um fator de carga de 63% no ano de 2015. O funcionamento das unidades de dessalinização utilizando a nova configuração fica limitado ao fator de carga destes, pois existem limites de produção diária.

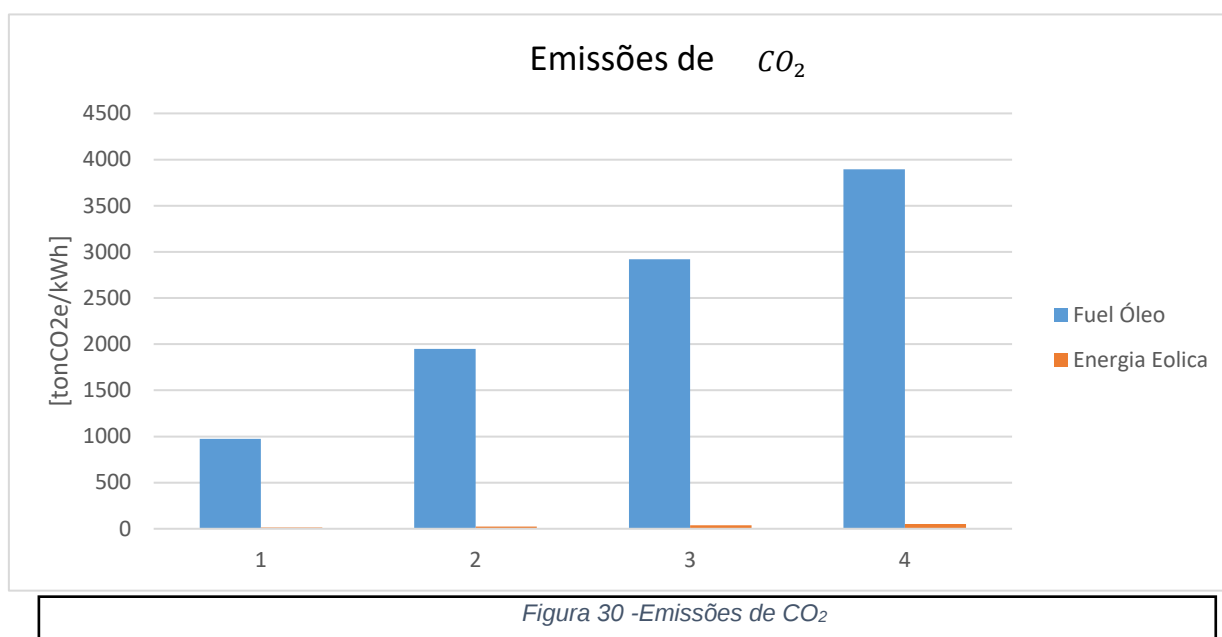
Nos cenários de operação projetados, o algoritmo será capaz de ativar unidades de dessalinização como também elevar a capacidade de produção deste de modo a estarem na potência máxima.

Nos cenários 1,2 e 3 de operação, o algoritmo conseguirá aumentar sempre o fator de carga das unidades de dessalinização, desde que haja disponibilidade de energia eólica. Mas no quarto cenário já não será mais possível aumentar a carga dos dessalinizadores pois este já estará nos 100%, logo até pode haver energia disponível para aproveitar, mas não vai ser aproveitada.

O aproveitamento da energia eólica na dessalinização levará com que as unidades de dessalinização estejam em operação durante mais tempo o que aumenta as necessidades de manutenção, frequência de substituição das membranas, como também as probabilidades de avarias inesperadas.

Emissões de carbono

Na secção “Aumentar a disponibilidade hídrica da ilha” ficou demonstrada que existe um défice de disponibilidade hídrica na ilha, portanto é necessário eliminar esse défice. Para conseguir eliminar esse défice é necessário consumir energia para dessalinização. A figura 30 ilustra a grande diferença, no que toca às emissões de CO₂, quando se utiliza a energia eólica em vez do Fuel Óleo.



Em qualquer um dos cenários de operação projetados a utilização de fuel óleo implicaria sempre emissões de CO₂ muito mais elevados do que a utilização de energia eólica, como se pode constatar na figura 30.

Nos cenários projetados as emissões de CO₂ provenientes do Fuel Óleo vão desde 973,59tonCO₂e/kWh no cenário 1, a 3894,36tonCO₂e/kWh no cenário 4. As emissões de CO₂ devido à utilização da energia eólica vão de 12,51tonCO₂e/kWh no cenário 1 a 50,06tonCO₂e/kWh no cenário 4. Portanto a utilização da energia eólica é muito mais recomendada do que a utilização do Fuel Óleo em relação às emissões de CO₂.

O país poderá tirar partido de uma fonte de energia limpa e endógena. Se optar pela utilização da energia eólica conseguirá promover o desenvolvimento sustentável, pois estará a utilizar uma energia com baixos níveis de emissões de CO₂, e ainda beneficiar da venda de créditos de carbono pois estará a evitar grandes emissões de CO₂ para a atmosfera.

Dessalinização, custos de produção

Como já foi abordado no capítulo 3, mais precisamente na secção 3.2.2 “Custos associados a uma central dessalinização com tecnologia Osmose Inversa”, a variável energia

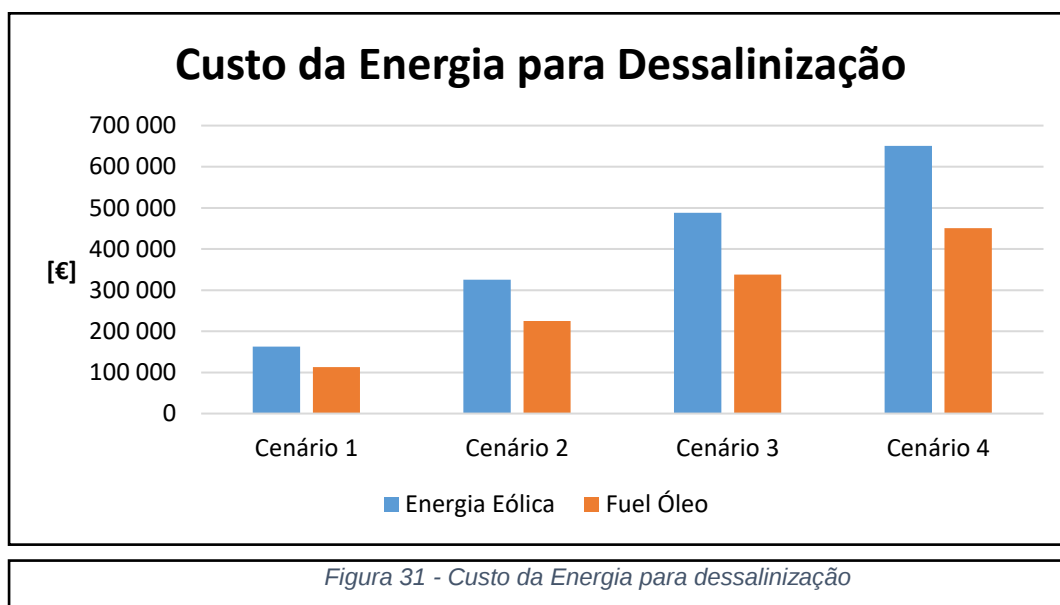
consumida tem um peso de 55% no global dos custos para a produção de água dessalinizada. Sendo assim percebe-se como é importante o preço da energia para a definição do preço de produção. Na tabela 22 estão apresentados os preços do Fuel e a energia eólica para a produção de 1 kWh.

Tabela 22 - Preço de 1kWh em função da origem energética no ano 2015. Fonte (ELECTRA - Empresa de Eletricidade e Água SARL, 2015)

Origem Energética	Preço 1kWh
Central Térmica (Fuel Óleo)	0,09 (€/kWh)
Energia Eólica	0,13 (€/kWh)

Os valores apresentados na tabela 23 são referentes ao ano de 2015. Foi um ano caracterizado por uma descida dos preços do barril de petróleo e por consequente baixa de preços de todos os combustíveis ligados ao petróleo. Nesse ano o custo do Fuel Óleo situou-se nos 0,09€ para 1kWh enquanto a energia eólica vendida pela empresa Cabeólica, num contrato Take or Pay, tem um valor de 0,13€ para 1kWh.

A figura 31 exhibe os custos de produção da água dessalinizada utilizando Fuel Óleo e energia eólica.



A figura 31 permite a comparação dos custos de energia entre a utilização do fuel óleo e a energia eólica para a dessalinização.

No cenário 1, a produção de água dessalinizada projetada será de 148 650.7m³/ano, utilizando 10% da energia eólica disponível, mas não produzida, e terá um custo de 162

682.25€ ao passo que se a mesma quantidade de água fosse produzida utilizando fuel óleo teria um custo de 112 626.17€.

Enquanto no cenário 2, a produção de água dessalinizada projetada será de 297 301.3m³/ano, utilizando 20% da energia eólica disponível, mas não produzida, com um custo de 325 364.50€, se a mesma quantidade de água fosse produzida utilizando fuel óleo teria um custo de 225 252.35€.

Já no cenário 3, a produção de água dessalinizada projetada será de 445 952.0m³/ano, utilizando 30% da energia eólica disponível, mas não produzida, e terá um custo de 488 046.8€ enquanto se a mesma quantidade de água fosse produzida utilizando fuel óleo teria um custo de 337 878.5€.

E por último no cenário 4, a produção de água dessalinizada projetada será de 594 602.6m³/ano, utilizando 40% da energia eólica disponível, mas não produzida, e terá um custo de 650 729.0€ enquanto se a mesma quantidade de água fosse produzida utilizando fuel óleo teria um custo de 450 504.69€.

A baixa dos preços dos combustíveis a nível mundial tem contribuído para que a dessalinização com a utilização do Fuel Óleo seja mais económica do que a utilização da energia eólica, mas temos que levar em conta a grande volatilidade do preço do petróleo pois este se move numa autêntica montanha russa, dado o seu carácter estratégico, o que faz com que a sua cotação seja extraordinariamente sensível a um grande número de condicionantes que a levam à subida ou à queda em períodos de tempo muito curtos.

Reduzir a forte dependência de Cabo Verde dessa matéria-prima deverá ser prioridade absoluta para qualquer Governo. Logo, apesar de a utilização da energia eólica encarecer a produção de água dessalinizada, a utilização da energia eólica é altamente recomendável pois trata-se de um recurso endógeno, e já está estipulado no contrato Take-or-Pay em que, durante 20 anos, a energia eólica vendida pela Cabeólica será de 0,13€ para 1kWh.

Isso permite que haja por parte da empresa responsável da dessalinização, uma certeza do custo da energia, e consequentemente estabilidade no preço da produção de água dessalinizada.

A utilização do fuel para a produção de água dessalinizada faz com que o preço da produção fique dependente da volatilidade dos preços do petróleo e leva a uma imprevisibilidade do preço de produção de água dessalinizada.

Custos de implementação de um sistema de dessalinização acoplado a energia eólica

A utilização da energia renovável para dessalinizar a água do mar já é utilizada em diversas zonas do globo, sendo que em algumas zonas seja a energia renovável a única fonte de energia existente para o processo de dessalinização.

Para criar um sistema de dessalinização acoplado à energia eólica é preciso um investimento inicial elevado, pois será necessário investir em: 1º - unidades de dessalinização; 2º - turbinas eólicas; 3º - rede de ligação entre as unidades de dessalinização e o parque eólico e 4º - outros custos. Os custos mais elevados estão concentrados no 1º e 2º já mencionados.

O caso de estudo trabalhado nesta dissertação, ilha do Sal, possui características que tornam a implementação de um sistema de dessalinização acoplado à energia eólica com investimentos iniciais residuais. Isto acontece porque o parque eólico já está construído e em operação como também a central de dessalinização, daí não haver necessidade de avultados investimentos em infraestruturas, pelo que, apenas se necessita articular os recursos visando maior eficiência e eficácia de todo o sistema.

Neste momento o parque eólico e a central de dessalinização estão ligados à rede elétrica sem que haja uma rede interligando as duas centrais, portanto o maior investimento será na criação de uma rede para interligar diretamente o parque eólico à central de dessalinização.

Marketing em Energias Renováveis

Cabo Verde apostou no Turismo como um dos sectores-chave do desenvolvimento económico e tem, em consequência, investido muito na construção e renovação de infraestruturas portuárias e aeroportuárias, bem como nas de acolhimento turísticos, criando, ao mesmo tempo, condições que atraem investimentos estrangeiros neste setor.

Cabo Verde tem de ambicionar ser e ser percebido como um destino turístico de excelência: sustentável, ecológico, ambiental e de qualidade, indo ao encontro das exigências e produzindo vantagens sociais e económicas, reais, para a sociedade. Nessa linha, sabendo que neste momento o motor da economia cabo-verdiana é o setor do turismo, deve-se aproveitar que as energias renováveis estão muito em foco e criar a imagem que Cabo Verde é um país verde, isto é, a eletricidade consumida nos *resorts* é de fonte renovável, também a água das piscinas e lavatórios consumidos pelos turistas é produzida a partir de um sistema de dessalinização que utiliza a energia eólica como fonte de energia.

O país poderá oferecer aos turistas a oportunidade de apreciar belas praias, bom clima como também bom entretenimento cultural lembrando a estes que estão num destino turístico onde a sua pegada ecológica é bastante reduzida.

Capítulo 5 – Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

5.1. Conclusões

Nesta dissertação, como forma de melhorar e compreender o contexto em que se inseriu a pesquisa empírica, foram selecionados os principais temas de ordem teórica relacionados com energias renováveis, redes elétricas e dessalinização em Cabo Verde.

Sendo uma das prioridades da política nacional cabo-verdiana aumentar a percentagem de energia renovável utilizada, com a complementaridade de maior utilização de uma fonte endógena, poder-se-á melhorar o aproveitamento da energia eólica disponível na ilha do Sal, num dos parques que mais contribuem para aumentar a quantidade de energia disponível não produzida a nível do país.

Com uma velocidade média do vento a rondar os 8m/s e tendo em conta que a eficiência do parque é de 60%, ao acoplar a energia eólica e a dessalinização vai permitir aumentar a eficiência do parque, mediante a necessidade de água. O total de energia disponível não produzida é de 12 514 MWh. Nos cenários projetados revelam margem para aproveitar 40% desse valor.

Em relação ao aumento da disponibilidade hídrica da ilha, pode-se afirmar que a quantidade de água dessalinizada no ano de 2015 foi de 994 515m³. Tendo em conta a população local e adicionalmente a média de turistas no referido ano, chega-se ao valor de 28,29m³/ano por pessoa. Assim pode-se concluir que com maior aproveitamento da energia eólica na dessalinização será possível aumentar a disponibilidade hídrica da ilha tanto para as populações como para os empreendimentos turísticos.

Também é importante salientar que das quatro unidades de dessalinização, em utilização pela Electra, estes possuem um fator de carga de 63%. A utilização da nova configuração fica limitada ao fator de carga dos dessalinizadores, pois estes possuem limites de produção diária. O aproveitamento da energia eólica na dessalinização levará com que as unidades de dessalinização estejam mais tempo em operação o que aumenta as necessidades de manutenção, frequência de substituição das membranas, como também as probabilidades de avarias inesperadas.

Contudo, a baixa dos preços dos combustíveis a nível mundial tem levado com que a dessalinização com a utilização do Fuel Óleo seja mais económica do que a utilização da energia eólica. Tendo em conta que os preços do petróleo no mercado internacional sofrem

oscilações constantes, a utilização da energia eólica poderá diminuir o impacto da instabilidade dos preços de fuel óleo, no preço final de venda de água e energia ao público.

A maior parte das configurações existentes do tipo, no mundo, exige avultados investimentos, pois, não só, requerem investimento numa central de dessalinização, como também num parque eólico. Neste caso o parque já está construído e em operação como também a central de dessalinização, pelo que, apenas se necessita articular os recursos visando maior eficiência e eficácia.

Concluindo, pode-se afirmar que a promoção de energias renováveis está bastante em foco nos dias de hoje. Cabo Verde poderá tirar proveito desta aposta nas energias limpas não só pela utilização destas como também promovendo o destino turístico sustentável. A produção de eletricidade através da energia eólica depende apenas da existência de vento, pelo que sendo uma fonte de energia limpa e ambientalmente com pouco impacto, os parques eólicos devem ser operados sempre que possível.

5.2. Trabalhos futuros

O algoritmo desenvolvido no âmbito desta dissertação poderá ser desenvolvido através de alguma linguagem de programação que melhor se adequa ao programa SCADA.

Uma boa solução a utilizar, no futuro, poderia ser a interligação das ilhas entre si aumentando assim a dimensão da rede e assim permitir uma maior penetração de energia eólica na rede.

A energia eólica, que não é injetada na rede por causa dos limites de segurança, poderia ser utilizada para dessalinizar água para rega, por consequente, uma água que consumiria menos energia com parâmetros de qualidade de água inferior ao do consumo humano.

Um estudo mais detalhado seria a utilização de diagramas de carga da rede em questão e também ter os dados concretos sobre a produção eólica no parque.

Referências

- Águas de Ponta Preta. (2015). *Gestão privada das águas dessalinizadas na ilha do Sal*. Santa Maria.
- Águas de Ponta Preta. (Fevereiro de 2016). *INTEGRAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVAVEIS NO SISTEMA ELECTRICO DA ILHA DO SAL*. Santa Maria, Sal, Cabo Verde.
- Al-Karaghoul, Ali.; Kazamerski, L. (2011). *Renewable Energy Opportunites in Water Desalination*. INTECH Open Access Publisher.
- Conselho de Minisros, Resolução nº 7/2012. (s.d.). Relatorio de Analises dos Recursos Renovaveis e Seleção de ZDER. *Boletim Oficial da Republica de Cabo Verde*, 163-202.
- Costa, A. (2015). Cabo Verde Energy Future. *Munich*, (p. 21). Alemanha.
- DGE - Direção Geral de Energia. (2015). *Plano Nacional de Ação para as Energias Renovaveis Período [2015-2020/2030]*. Praia: Gesto Energy Solution, 2015.
- ELECTRA - Empresa de Eletricidade e Água SARL. (2015). *Relatorio e Contas*. Praia.
- Eltawil, M. A., & Youn, L. (10 de Junho de 2009). A review of renewable energy technologies integrates with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 2245-2262.
- Fonseca, J. (2010). *Integração das Fontes de Energia Renovável em ilhas e Regiões Remotas*. Praia.
- Foundation for Water Research. (2015). *Desalination for Water Supply*. U.K.
- Gesto Energia S.A. (2011). *Plano Energetico Renovável Cabo Verde*. CAbo Verde.
- Gude, V. (12 de Junho de 2014). Energy storage for desalination processes powered by renewable. *Applied Energy*, pp. 3-21.
- Instituto Nacional de Estatística. (Novembro de 2015). Cabo Verde 2015 . *Anuario Estatístico*.
- International Renewable Energy Agency. (2012). *Water Desalination*.
- IRENA. (2015). *RENEWABLE DESALINATION: TECHNOLOGY OPTIONS FOR ISLANDS*. IRENA.
- Levy, J. d. (2008). *Novas fontes de água - reutilização e dessalinização*. Lisboa: Ecoserviços.
- Relatorio e Contas. (2015). *Relatorio e Contas*. Praia.

Santos, A. (Outubro de 2013). Análise Custo/Benefício do Processo da Dessalinização da Água do Mar. *Mestrado em Engenharia Civil - Construções Cíveis*. Leiria.

WaterReuse Association DesalinationCommittee. (19 de 08 de 2017). *WaterReuse Desalination Committee's White Papers*. Obtido de Watereuse.org: https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/10/WaterReuse_Desal_Cost_White_Paper.pdf