

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Optimização do planeamento energético para um
sistema insular integrando produção híbrida
Diesel/eólico/FV**

Claudino Franklim Pereira Mendes

**Dissertação de projecto realizado no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major: Energia**

Orientador: Prof. Cláudio Monteiro

Junho 2008

©Claudio Mendes, 2008

Resumo

O presente trabalho tem como objectivo apresentar uma alternativa credível que possa saciar as carências energéticas da ilha da Boa Vista em Cabo Verde, aproveitando os recursos naturais proporcionados pelas suas características climatéricas. Pretende-se mostrar que um sistema híbrido energético, conciliando as produções diesel, fotovoltaica e eólica, poderá ser um excelente investimento tanto a nível de eficiência do sistema eléctrico como a nível de custos, visto estarmos na presença de uma ilha que aposta no turismo como primordial impulsionador do seu crescimento, exigindo para tal uma nova estratégia para o seu sistema eléctrico.

Para isso, utilizou-se um software específico, o Homer, que possibilitou fazer várias simulações, com o propósito de avaliar e verificar qual a melhor combinação para o sistema híbrido, encontrar a fracção óptima de potência instalada de cada um desses recursos e fazer um estudo de sensibilidade com o intuito de verificar quais as implicações no sistema, na existência de alterações em algumas das variáveis.

Feito este estudo, foi possível verificar que a integração de energias renováveis contribuiu para uma redução significativa do uso de combustível diesel e, conseqüentemente, para a redução do custo do sistema.

Palavras-chave: Sistemas híbridos, energias renováveis, energia eólica, energia fotovoltaica, geradores diesel, software HOMER.

Abstract

The aim of the following essay is to put on view a credible alternative to satisfy to the full the energetic needs of the Boa Vista Island, in Cape Verde, bearing its natural resources and its climatic characteristics in mind.

It pretends to show how a energetic hybrid system with diesel, photovoltaic and wind productions, could be an excellent investment both efficient electric system level and costs level, since the Boa Vista island has a great beat in the tourism industry while its primordial growing stimulator.

In order to work further on this issue, it was used a specific software, the Homer, which allows to create several simulations to evaluate and to check the best combination for the system; to find the optimal fraction potency installed; and to do a research with the goal to verify what implications may occur in the system.

Having this research in mind, it was possible to conclude that the use of renewable sources of energy leads to a significant decrease of diesel fuel use and, therefore, to a decrease of the costs of the system.

Key words: hybrid systems, renewable energies, wind energies, photovoltaic energies, diesel generators, Homer software

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu professor e orientador Cláudio Monteiro pela sua sábia orientação e disponibilidade para tal durante estes últimos anos.

À FEUP, por me acolher e por proporcionar as melhores condições para que eu iniciasse, prosseguisse e concluísse os meus estudos com a maior satisfação.

Aos colegas do departamento de energia do INESC, pelo apoio, disponibilidade e boa disposição que me deram durante o meu estágio de licenciatura.

Aos professores, em especial professores Machado Moura e Franclim Ferreira, e colegas, cujas aulas e convivência foram essenciais para o meu aprendizado nas diversas áreas que englobam o tema energia.

Ao meu colega e amigo Sócrates Monteiro, pelo apoio, pelas conversas, pelos conselhos, e pela companhia.

Ao pessoal do GAS Porto e a Dra. Maria do Céu, por todos os apoios prestados, pelo carinho e pela amizade.

Ao pessoal do Auditório da FEUP, que acolheram-me na sua equipa, pela formação e pelas oportunidades de poder evoluir como técnico de auditório.

À minha flor, que esteve sempre lá quando precisei, que me inspirou e me deu força.

Aos meus verdadeiros amigos, pela força, pelo encorajamento e pela fé que sempre depositaram em mim.

E finalmente aos meus pais e irmão, que sempre me apoiaram incondicionalmente nos meus projectos de vida, me ensinaram a valorizar as coisas simples e que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

REGRESSO

*Mamãe Velha, venha ouvir comigo
O bater da chuva lá no seu portão.
É um bater de amigo
Que vibra dentro do meu coração*

*A chuva amiga, Mamãe Velha, a chuva,
Que há tanto tempo não batia assim...
Ouvi dizer que a Cidade-Velha
– a ilha toda –
Em poucos dias já virou jardim...*

*Dizem que o campo se cobriu de verde
Da cor mais bela porque é a cor da esp'rança
Que a terra, agora, é mesmo Cabo Verde.
– É a tempestade que virou bonança...*

*Venha comigo, Mamãe Velha, venha
Recobre a força e chegue-se ao portão
A chuva amiga já falou mantenha
E bate dentro do meu coração*

Amílcar Cabral

Índice de Conteúdos

Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Conteúdos	xiii
Lista de figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Considerações	1
1.2 Objectivo	3
1.3 Estrutura da tese	4
Capítulo 2	7
Sistemas híbridos	7
2.1 Caracterização e enquadramento	7
2.2 Sistema híbrido para a ilha da Boa Vista	8
2.3 Conceitos e tecnologias ligados a sistemas híbridos	9
2.4 Simulação de sistemas híbridos	13
2.5 Modelo de optimização de SHE	15
Capítulo 3	17
Caracterização do caso em estudo	17
3.1 - A realidade Caboverdiana	17
3.2 - A Ilha da Boa Vista	19
3.2.1 Geografia e recursos	19
3.2.2 Considerações Gerais	19
3.3.3 Distribuição demográfica do consumo	20
3.3 – Caracterização dos componentes e parâmetros utilizados na simulação	21
3.3.1 Consumo energético das cargas primárias	21
3.3.2 Consumo energético da carga deferível	24
3.3.3 Consumos totais Agregados	25
3.3.4 Características técnicas dos recursos	26
3.3.5 Características técnicas dos sistemas produtores	29

3.3.6 Restrições, regras e imposições	31
3.4 Estimativa dos custos e dos componentes do sistema	32
3.4.1 Enquadramento	32
3.4.2 Componentes e custos do sistema produtor	32
3.4.3 - Componentes e custos das redes MT e BT	34
Capitulo 4.....	37
Simulação, optimização e análise de resultado	37
4.1 Configuração básica do sistema híbrido da ilha de Boa Vista.....	37
4.2 Simulação e análise de resultado.....	39
4.3 Optimização e análise de resultado	40
4.3.1 Análise do resultado após optimização	41
4.3.2 Funcionamento do sistema	42
4.4 Caracterização da rede eléctrica de Boa Vista	46
Capitulo5.....	49
Análise de sensibilidade do sistema	49
5.1 - Caracterização	49
5.2 - Variáveis de sensibilidade.....	50
5.3 Simulação e análise de sensibilidade.....	51
Conclusões e recomendações	61
Referencias	63

Lista de figuras

Figura 1.1 – Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde

Figura 1.2 – Mapa de Boa Vista

Figura 2.1 – Básico geral de sistemas híbridos – Eólico/Diesel/Fotovoltaico

Figura 2.3.1 – Gerador Eléctrico

Figura 2.3.2 – Aerogerador

Figura 2.3.3 – Parque Eólico

Figura 2.3.4 – Célula, Módulo e Gerador fotovoltaico

Figura 2.3.5 -Exemplo de aplicação em edifício

Figura 2.3.6 – Dessalinização através de osmose reversa

Figura 2.3.7 – Ambiente de simulação de um Sistema Eléctrico

Figura 2.3.8 – Modelo de optimização de um sistema híbrido

Figura 3.1. – Gráfico do sistema produtor eléctrica em 2005, Cabo Verde

Figura 3.2 – Diagrama de consumos típico de residentes locais, não incluindo dessalinização

Figura 3.3 – Consumo mensal típico em hotéis de 5 estrelas da Região Autónoma da Madeira

Figura 3.4 – Consumo diário típico em hotéis de 5 estrelas das Regiões de S. Mónica, Chave e Varandinha da

Figura 3.5 - consumo diário típico para a população turística

Figura 3.6 - diagrama de carga diário do Homer

Figura 3.7 - Diagrama mensal do consumo eléctrico para a dessalinização de água

Figura 3.8 - Diagrama de consumos totais e agregado

Figura 3.9 – Radiação solar global

Figura 3.10 – Curva de radiação solar ao longo do ano

Figura 3.11 - Distribuição mensal da velocidade média do vento

Figura 3.12 – Distribuição anual da velocidade média do vento

Figura 3.13 – Características técnicas do combustível Diesel

Figura 3.14 – Curva de eficiência do Gerador

Figura 3.15 – Curva da potência do aerogerador

Figura 4.1 – Configuração básica por HOMER

Figura 4.2 – Resultado da simulação do Homer para o esquema base

Figura 4.3 – Produção media mensal de electricidade

Figura 4.4 – Interacção da rede no dia 4 Janeiro

Figura 4.5 – Funcionamento mês de Julho do sistema híbrido por Homer

Figura 4.6 – Sistema Eléctrico de Energia da Boavista

Figuras 5.1, 5.3, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 – Sensibilidade com capacidade armazenamento 60000KWh

Figuras 5.7, 5.8, 5.9 – Sensibilidade com capacidade armazenamento 30000KWh

Figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 – Sensibilidade com capacidade armazenamento variável

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Dados do relatório de cotas de 2005 da Electra

Tabela 3.2 – Evolução da carga humana prevista

Tabela 3.3 - Variação da densidade populacional da ilha da Boa Vista

Tabela 1.4 – Consumos de água e electricidade na dessalinização

Tabela 3.5 - Consumo diário e anual da ilha

Tabela 3.6 – Pontas diárias da ilha de Boa Vista

Tabela 3.7 – Características técnicas do combustível Diesel

Tabela 3.8 – Custos associados a instalação de grupos diesel

Tabela 3.9 – Custos associados a instalação de parques eólicos

Tabela 3.10 – Valores de custos associados a instalação de grupos de painéis de 1KW

Tabela 3.11 – Custos dos cabos da rede de distribuição em BT

Tabela 4.1 – Produção anual de energia eléctrica

Tabela 4.2 - Produção anual de energia eléctrica

Tabela 4.3 – Discriminação dos custos

Tabela 4.4 – Valores de emissão do sistema

Abreviaturas e Símbolos

AC- Corrente alternado

BT – Baixa tensão

DC – Corrente continua

kWh/m² – Quilowatt-hora por metro quadrado

CO₂ – Dióxido de carbono

ETA – Estação de tratamento de água

ETAR - Estação de tratamento de água residual

FV - Fotovoltáico

MT – Media tensão

MW - Mega watt

MWh/d – Mega watt-hora por dia

NPC - Net present cost

SDTIBM – Sociedade do Desenvolvimento das ilhas da Boa Vista e Maio

SEE – sistema eléctrico de energias

SHE – Sistemas híbridos de energia

ZDTI – Zonas de desenvolvimento turístico integrado

Capítulo 1

Introdução

Duas das condicionantes do aprovisionamento da energia primária são a ultraperiferia e a insularidade. Estes factores limitam e impedem o acesso às grandes redes energéticas, tornando os sistemas energéticos muito dependentes do petróleo e muito vulneráveis à volatilidade dos preços dos mercados primários. Em ambientes insulares como a ilha de Boa Vista em Cabo Verde, os métodos convencionais de produção de energias podem representar sérios riscos, custos de produção inadmissíveis e uma enorme dependência do exterior.

1.1 Considerações

Hoje em dia, Boa Vista encontra-se entre os mais procurados destinos turísticos pelos europeus: apresenta belas e extensas praias de areia branca, sol durante todo o ano, uma boa localização geográfica e condições propícias a relaxamento, lazer e desportos náuticos. Devido às características meteorológicas excelentes, esta ilha apresenta níveis de irradiação global com aproveitamento médio anual de 5,72 KWh/m²/dia e uma velocidade média anual de vento de 6,21 m/s. Para além destas vertentes, a ilha começa a evidenciar um panorama de crescimento, tanto no campo económico-financeiro, com elevado investimento a nível de infraestruturas turísticas e de saneamento básico, como no campo social, em que os trabalhadores qualificados são atraídos por tais investimentos e oportunidades de melhor qualidade de vida. Todas estas características, para além de fazerem da Boa Vista uma ilha com elevado potencial turístico, tornam-na uma fonte inesgotável de energias renováveis.

O presente estudo proporcionou-me uma motivação extra, tendo em conta que foi uma excelente oportunidade de por em prática a aprendizagem adquirida ao longo do curso, numa área que sempre despertou-me curiosidade. A oportunidade de estudar, investigar e contribuir na procura de alternativas eficazes e eficientes relativas à poupança e produção de energia foi

algo que sempre me cativou. Associando esta oportunidade ao facto do projecto ter como objecto de estudo a ilha de Boa Vista em Cabo Verde, foi a concretização de um sonho.

As figuras que se seguem correspondem ao mapa de localização de Cabo Verde e ao mapa geográfico da ilha de Boa Vista, identificando os centros habitacionais e as principais praias.



Figura 1.1 – Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde

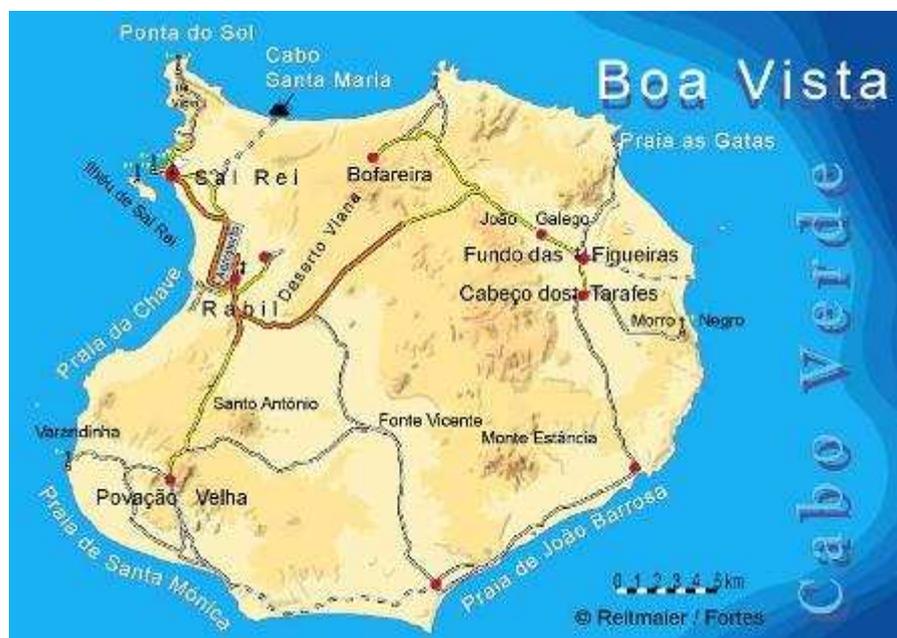


Figura 1.2 – Mapa de Boa Vista

Com intuito de aproveitar as potencialidades turísticas desta ilha, o estado de Cabo Verde criou a Sociedade Desenvolvimento Turístico da Ilha de Boa Vista e Maio, cujo objectivo é

criar e implementar um plano de desenvolvimento turístico, definindo zonas de exploração turísticas e crescimento relacionado, de forma a prever e controlar o progresso da ilha.

O plano consiste em criar ou melhorar infraestruturas básicas, nomeadamente: um novo aeroporto, uma nova estrutura portuária, estação de tratamento de água e para tratamento de efluentes e resíduos sólidos, bem como melhorar estruturas ligados à saúde, às escolas e a centros de lazer. Pretende também criar grandes empreendimentos turísticos como hotéis, resorts e vivendas. Um dos grandes desafios foi assegurar o aprovisionamento de água potável, uma vez que a ilha não possui fontes de água natural. A dessalinização da água do mar mostrou ser a melhor alternativa a esta problemática.

Devido à sua envergadura, o Programa de Desenvolvimento Turístico irá abalar com toda a estrutura eléctrica da ilha, uma vez que o consumo irá atingir valores elevadíssimos comparados com os valores actuais. Cargas com elevado consumo, em particular a carga necessária na dessalinização, e os grandes consumos hoteleiros fizeram com que se tornasse imperativo a criação de um plano de expansão eléctrico para a ilha. Este plano consiste no aproveitamento de todo o potencial energético da ilha, nomeadamente as energias solar e eólica. Deste modo satisfazer-se-ia o novo paradigma de desenvolvimento sustentado que conjuga o desenvolvimento económico com o desenvolvimento social, adicionando uma forte componente ambiental.

1.2 Objectivo

Foi em torno deste plano que se propôs um estudo de produção energética híbrida que integre produção diesel, eólica e fotovoltaico, promovendo o aproveitamento de recursos eléctricos endógenos. O seu principal objectivo é, através da utilização de um software – Homer – e a partir de vários dados relacionados com os componentes dos sistemas de recursos energéticos e estimativa de uma nova demanda, fazer várias simulações até encontrar a melhor solução a nível de eficiência e de custo na implementação de um sistema energético que possibilite a diminuição da dependência de petróleo na produção diesel. De forma a cumprir estes requisitos, foram definidas várias metas que consistiam em:

- Avaliar e verificar qual a melhor combinação dos recursos, partindo de diesel e energias eólica e fotovoltaica;
- Garantir a sustentabilidade do sistema eléctrico da ilha;
- Encontrar a fracção óptima de potência instalada de cada um desses recursos;
- Fazer um estudo de sensibilidade com o intuito de verificar quais as implicações no sistema, alterando algumas das variáveis;
- Encontrar elementos que possam oscilar, afectando o desempenho ou custo do sistema;

- Analisar o modo como as oscilações das variáveis de sensibilidades definidas afectam todo o sistema;
- Avaliar os custos inerentes aos investimentos e à manutenção do sistema.

1.3 Estrutura da tese

Para melhor estruturar a dissertação, agrupou-se o estudo desenvolvido em 4 grandes fases, com especial incidência para a fase de simulação. Assim, numa primeira fase, pretendeu-se dar a conhecer, de uma forma geral mas focada, o que são sistemas híbridos de energia e como são caracterizados. O combinado de diesel com as energias eólica e fotovoltaica existente no SHE em estudo serviu de exemplo prático para mostrar a utilidade da sua implementação, sendo uma opção viável em sistemas isolados de pouca dimensão e de microgeração. No caso da Boa Vista, uma ilha cuja dimensão e o seu carácter insular revelaram ser um óptimo caso de estudo, esta apresenta excelentes valores de energia eólica e fotovoltaica justificados pela existência das características acima referidas. O uso de um software de simulação como o Homer revelou ser de uma utilidade imensa, visto que permitiu obter dados fundamentais para análises, avaliações e procura da melhor solução para o sistema.

Conhecido o sistema em causa, procedeu-se, numa segunda fase, à caracterização do caso em estudo, onde o conhecimento dos dados geográficos e topológicos e as recolhas de valores da demanda energética da ilha são extrema relevância para traçar o esquema da rede e fazer a simulação no Homer. Nesta fase, os conhecimentos sobre o software mostraram ser fundamentais na obtenção de resultados que fossem credíveis e exequíveis, uma vez que a introdução dos dados e a satisfação dos parâmetros exigidos implicam algum conhecimento. Os resultados apresentados foram os mais detalhados possíveis, desde o contributo de cada componente no sistema para a rede, passando pelo estudo de custo e eficiência. Isto permitiu alertar ao utilizador as alterações e impossibilidades ocorridas.

A fase da simulação e análise de resultados foi essencialmente importante: possibilitou a obtenção de várias soluções e de valores, que foram posteriormente analisados, e concluir sobre qual a solução que melhor se adequava à realidade em estudo. Com os resultados obtidos, os parâmetros foram analisados individualmente, variando os valores por excesso ou por defeito, conforme o parâmetro em causa, de forma a obter uma optimização dos resultados. Dado a sua volatilidade, os recursos energéticos foram as variáveis mais estudadas, envolvendo o máximo de cenários possíveis, desde a escassez total à abundância desses recursos. Um dos parâmetros também considerado bastante relevante foi a capacidade de controlo e manobra do SE, pois permitiu controlar os recursos e atender às necessidades do sistema. Uma das formas de o fazer foi através do armazenamento da água para dessalinização, visto ser uma carga deferível que

podia ser diminuída ou mesmo retirada de funcionamento nas horas de ponta, de modo a que o sistema produtor pudesse dar resposta à carga. Durante a análise das soluções, tomou-se em consideração três aspectos: o aspecto ambiental (através do controlo das emissões de CO₂), o aspecto económico (através da análise custos) e a eficiência, de modo a decidir quanto à viabilidade do projecto.

A última fase, porém não menos importante, foi a análise de sensibilidade, na qual foram definidas as variáveis de sensibilidades, que representam os parâmetros do sistema nos quais os valores podem oscilar por vários motivos:

- Imposição do projectista como, por exemplo, a capacidade de armazenamento;
- Razões climatéricas, como a velocidade do vento e a radiação solar;
- Conjuntura do mercado mundo como, por exemplo, o custo do diesel.

Tais oscilações poderiam ser determinantes no traço eléctrico em estudo, afectando tanto o seu custo como a eficiência.

A utilização de toda esta metodologia teve como principal objectivo fazer um estudo o mais pormenorizado possível, com o qual se pudesse obter as melhores soluções para um sistema energético que satisfaça, tanto técnica como economicamente, as várias exigências de uma ilha como a de Boa Vista em Cabo Verde, que se encontra numa fase de grande expansão e de crescimento aos níveis turístico e socio-económico.

Capítulo 2

Sistemas híbridos

2.1 Caracterização e enquadramento

Define-se como um Sistema Híbrido de Energia aquele que utiliza mais de uma fonte primária de energia, dependendo da disponibilidade dos recursos para gerar e distribuir energia eléctrica de forma optimizada e com custos mínimos, dada a capacidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra, permitindo assim que os mesmos operem com o mínimo de interrupções (McGowan e Manwell, 1999; Wichert, 1997).

Estes sistemas representam combinações de diversas formas de gerar e armazenar energia e podem funcionar independentes ou conexos à rede. Combinando diversas fontes e considerando as características específicas de cada uma delas e o perfil do consumo, tais sistemas buscam optimizar o uso energético. A capacidade destes sistemas possibilita o atendimento a elevadas demandas, variando de poucos quilowatts até vários megawatts.

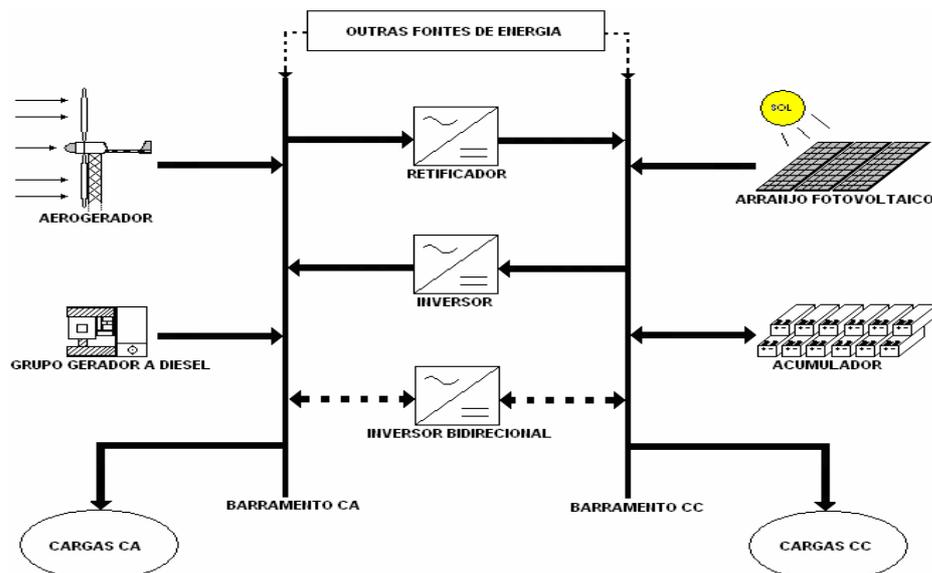


Figura 2.1 – Básico geral de sistemas híbridos – Eólico/ diesel/fotovoltaico

2.2 Sistema híbrido para a ilha da Boa Vista

Para o sistema em estudo, o híbrido adequa na perfeição às necessidades energéticas. Trata-se de uma ilha que, devido ao seu carácter insular, apresenta graves problemas de escassez de água potável. Tal problemática leva a que a dessalinização da água do mar seja uma das poucas vias para suprir essa carência, sabendo que a ilha está a centrar todo o seu projecto de desenvolvimento no turismo de alta qualidade. Uma ilha que, apesar dessas dificuldades, possui recursos energéticos naturais, tais como o sol e o vento, a uma escala mais do que suficiente para um bom aproveitamento e conversão em energia eléctrica.

É perante esse cenário que o presente projecto estudou a possibilidade de implementação de um sistema produção energético Diesel/Eólico/Fotovoltaico. Esse sistema de produção teve como encargo, alimentar toda a carga produzida pelo SE da ilha de Boa Vista. A carga relacionada com consumo energético para a dessalinização foi considerada como carga deferível, ou seja, capaz de ser orientada conforme as necessidades do sistema, As outras cargas foram definidas como cargas primárias e estão ligados a consumos utilizados para a alimentação das infraestruturas turísticas e infraestruturas de base, como o porto, o aeroporto e o saneamento.

O componente eólico do sistema tem um carácter preponderante no que toca à poupança de combustível e redução de emissões de CO₂, uma vez que, para um sistema energético de produção, essencialmente a diesel, o custo do petróleo e as emissões do CO₂ são os principais obstáculos para a sua utilização. No entanto, se ignorado o aspecto ambiental, revela ser uma alternativa economicamente aceitável, considerando que a energia eólica irá amenizar esse consumo de combustível, com uma produção baixa, mas muito útil, suficiente para permitir que os parques estejam em funcionamento constantes.

Este sistema é completamente distribuído, no qual a pequena capacidade das FV ajudam a poupar combustível na hora de ponta, com pequenas produções eléctricas através de painéis instalados nas estruturas hoteleiras e vivendas. Dado o seu elevado custo em relação à sua eficiência, não serão instaladas grandes quantidades de FV.

O poder de gerência da rede é conseguido através da capacidade de controlo do armazenamento de água na dessalinização. Isto torna-se possível devido à existência de tanques de armazenamento de água na ETA, nos quais, em períodos de escassez de vento e/ou de elevado consumo, os dessalinizadores reduzem a produção, podendo desligar por um certo período do dia.

2.3 Conceitos e tecnologias ligados a sistemas híbridos

Hoje em dia, a temática das Energias renováveis é bastante discutida, visto que os preços dos combustíveis têm atribulado a economia mundial. Dado a constante procura de energia, principalmente por mercados emergentes como os da China, Índia e do Brasil, torna-se emergente a procura de alternativas ao petróleo. Mas afinal o que são energias renováveis? Entendem-se por energias renováveis todas as formas de energia cuja taxa de utilização é inferior à sua taxa de renovação. As suas fontes podem ter origem terrestre (energia geotérmica) gravitacional (energia das marés) e solar (energia armazenada na biomassa, energia de radiação solar, energia hidráulica, energia térmica oceânica e energia cinética do vento e das ondas). Também são consideradas fontes de energia renovável os resíduos agrícolas, urbanos e industriais.

Como já foi referido no início do capítulo, um sistema híbrido combina vários sistemas de produção de energias renováveis, com produção térmica e de combustível de origem fóssil. Neste sistema em particular, o SHE integra produção térmica a diesel com energia eólica e energia fotovoltaica. Para tal tipo de sistema, algumas tecnologias de conversão são utilizadas na transformação de energia térmica diesel em electricidade, bem como na transformação de energia solar e eólica em eléctrica. Estamos na presença de um processo que necessita bastante capacidade de armazenamento para otimizar o aproveitamento da componente de energias renováveis, sendo, por isso, escolhida a dessalinização como forma de armazenamento, onde irá ser usada a de osmose inversa, que será explicada num dos parágrafos seguintes.

Assim, na conversão térmica diesel são utilizados geradores diesel que transformam a energia térmica proveniente da combustão do diesel produzindo calor, que acciona uma turbina gerando energia eléctrica. É formado basicamente por um motor a combustão interna acoplado mecanicamente a um gerador eléctrico. Outros combustíveis possíveis de serem utilizados são: a gasolina, o álcool, o gás natural e o biodiesel.

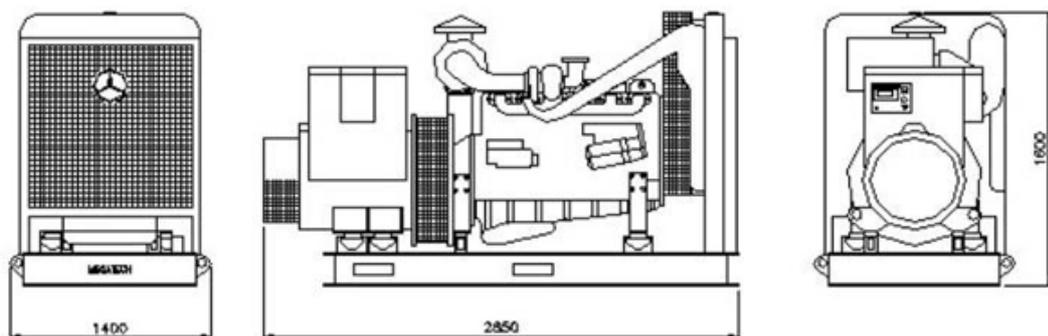


Figura 2.3.1 – Gerador Eléctrico

De forma a estimar o consumo de óleo diesel de um grupo gerador, em função da potência demandada pela carga, Skarstein e Uhlen (1989) desenvolveram uma equação empírica (equação2). Esta equação pode ser utilizada para se estimar o consumo de óleo diesel num determinado período, no caso de se optar pela cobertura de um percentual da carga como o grupo gerador. Basta se obter uma estimativa de quanto tempo o grupo gerador irá atender a carga e qual será a potência demanda.

$$C = 0,08415 \cdot P_N + 0,246 \cdot P_D \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

C : Consumo de óleo diesel (L/h)

P_N : Potência nominal do grupo gerador (KW)

P_D : Potencia instantânea demanda (KW)

Por outro lado, para sabermos a potência fornecida por cada gerador, desenvolveu-se algumas fórmulas de cálculos de potências para motores eléctricos trifásicos:

$$P = \frac{I_N \cdot E \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_M}{1.000} \quad P_a = \frac{P}{\eta_M \cdot \cos\varphi} \Leftrightarrow \frac{P_w}{\cos\varphi} \quad \text{equação (2)}$$

$$I_N = \frac{736 \cdot P_{(CV)}}{\sqrt{3} \cdot E \cdot \cos\varphi \cdot \eta_M} \quad I_N = \frac{1.000 \cdot P_{(kW)}}{\sqrt{3} \cdot E \cdot \cos\varphi \cdot \eta_M}$$

Onde:

P (kW) = Potência disponível no eixo do motor;

P_w (kW) = Potência activa tomada no terminal do motor;

P_a (KVA) = Potência aparente tomada no terminal do motor;

η_M (%) = Rendimento mecânico do motor a carga nominal;

E (V) = Tensão nominal do motor;

$\cos\varphi$ = Factor de potência com carga nominal e

I_N (A) = Corrente nominal do motor.

A conversão eólica é feita aproveitando a energia cinética do vento, resultante das deslocções de massas de ar, podendo ser transformada em energia eléctrica através de turbinas eólicas ou aerogeradores. Para que o sistema seja rentável, é necessário que nos locais de instalação o vento atinja uma velocidade mínima de 4 m/s e máxima de 12 m/s. Para grandes aproveitamentos são construídos parques eólicos. Estão normalmente afastados dos centros de consumo devido ao impacto visual e às inconveniências da rede.

Um aerogerador obtém energia convertendo a energia do vento num binário, actuando sobre as pás do rotor. A quantidade de energia transferida para o rotor pelo vento depende da densidade do ar, da área de varrimento do rotor e da velocidade do vento.

Actualmente, a maior parte das turbinas eólicas são constituídas com três pás. Também é possível encontrar com duas ou apenas uma pá (eventualmente com menor custo em material). A menor estabilidade da turbina é a principal desvantagem das turbinas com uma ou duas pás.

A potência P_t , em watts, extraída por uma turbina eólica, é dada pela expressão abaixo:

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \eta_t \cdot \rho \cdot A v^3 \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

C_p = coeficiente de potência [adimensional];

η_t = eficiência da turbina eólica [adimensional];

ρ = massa específica do ar [kg/m³];

A = área da secção transversal do rotor da turbina eólica [m²];

v = velocidade do vento que incide na turbina eólica [m/s].



Figura 2.3.2 – Aerogerador



2.3.3 - Parque Eólico

A conversão fotovoltaica da luz solar em electricidade é feita pelas células fotovoltaicas, pequenas lâminas delgadas recobertas por uma camada de décimos de milímetro de um material semiconductor, como o silício. Quando as células são expostas a uma fonte de luz, neste caso o Sol, os fotões (partículas de luz) excitam os electrões do semiconductor. Com a energia absorvida dos fotões, os electrões passam para a banda de condução do átomo e criam corrente eléctrica. As células são depois agrupadas para formar os **painéis solares**.

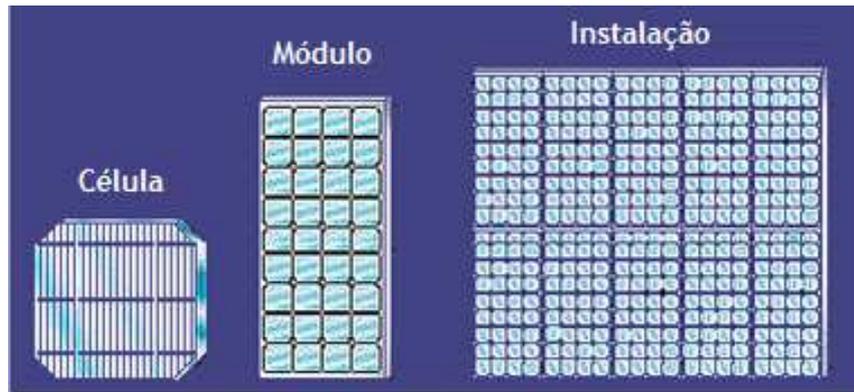


Figura 2.3.4 - Célula, Módulo e Gerador fotovoltaico

A Potência fornecida pelo Painel FV é dado por:

$$P_{PV} = f_{PV} * y_{PV} (I_t / I_s) \quad \text{equação (4)}$$

Em que:

f_{PV} = factor de perdas

y_{PV} = capacidade do painel

I_t = Incidência global de radiação solar

$I_s = 1 \text{ kW/m}^2$

Onde 1 W_p de PV corresponde 800 a 2000 Wh/ano.

Os painéis são utilizados muitas vezes em fachadas de edifícios, conciliando o estético com a eficiência. Porém, na maioria dos painéis actuais, é utilizado um dispositivo de controlo que gira o painel, orientando-o conforme a localização do sol, de modo a obter um maior aproveitamento diário.



Figura 2.3.5 – Exemplo de aplicação em edifício

O rendimento do painel depende da radiação solar directa incidente durante o dia, da temperatura, da tensão e da sujidade do painel. O valor nominal do rendimento é fornecido pelos fabricantes. Caso não seja fornecido directamente pode ser deduzido a partir da potência

de pico e da área do painel. A potência de pico é a máxima potência que o painel consegue debitar em condições de teste standard.

$$h_{PV} = 100 * (P_{PV} / A) \quad \text{equação (5)}$$

h_{PV} - rendimento do painel (%)

P_{PV} - potência de pico do painel (kWp) (Kilowatt pico)

A - área do painel (m²)

Dessalinização é o processo físico-químico de retirada de sais da água. Uma das formas de o fazer é através da chamada osmose inversa. A osmose inversa ocorre através de uma membrana semipermeável que absorve o sal e componentes nocivos à saúde humana e deixa passar apenas a água limpa. Haverá, naturalmente, o fluxo de água pura para a água contaminada, até que o equilíbrio osmótico seja atingido. A osmose inversa é a inversão desse sentido de fluxo, mediante aplicação de uma pressão maior do que a pressão osmótica natural. A água obtida pelo processo de osmose reversa resulta numa água ultra-pura, por um processo de comprovada fiabilidade. A figura a baixo ilustra um modelo de dessalinização através de osmose inversa muito utilizado em regiões onde a água doce é escassa ou de difícil acesso.

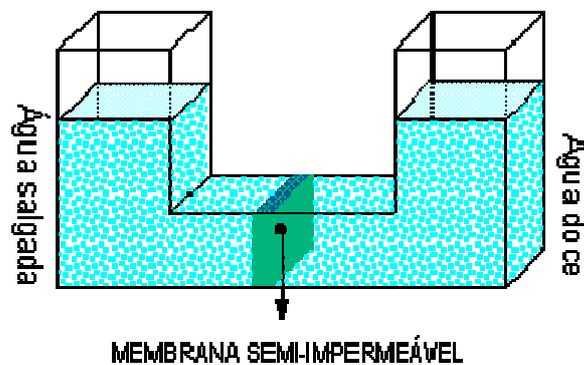


Figura 2.3.6 – Dessalinização através de osmose reversa

2.4 Simulação de sistemas híbridos

Para a simulação de sistemas híbridos, são usadas várias ferramentas que admitem combinações de tecnologias convencionais e renováveis de geração de energia. Das várias ferramentas de simulação existentes, destacam-se três: o Homer, o Hybrid2 e o RETScreen. Os dois primeiros são muito parecidos, diferenciando-se apenas em alguns aspectos de interface e

apresentação de resultados; já o RETScreen é, talvez, o mais completo a nível de detalhes de valores, não sendo tão preciso a nível de interface e apresentação dos gráficos. Para o presente estudo, usou-se o software Homer, visto que, comparando com os restantes, apresentava melhor equilíbrio, resultados detalhados e apresentação gráfica.

O software Homer (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) é geralmente o software de eleição, não só para os estudantes e projectistas, mas também para empresas e laboratórios de pesquisas pois apresenta as seguintes vantagens:

- Permite o desenvolvimento de projectos para sistemas de geração de energia interligados à rede ou para pequenos sistemas isolados;
- Simula ao longo de cada hora, e ao longo do ano, o despacho do sistema híbrido, permitindo em qualquer fase do projecto adicionar ou remover componentes na rede;
- Avalia o contributo de cada componente na rede, o seu custo e a sua afectação na eficiência da mesma;
- Avalia se, ao longo dos anos, o sistema satisfará o crescimento da demanda;
- Fornece dados das várias combinações e faz a optimização desses resultados;
- Permite fazer análises de sensibilidade, analisando e comparando a forma como o sistema se comporta quando se muda as variáveis de sensibilidades escolhidas, relacionando o custo, a eficiência e o índice de emissões de CO₂ na variação dessas.

Ambiente de simulação - Esquema básico

O esquema eléctrico da figura 2.3.5 representa o ambiente básico de sistemas eléctricos com o Homer, isto é, representa o plano de partida para as várias simulações que se pretende, conjugando a demanda com a produção e focando os recursos energéticos, as restrições e limitações impostas.

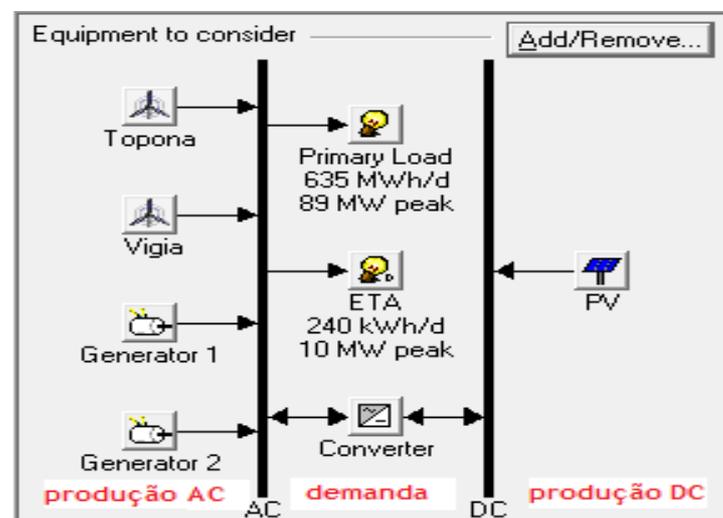


Figura 2.3.7 - Ambiente de simulação de um Sistema Eléctrico

2.5 Modelo de optimização de SHE

A optimização em sistemas híbridos de energia implica uma estruturação dos mesmos, de forma a permitir a coordenação entre as várias fases da sua implementação, conhecer os valores do consumo e jogar com os recursos disponíveis dentro dos critérios definidos, sempre com o intuito de, no final, haver a possibilidade de chegar a um resultado considerado óptimo, respeitando os critérios determinados que, normalmente, são critérios que desrespeitam a eficiência, o custo e o ambiental.

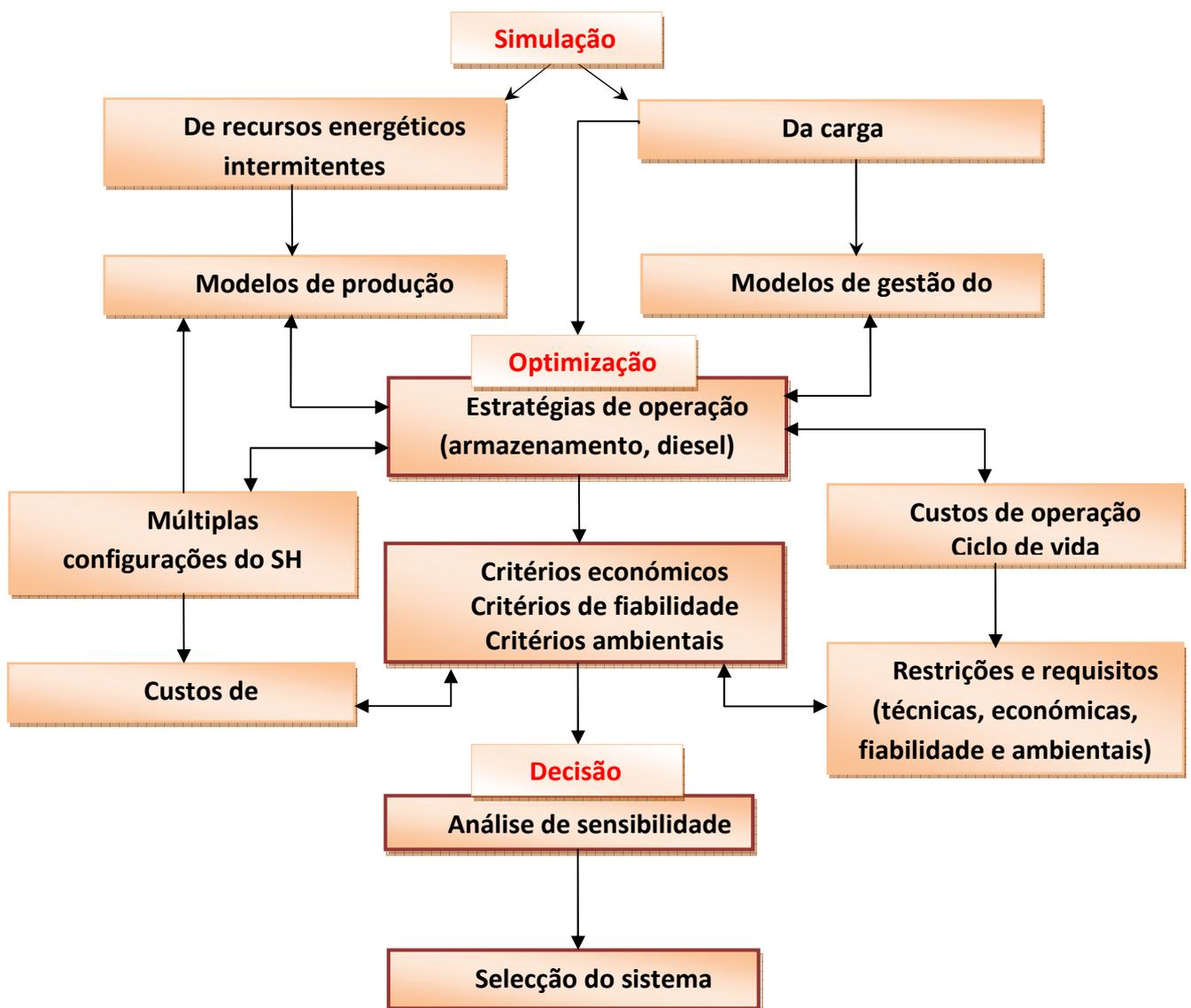


Figura 2.3.8 – Modelo de optimização de um sistema híbrido

Da interpretação do esquema da Figura 2.3.8, podemos verificar que, os vários critérios, fases e restrições são considerados na procura de uma solução óptima que possa satisfazer a demanda em estudo. Assim, na optimização de um sistema híbrido de energia, fases como a simulação de carga e simulação de recursos energéticos intermitente são essenciais na modelação de produção renovável e na modelação de gestão do consumo respectivamente. Por outras palavras, a definição de recursos energéticos a utilizar e o conhecimento da carga a alimentar são fundamentais na determinação de configuração do SH e na definição de estratégias de operação e exploração do sistema. Quando é usada a estratégia de operação, pretende-se usufruir das ferramentas que permitam a gestão do sistema como, por exemplo, a capacidade de armazenamento e o controlo sobre a produção diesel, provendo o sistema de instrumentos de controlo em todas as fases, satisfazendo os critérios e respeitando as restrições. Os critérios que normalmente se pretende satisfazer em SHE estão aliados ao critério económico, ao critério de fiabilidade e aos critérios ambientais onde, para cada critério, estão definidas restrições e requisitos técnicos. Seguindo todas estas fases e conhecendo o custo de cada equipamento, a última fase será a de optimização dos dados e análise das variáveis de sensibilidade para, finalmente, decidir qual a melhor configuração híbrida para o sistema.

Capítulo 3

Caracterização do caso em estudo

3.1 - A realidade Caboverdiana

Apesar de, até há poucos anos, toda a demanda energética de Cabo Verde se saciar na produção de energia eléctrica baseada em combustíveis fósseis, nos dias que decorrem, tornou-se imperativa a concepção da ideia de uma nova política energética, que conota um crescimento que só se suporta através do maior consumo de energia. Tal só é obtido seguindo um novo paradigma de desenvolvimento sustentável, em que o crescimento económico é feito assegurando um desenvolvimento social e respeitando o ambiente. Nessas vertentes, a energia desempenha um papel essencial, tendo em conta que Cabo Verde não possui petróleo nem recursos minerais preciosos que lhe possa servir de moeda de troca, encontrando-se muito vulnerável aos constantes acréscimos do preço do petróleo. É desta feita que a nova política energética pretende encontrar soluções óptimas no que toca ao aproveitamento de energias renováveis e dos recursos naturais do arquipélago que, devido à sua localização geográfica, possui excelentes condições para o aproveitamento da energia do Sol e do vento. É de salientar que, até finais de 2005, apenas uma pequena fatia (3%) de toda a potência instalada correspondia a energias renováveis, fornecida por 4 parques eólicos, como se constata nos dados do relatório de conta de 2005 da Electra, traduzidos na tabela e no gráfico seguintes.

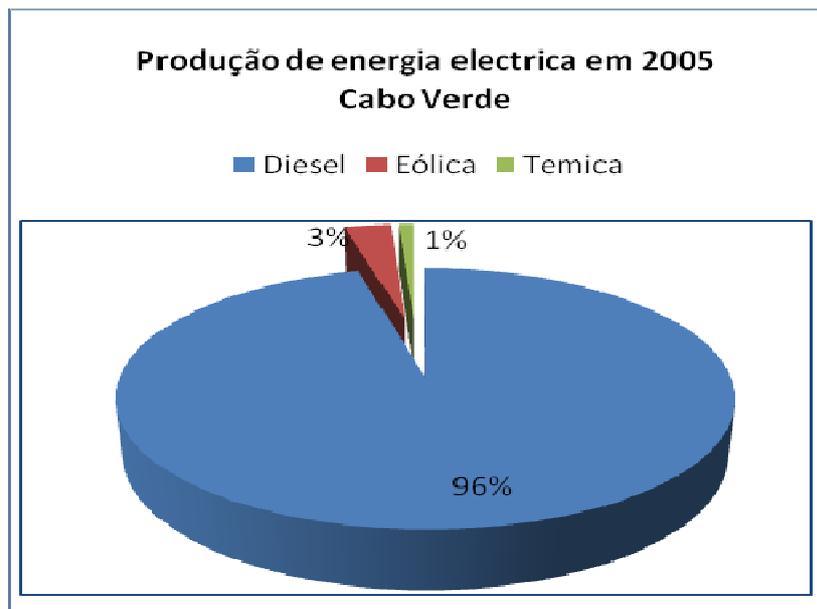


Figura 3.1 – Gráfico do sistema produtor eléctrica em 2005, Cabo Verde

Tabela 3.1 – Dados do relatório de cotas de 2005 da Electra

Ilha	Concelho	Diesel	Eólica
	Porto Novo	1	
	Ribeira grande	1	
Sto. Antão		2	
S. Vicente		2	1
S. Nicolau		1	
Sal		1	1
Boavista		2	
Maio		1	
	Praia	2	1
	Sta Catarina	2	
	Calheta	1	
	Tarrafal	1	
	Sta. Cruz	1	
Santiago		7	
	S. Filipe	2	
	Mosteiro	1	
Fogo		3	1
Braga		1	
Total Electra		21	4

3.2 - A Ilha da Boa Vista

3.2.1 Geografia e recursos

Localizado em pleno oceano Atlântico, com as coordenadas geográficas 15° 58' N e 16° 13' N, 22° 40' W e 22° 58' W, no prolongamento da denominada Faixa Subsariana, que se estende por toda a África setentrional, o arquipélago de Cabo Verde é influenciado pelo comportamento da frente inter-tropical, o que lhe confere um clima tropical seco com duas estações: a estação seca (Novembro a Junho) e a estação húmida (Julho a Outubro). É nesta última que ocorrem precipitações irregulares e pontuais. De todas as ilhas do arquipélago, Boa Vista é a menos populosa e a terceira maior, com uma superfície de 620 km². É a ilha que se situa mais a leste, fazendo dela a mais próxima do continente africano. Devido a tais características, sofre a influência constante dos ventos secos da zona Saheliana, alarmando o problema da desertificação e da erosão, caracterizada pelos longos períodos de seca. No entanto, estas condicionantes permitem a existências de rajadas de vento mais ou menos regulares durante todo o ano, com velocidades médias entre os 5m/s e os 7m/s e ainda radiação solar directa que, em termos médios, é de cerca de 7 horas diárias, associando isso ao facto de que as temperaturas médias diárias do ar oscilam entre os 21°C e os 25°C. Todas estas mais-valias permitem que se considere excelentes para a produção de energias renováveis, necessárias na integração de um sistema híbrido combinado ligado à rede.

3.2.2 Considerações Gerais

A previsão de implementação do projecto, para um período de 20 anos, teve em atenção a evolução gradual do consumo, tendo em conta a dimensão das infraestruturas e a capacidade económica do país.

Na utilização dos dados para a simulação, teve-se em consideração, não só a evolução a nível da produção, do consumo energético e das suas localizações, como também todos os aspectos relacionados com o aumento demográfico, consequência do novo plano de exploração turístico da ilha. Deste modo, identificou-se dois grupos de consumidores específicos: a população turística e a população local permanente ou não turistas. Os dois grupos terão um aumento muito significativo e os seus consumos associados terão um grande impacto no novo traçado energético. Os consumos associados considerados mais importantes foram os consumos das cargas ligados ao porto, ao aeroporto, aos dessalinizadores, às ETAR's, às vias de transporte e à iluminação pública, sem esquecer todos os empreendimentos turísticos ligados aos hotéis, vivendas e resorts.

A dessalinização da água constitui uma das cargas essenciais do estudo, não só pela sua importância a nível de fornecimento de água potável, amenizando o problema de escassez de água limpa bebível, mas também pela sua importância no que diz respeito à gestão de todo o sistema SE, através da sua capacidade de armazenamento de água, permitindo ter um controlo sobre as cargas.

Aqui foram considerados dois grupos de consumidores: a população turística e a população não turística ou local. Também foram distribuídos os consumos e a produção energética em duas grandes regiões – zona norte e zona sul - tendo em consideração a distribuição dos aglomerados populacionais e a localização dos sistemas produtores. A zona norte é a de maior consumo, dado ser onde se localiza a vila de Sal Rei, a principal vila da ilha, que apresenta a maior concentração de população residente, os portos e o aeroporto da ilha.

3.3.3 Distribuição demográfica do consumo

Segundo os estudos estatísticos realizado em 2002, aquando da intenção da criação da SDTIBM, previu-se que a população poderia atingir os 86195 habitantes num período de 20anos. Quando se considera o crescimento turístico e o aumento da população residente, verificando um crescimento populacional de 4200 para 5398 habitantes entre 2002 e 2008, pode-se constatar um grande crescimento. Para o cálculo da população turística, o estudo baseou-se essencialmente nas capacidades de empreendimentos turísticos previstos, auxiliado dos exemplos de países como Madeira e Canárias. Para o cálculo da população residente, o estudo baseou-se nas populações que pudessem advir do aumento de emprego directo e indirecto que as novas infra-estruturas e serviços iriam originar. Os quadros seguintes dar-nos-ão a noção da evolução da carga humana máxima prevista para o período em estudo.

Tabela 3.2 – Evolução da carga humana prevista

População	
Quartos	18920
Taxa de ocupação	2
Ratio emprego directo	0,6
Ratio emprego ind. / emp dir	2,74
Ratios inactivos/activos	0,6
População em 2002	4200,0
Pop. Turista permanente	37840,00
Emprego directo	7378,80
Emprego indirecto	20217,91

Tabela 3.3 – Variação da densidade populacional da ilha da Boa Vista

ÁREA	670 km ²
POP. ACTUAL (2002)	4200
DENSIDADE ACTUAL	6,269 hab/km ²
POPULAÇÃO FUTURA	86194,7392
DENSIDADE FUTURA	128,649 hab/km ²
ACRÉSCIMO GLOBAL	2052,26%
INCREMENTO MÉD. ANUAL	136,82%

(fonte: Dados estatísticos CV 2002)

3.3 – Caracterização dos componentes e parâmetros utilizados na simulação

As previsões da evolução do consumo, o levantamento das características dos recursos energéticos renováveis, o conhecimento dos custos de cada componente do sistema e a definição de algumas restrições fizeram parte das regras e fases que tiveram de ser satisfeitas durante a simulação e optimização dos dados do sistema em estudo.

Assim, foram definidos dois tipos de cargas para a simulação: uma carga primária, que agrega todo o consumo relacionado com população local e turística e uma carga deferível, relacionada com o consumo dos dessalinizadores.

Devido ao seu elevado consumo, relativamente às outras cargas, e à sua possibilidade de variação, os dessalinizadores mereceram um estudo específico, no qual o cálculo do consumo total da ilha irá aportar dois valores distintos: consumos totais com dessalinização e consumos totais sem dessalinização, permitindo obter uma análise comparativa e calcular o impacto dos mesmos na rede.

3.3.1 Consumo energético das cargas primárias

3.3.1.1 Consumos da população local

A avaliação dos consumos da população local foi efectuada em forma de diagramas de consumos típicos observados para os consumos actuais e no valor esperado de consumo por habitante. Em 2005, o consumo era de aproximadamente de 1.23 kWh/dia por habitante, sem dessalinização, sendo a ponta máxima para toda a ilha 0.692MW e o consumo total de 1850

MWh/ano. Supondo uma progressiva aproximação dos valores de consumo típicos europeus, será considerado um aumento do consumo típico para 2,0 kWh/dia por habitante.



Figura 3.2 – Diagrama de consumos típico de residentes locais, não incluindo dessalinização

3.3.1.2 Consumos da população turística

O cálculo da estimativa do consumo turístico a utilizar na simulação foi baseado no número estimado de população turística, através de uma taxa de ocupação de quartos para cada uma das ZDTI, tendo em conta a capacidade das infra-estruturas hoteleiras planeadas e os índices de consumo típicos turísticos para as várias actividades relacionadas, como lazer e desporto. Os valores típicos de referência foram os dos hotéis de 5 estrelas da Madeira, de onde se obtiveram os seguintes indicadores de consumo diário:

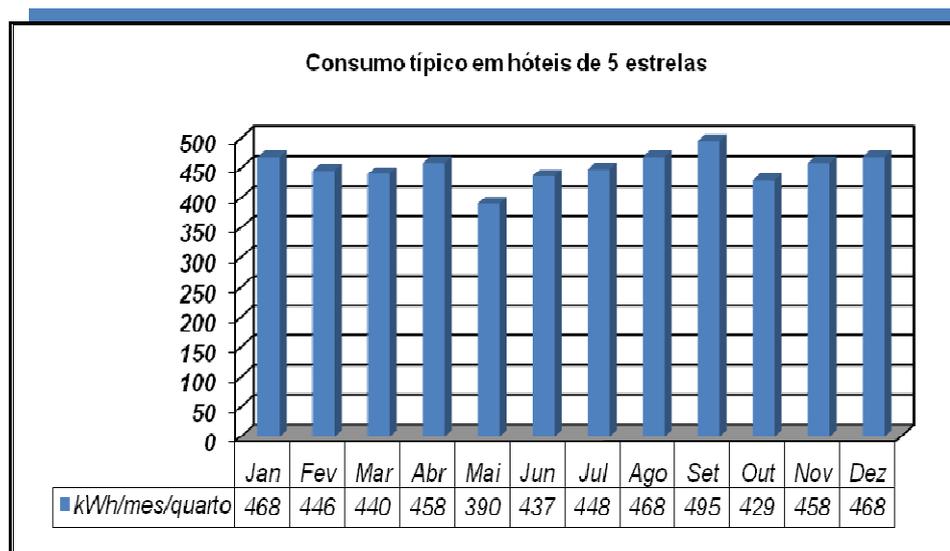


Figura 3.3. – Consumo mensal típico em hotéis de 5 estrelas da Região Autónoma da Madeira (fonte:AREAM)

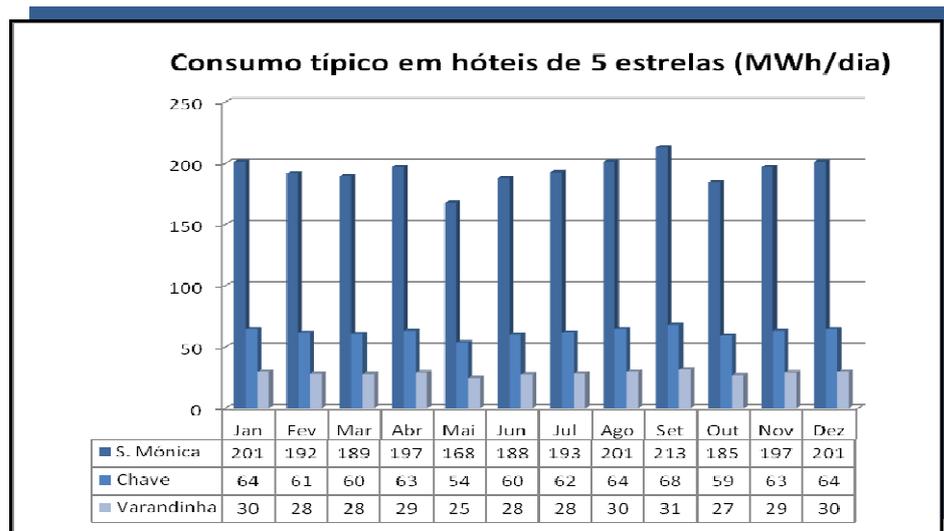


Figura 3.4 - Diagrama mensal de consumo hoteleiro nas ZDTI

Conhecidos os consumos típicos hoteleiros das regiões turísticas definidas e adicionando os consumos associados às actividades turísticas e ao suporte das infraestruturas, pode-se conhecer os valores típicos diários associados à população turista:

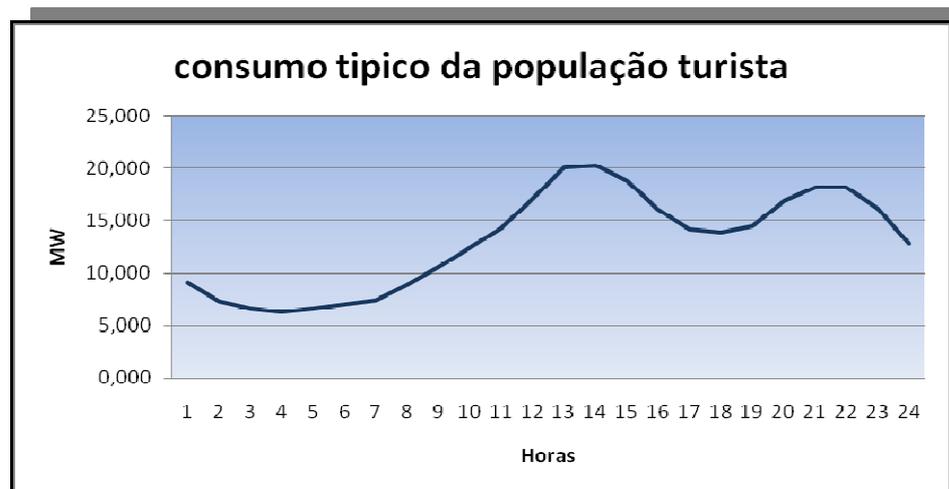


Figura 3.5 - consumo diário típico para a população turística

3.3.1.3 Dados do Homer

Conhecidos os diagramas diários dos consumos locais e dos consumos turísticos, foi possível encontrar valores de consumos diários na ordem dos 96MWh/dia para os locais e 312 MWh/dia para o turismo, perfazendo um total de, aproximadamente, de 408MWh/dia, o que correspondeu ao valor de carga primária utilizada na simulação. Introduzidos esses valores no Homer, foi possível chegar ao diagrama de carga diária da Figura 3.6, com valores de consumo

idênticos ao estimado, apresentando um valor de consumo diário médio de 407,66MWh/d, valor de pico anual de 28,57MW e um factor de carga de 0,6.

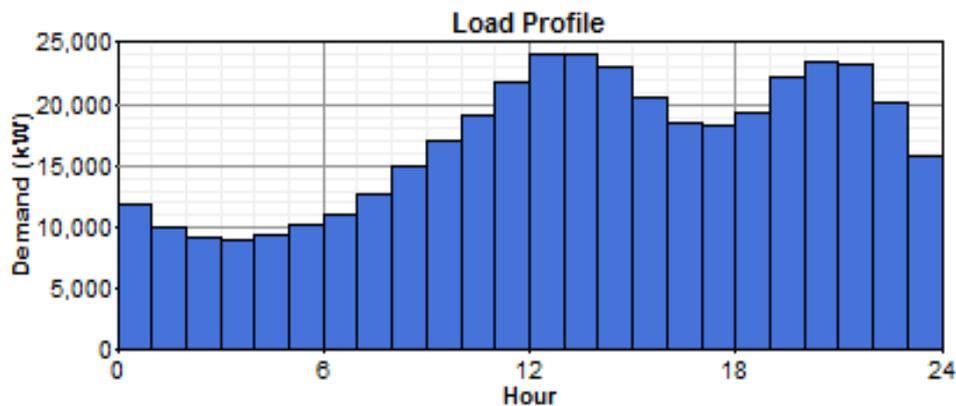


Figura 3.6 - diagrama de carga diário do Homer

3.3.2 Consumo energético da carga deferível

Para estimar o consumo de electricidade na dessalinização, supôs-se a utilização de dessalinizadores baseados em tecnologias de osmose inversa, com consumos per-capita de água e electricidade para turistas e residentes locais indicados na Tabela 3.4. Para os dessalinizadores, supôs-se um diagrama de consumo, constante, ao longo das 24h. Foram instalados dois dessalinizadores para o abastecimento de água, com uma capacidade de armazenamento que garante entre 40% a 50% da produção diária.

Tabela 2.4 – Consumos de água e electricidade na dessalinização

	Nº de pessoas	Consumo de água (m ³ /dia)	Energia por pessoa (KWh/d)	Consumo água total (m ³ /dia)	Energia (KWh/dia)
Turistas	37840	0,5	2,25	18920	85140,0
População local	48355	0,2	0,9	9670,94	43519,3
TOTAL	86195	0,7	3,15	28590,95	128680

Conhecidos os valores de produção de água e de consumo de electricidade, permitiu a introdução no programa obter o diagrama de consumo mensal da Figura 3.7 com valores de consumo diário de 128MWh/d, valor de pico de 15MW e um armazenamento na ordem de 60MW.

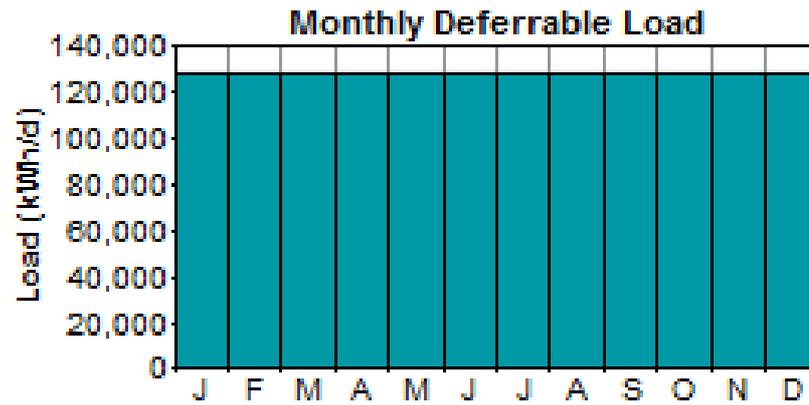


Figura 3.7 – Diagrama mensal do consumo eléctrico para a dessalinização de água

3.3.3 Consumos totais Agregados

Conhecidos os valores da carga primária e da carga deferível, foi possível traçar um diagrama de carga agregada, Figura 3.8, mostrando como se posicionam no consumo total do sistema e como a dessalinização afecta esse consumo. O estudo do agregado permitiu ainda obter os valores totais de consumos diários e anuais, Tabela 3.5, bem como os picos ou pontas máximas de consumos do projecto.

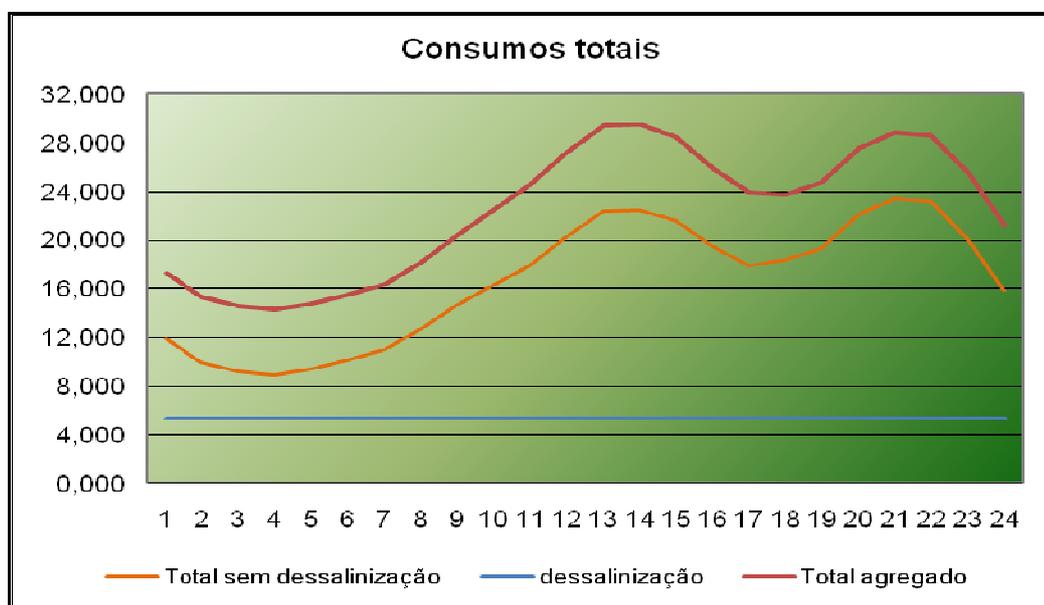


Figura 3.8 - Diagrama de consumos totais e agregado

O consumo diário típico da ilha é dado pela tabela seguinte, onde se pode verificar claramente os valores de consumo diário e anual em estudo. Ao consumo total acrescenta-se um factor de 10% representativo das perdas e consumo interno.

Tabela 3.5 - de consumo diário e anual da ilha

Consumos	Diário (MWh)	Anual (MWh)
Residentes locais	96,71	35298,96
Turístico	312,41	114030,40
Dessalinização	129,00	47085,00
Sub-Total	538,12	196414,36
Perdas e consumo interno		19641,436
TOTAL		216055,79

3.3.3.1 Pontas máximas

Os valores de ponta nas várias localidades da ilha, sem o factor de segurança referido anteriormente, estão representados na Tabela 3.6. Os valores desta tabela somam 37,4MW e são inferiores ao da tabela devido à não simultaneidade entre as pontas dos consumos locais e a ponta dos consumos turístico. No entanto a ponta agregada da carga primária é 24MW.

Tabela 3.6 – Pontas diárias da ilha de Boa Vista

Pontas máximas MW	
Varandinha	1,5
Sta. Mónica	12,1
Chave	6,7
Povoação	6,5
Rabil	2,7
Sal Rei	8,0
Total	37,4

3.3.4 Características técnicas dos recursos

As características dos recursos utilizadas na simulação têm uma importância significativa para o sistema, dado que influenciam de forma directa o custo total do projecto e a taxa de

emissão de CO₂. Deste modo, os três tipos de recursos energéticos, diesel, eólica e fotovoltaico, foram analisados individualmente de forma e detalhada.

A nível de recurso solar, verificou-se uma temperatura em média entre os 25°C e os 21°C, com radiações solares directas de cerca de 7 horas diárias, como se pode verificar nas Figura 3.9 e 3.10, que nos dão uma radiação média diária de 5.72KWh/m²/d.

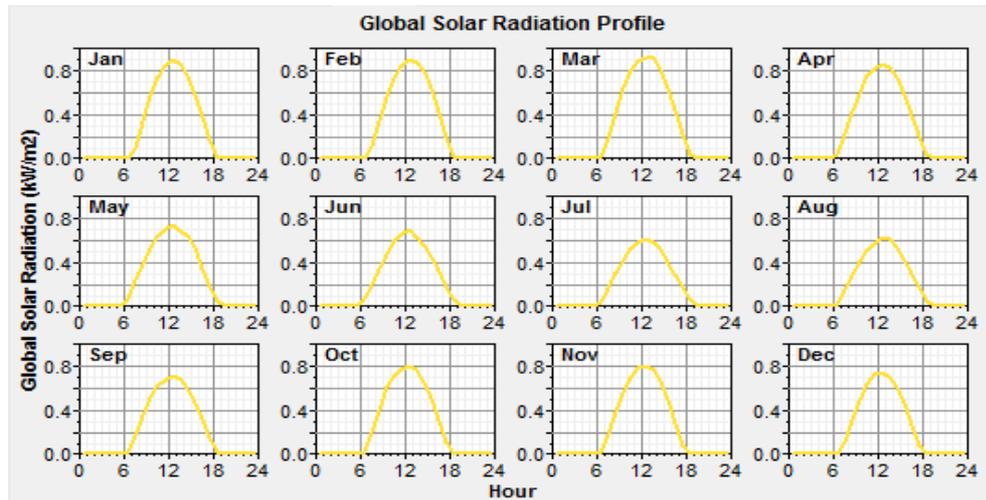


Figura 3.9 – Radiação solar global

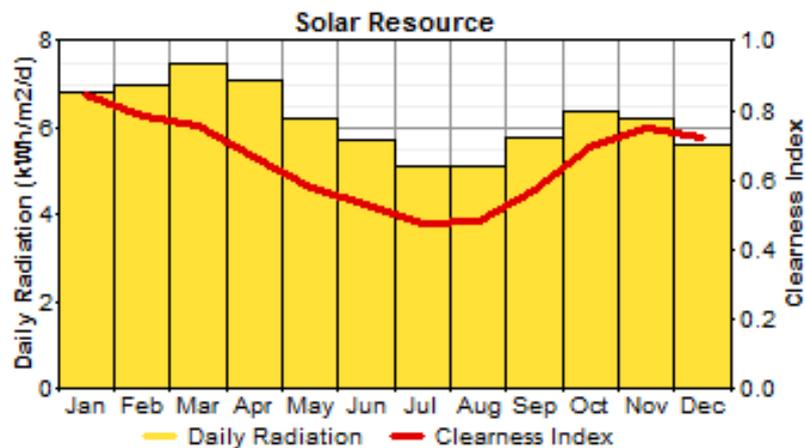


Figura 3.10 – Curva de radiação solar ao longo do ano

Observando as duas figuras acima, constatou-se que os meses de maior radiação foram Fevereiro, Março e Abril, com radiações de 7.00, 7.50 e 7.08 KW/m²/d respectivamente, e que o período diário de maior incidência situava-se entre as 8 e as 15horas, representando excelentes valores no que diz respeito a aproveitamento solar.

Como se pode conferir nas Figuras 3.11 e 3.12, a velocidade média anual do vento ronda os 6,2m/s.

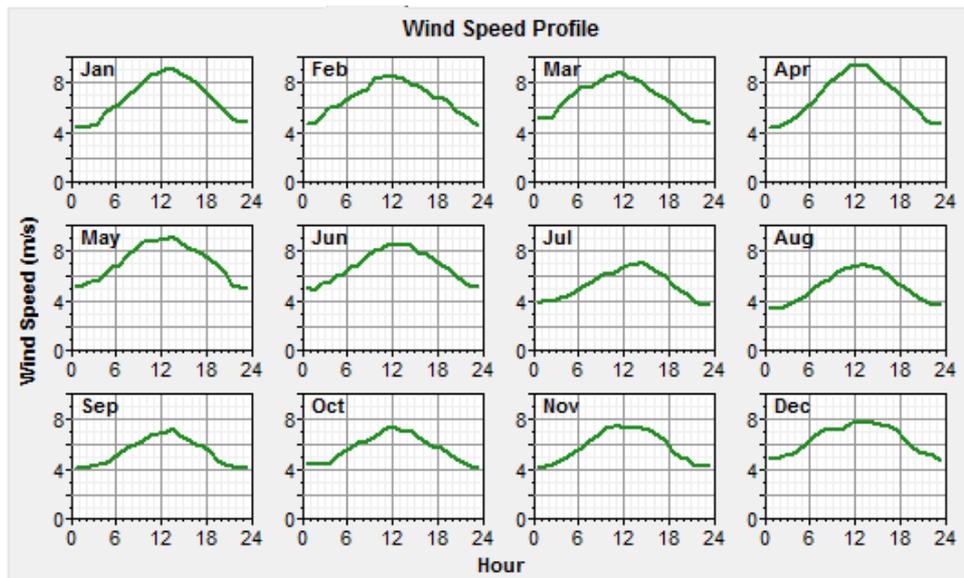


Figura 3.11 - Distribuição mensal da velocidade média do vento

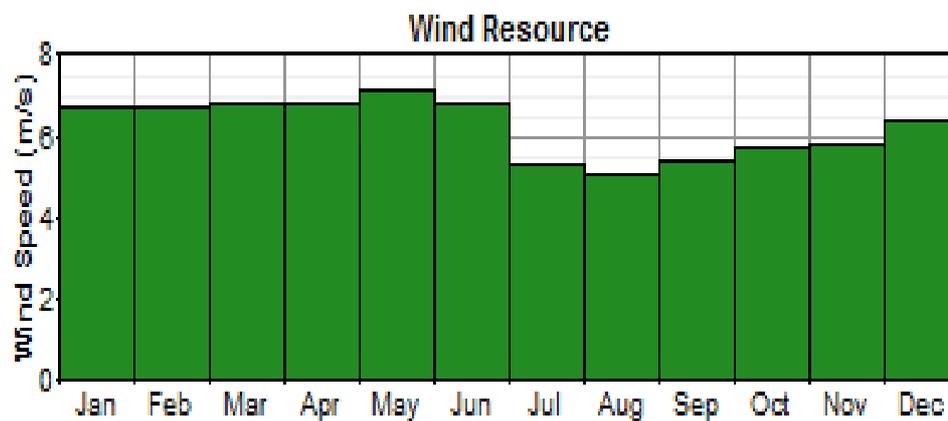


Figura 3.12 – Distribuição anual da velocidade média do vento

As figuras 3.11 e 3.12 levaram a constatar que, os níveis de velocidade de vento em Cabo Verde são propícios para a produção de energia eléctrica, pois considera-se que para ventos superior a 5,5 m/s já se tem um bom aproveitamento e Cabo Verde atinge valores médios de ventos que variam entre os 6 e os 7 m/s.

Esse aproveitamento poderá ser essencial na redução de custos com combustível diesel, e na redução de emissões de CO₂.

Porém, grande parte dos recursos utilizados é de origem fóssil. O combustível utilizado nestas simulações é o Diesel, um derivado do petróleo cujas características estão apresentadas na Figura 3.13.

Price (\$/L)	<input type="text" value="1"/>	{.}
<input type="checkbox"/> Limit usage to (L/yr)	<input type="text" value="5000"/>	{.}
Fuel properties		
Lower heating value:	43.2 MJ/kg	
Density:	820 kg/m ³	
Carbon content:	88 %	
Sulfur content:	0.33 %	

Figura 3.13 – Características técnicas do combustível Diesel

Como se pode verificar, os valores das características do combustível Diesel já estão estipulados, podendo ser alterados conforme o tipo de gerador em uso. No entanto o preço do combustível pode ser alterado em qualquer momento. Para esse primeiro plano, usamos 1 dólar por litro na simulação diesel, tendo em conta os valores do câmbio com o escudo caboverdiano e o actual preço de combustível no mercado.

3.3.5 Características técnicas dos sistemas produtores

Para um sistema produtor, há que haver capacidade suficiente para alimentar a demanda energética durante vários anos. Por isso existe a preocupação de utilizar componentes fiáveis que garantam uma boa performance constante. Deste modo, e considerando os recursos energéticos, pôde-se escolher aerogeradores, painéis FV e geradores diesel que dessem melhores garantias de qualidade. Esses sistemas produtores estão agrupados em geradores diesel, parques eólicos e grupos de painéis fotovoltaicos, com as seguintes características:

3.3.5.1 Geradores Diesel

Para este sistema em particular, foram utilizados grupos de geradores diesel com capacidade de produção de 5MW cada, em AC, com o objectivo de usar essa potência, de forma proporcionar flexibilidade em termos de entrada e saída de grupos, conforme a necessidade da rede. Para a escolha dos geradores da simulação teve-se em conta 4 critérios: os custos, as características do fuel diesel, o modo de operação e os factores de emissão. Em relação ao custo é apresentado uma avaliação no subtítulo 3.3.6; as características do diesel permitiram saber que o nível de calor=43,2MJ/Kg, densidade=820Kg/m³, conteúdo carbónico=88%, conteúdo sulfúrico=0,33% e a eficiência, dada pelo diagrama da Figura 3.14. O modo de operação é optimizado e o factor de emissão permitiu saber que, dos níveis de carbono do diesel emitido,

99,5% corresponde a dióxido de carbono, 0,4% a monóxido de carbono e 0,1% a hidrocarboneto não queimado.

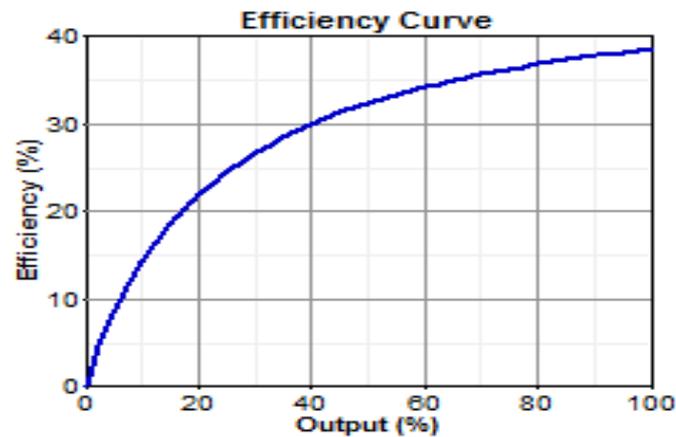


Figura 3.14 – Curva de eficiência do Gerador

3.3.5.2 Os parques eólicos

Os parques eólicos deste sistema usaram aerogeradores com rotor de 15 metros de diâmetros, 3 pás e uma torre de 25 metros, conhecidos como **Atlantic Orient AOC 15/50**, capazes de atingir potências de 600KW para ventos a velocidades iguais ou superiores a 11m/s, conforme se pode constatar na Figura 3.15.

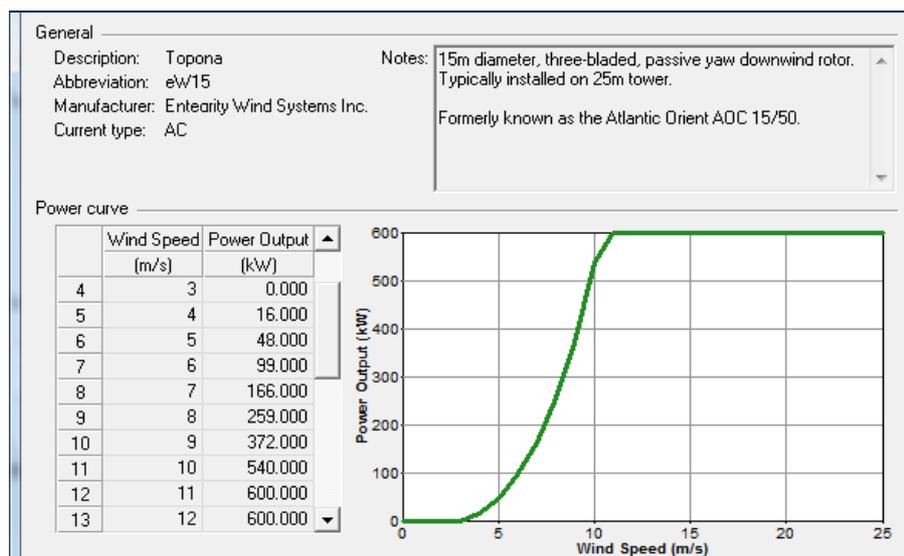


Figura 3.15 – Curva da potência do aerogerador

3.3.5.3 Os Painéis fotovoltaicos

Utilizou-se painéis fotovoltaicos com capacidade de produção até 1KW em DC, com as seguintes propriedades: Tempo de vida estimado = 25anos, factor de derating = 90%, Inclinação = 15° e reflexão terrestre = 20%.

Inversores

Como os painéis funcionam no modo DC, foi necessário integrar conversores inversores que fizessem a transformação de DC para AC.

Os inversores foram da mesma proporção que os painéis a nível de potencia, de forma a garantir a máxima conversão, e têm as seguintes características: Tempo de vida = 15anos, eficiência aproveitamento = 90%, Capacidade de rectificação = 100%, eficiência de rectificação de 85%.

3.3.6 Restrições, regras e imposições

Visto que nos consumos e nas produções foi necessária uma avaliação sobre as restrições, regras e imposições do sistema, permitindo otimizar os dados e chegar a uma melhor decisão. Deste modo, os principais condicionalismos foram aqueles que impuseram restrições a nível da fiabilidade, a nível económico e a nível ambiental.

A nível económico, o HOMER aplica essas restrições de modo a simular o custo do sistema. Para isso, usa critérios como o tempo de vida do projecto (anos), fixação de custos de investimento, fixação de custos de operação e manutenção (€/ano) e capacidade de penalização por falta de energia (€/KWh).

A nível de eficiência, utilizou-se as várias ferramentas de controlo que o programa oferece, como, por exemplo, a permissão para o uso de vários geradores ao mesmo tempo e o uso de um gerador com capacidade menor que o pico da carga. O programa permite também controlar os geradores para que a produção siga a carga ou que haja uma produção independentemente do consumo, sendo que, neste último caso, é ajudada pelas produções renováveis e pelo armazenamento. Uma outra ferramenta igualmente importante é a capacidade de restrição do máximo de carga não alimentada anualmente.

A nível ambiental, impôs-se o mínimo de fracção de energias renováveis necessária ao sistema e, dessa mesma fracção, quais as percentagens de energia solar e de energia eólica, dando a possibilidade de estimular limites e penalizações para a emissão dos gases nocivos ao ambiente.

3.4 Estimativa dos custos e dos componentes do sistema

3.4.1 Enquadramento

No presente trabalho, tão importante como a análise técnica foi o estudo de fiabilidade para a expansão da rede eléctrica de Boa Vista, um estudo económico, ou seja, uma análise de custos associados ao sistema fundamental para determinar se o projecto poderá ou não ser implementado, principalmente quando se tem em consideração a realidade económica de um país como Cabo Verde.

A inconstância dos preços de combustível, a volatilidade dos mercados e as características técnicas dos componentes fazem com que os valores encontrados não sejam fixos e indubitáveis, mas sim sujeitos a variações dentro de uma certa margem a qual se pretende a mais pequena possível.

Como se pode prever, toda a rede eléctrica da ilha irá sofrer expressivas alterações, nomeadamente um aumento da carga que levará a um aumento da produção e consequentemente uma expansão significativa da rede. Assim, a nova estrutura do SE em estudo terá um sistema produtor constituído por duas centrais diesel, dois parques eólicos e por vários painéis fotovoltaicos instalados nos vários empreendimentos turísticos. O SE terá ainda uma rede de média tensão de 30 KV, que assegurará a interligação entre os parques eólicos e a central Diesel e entre esta e as ZDTI; uma rede de baixa tensão assegurará a alimentação das cargas nas ZDTI. Os custos apresentados nesta secção estariam em função dos valores de referência de cada componente dos sistemas produtores e das redes, onde se apresenta os custos totais ligados aos investimentos, substituição, manutenção e operação.

3.4.2 Componentes e custos do sistema produtor

Geradores Diesel

As centrais a Diesel de Sal Rei e Povoação Velha irão assegurar a alimentação de grande parte da rede, sendo constituídas por grupos geradores diesel de 5MW, de modo a garantir a satisfação do valor de consumo de ponta e, pelo menos, mais um grupo para reserva estática, no caso de saída de serviço por avaria ou manutenção.

A opção por este escalão de potência serviu para garantir uma flexibilidade suficiente na gestão da produção do sistema ao melhor custo. O combustível utilizado será gasóleo e o lubrificante será o fuelóleo 380.

Seguidamente serão apresentados na Tabela 3.8 os custos associados a cada grupo de 5MW das centrais diesel.

Tabela 3.8 – Custos associados a instalação de grupos diesel

Custos de referência para Geradores a Diesel	
Investimento (€/kW)	950,00 €
Manutenção (€/MWh/ano)	5,00 €
Operação (€/MWh/ano)	5,00 €
Consumo de fuel (L/MWh)	213,00
Custo do fuel (€/Litro)	0,42 €
Custos de referência para grupos de 5MW	
Investimento (€/kW)	4.750.000 €
Substituição (€/KW)	4.000.000 €

Aerogeradores

Para a instalação de parques eólicos, os custos estimados de investimentos e de substituições foram de uma diferença considerável, visto que o investimento inicial implica vários custos relacionados com obras civis, circuito interno e subestação, que por sua não serão necessários na substituição dos aerogeradores, como se pode confirmar na seguinte Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Custos associados a instalação de parques eólicos

Custo de referência para parques Eólico	
Aerogeradores (€/KW)	500,0 €
Rede interna (€/kW)	50,0 €
Obra civil (€/aerogerador)	100.000,0 €
Subestações (€/subestação de 4MW)	100.000,0 €
Linha (€/km)	35.000,0 €
Estudo e projecto (€) (por parques)	100.000,0 €
Manutenção (€/ano/aerogerador)	20.000,0 €
Seguros e pessoal (€/MW/ano)	1.000,0 €
Aerogeradores de 600KW	
Capital Inicial	
Aerogerador (€)	300.000,0 €
Rede interna (€)	30.000,0 €
Obra civil (€/aerogerador)	100.000,0 €
Subestações (€)	100.000,0 €
Manutenção & Operação	20.600,0 €
Substituição (€)	300.000,0 €

Painéis Fotovoltáicos

Quanto à produção solar, admite-se que os empreendimentos turísticos e as vivendas terão obrigatoriamente uma fracção de auto-produção fotovoltaica que incluirá 2.0 m² de painéis fotovoltaicos ligados à rede por cada quarto, sendo que se pode obter 0,107 kWp de energia por m².

A energia diária produzida foi estimada para painéis policristalinos com eficiência de 10,9% e uma inclinação de 15%. Como já foi referido, a produção eléctrica dos painéis utiliza corrente eléctrica em DC, sendo por isso necessários inversores DC/AC para passar a corrente AC da rede. Os painéis fotovoltaicos e os inversores terão custos estimados de acordo com os valores da tabela seguinte:

Tabela 3.10 – Valores de custos associados a instalação de grupos de painéis de 1KW

Painéis Fotovoltaico grupo 1KW	
Investimento	6.000,0 €
Substituição	4.000,0 €
Manutenção & Operação	50 €/Ano
Inversores grupo 1KW	
Investimento	1.000,0 €
Substituição	700,0 €
Manutenção & Operação	50 €/Ano

3.4.3 - Componentes e custos das redes MT e BT

Para rede MT serão utilizadas linhas aéreas de 30KV, que interligarão as centrais diesel aos parques eólicos e as centrais diesel às zonas de desenvolvimento turísticos.

A rede de distribuição que ligará os vários postos de transformação às cargas será subterrânea, evitando o impacto visual na zona turística. As ZDTI terão uma rede interna em baixa tensão, constituída pelos postos de transformação e cabos de alimentação de BT. Os postos de transformação incluirão o transformador e a respectiva aparelhagem de corte e protecção. Serão considerados transformadores de óleo com potências de 800 KVA. Todos estes elementos serão albergados em estruturas próprias que poderão ser em betão.

Para a rede MT de 30KV serão utilizadas linhas com custo de referência de 35.000,00 €/km, estimando-se um custo total de 805.000,00 €.

Os custos inerentes à rede de distribuição em baixa tensão incluem, para além dos custos com cabos, custos com aberturas de valas (25,00 €/m³) e com a construção de caixas de visita e derivação (250,00 € por caixa). Para o cálculo dos custos com os cabos consideramos os seguintes pressupostos: cada PT terá no máximo 6 saídas em que, o comprimento de cada saída terá, no máximo, 800 m para garantir valores aceitáveis de queda de tensão; no custo dos cabos considerou-se a utilização do cabo VAV 3x16+10 mm², sendo custo de 5.535,00 €/km.

Tabela 11 – Custos dos cabos da rede de distribuição em BT

ZDTI	Números de PT	Saídas por PT	Comprimento total dos cabos (km)	Custo do cabo (€/km)	Total
Chave	9	6	43,2	5.534,70 €	239.099,04 €
Varandinha	2		9,6		53.133,12 €
Santa Mónica	16		76,8		425.064,96 €

A forma de cálculo do custo de investimento utiliza os valores de referência e as potências instaladas, tendo como base a seguinte equação:

$$CI = CN_k * PI_k \quad \text{equação (6)}$$

Onde:

CN_k = custo unitário do componente,

PI_k = potência instalada do componente.

Para a extensão de rede, os custos de investimentos são calculados da seguinte forma:

$$CI_{RD} = CN_{km} * D \quad \text{equação (7)}$$

Onde:

CN_{km} = custo por km das linhas,

D = distância até a rede de transmissão.

Ao custo total associado será acrescentada uma taxa de 30%, correspondente ao factor de insularidade.

Capítulo 4

Simulação, optimização e análise de resultado

Pretende-se aqui analisar os resultados das simulações efectuadas pelo software Homer, fazendo uma optimização dos mesmos, com o objectivo de encontrar a melhor combinação que satisfaça o meu sistema híbrido.

É importante frisar a contribuição que esta fase teve para o estudo, uma vez que foi nesta etapa do projecto que se vislumbrou uma solução admissível para o nosso sistema e se encontrou os valores necessários para o traçado da nossa rede. Analisados todos os valores relacionados com recursos energético, feitas as avaliações dos consumos, conhecidas todas as restrições e condicionalismos do software e feitas as análises técnico-económicas dos sistemas produtores, estaria apto a traçar o esboço do sistema, fazer a sua análise e a simulação para que no final se pudesse fazer o traçado do sistema eléctrico da ilha.

4.1 Configuração básica do sistema híbrido da ilha de Boa Vista

Para a configuração do sistema eléctrico da ilha, foram feitas algumas considerações de forma a facilitar a simulação e tornar o sistema menos complexo, nomeadamente em relação às cargas, aos sistemas de produção e aos condicionalismos do sistema híbrido.

Relativamente às cargas, teve-se em consideração o facto de que todos os consumos da ilha encontram-se concentrados em dois tipos de cargas: a carga primária, onde se concentram todos os consumos exceptuando o consumo da dessalinização, e a carga deferível, relativa ao consumo da dessalinização de água.

Relativamente aos sistemas de produção, foram considerados apenas uma central de produção diesel e um parque eólico, ao invés do que se projectou para a ilha, já que, apesar de no projecto se planear duas centrais diesel e dois parques eólicos, na simulação considerou-se que esses grupos teriam as mesmas características e estariam interligadas, logo seriam simulados como se fossem um único grupo diesel e um parque eólico com potências acumuladas. Quanto aos painéis solares, foi utilizado um único modelo, tanto na simulação como no projecto, em que a produção obtida na simulação é a soma de todos os painéis estimados para o sistema.

Em relação aos condicionalismos para essa configuração básica, impôs-se 10% de fracção mínima de energias renováveis em que, dessa fracção, 20% seria fotovoltaico e 80% seria eólica e ainda 5% seria de capacidade anual de escassez de energia, com um custo de 0,5 €/KWh.

Após serem feitas essas considerações na configuração, foi possível esboçar o esquema do sistema em causa, como se pode verificar na Figura 4.1.

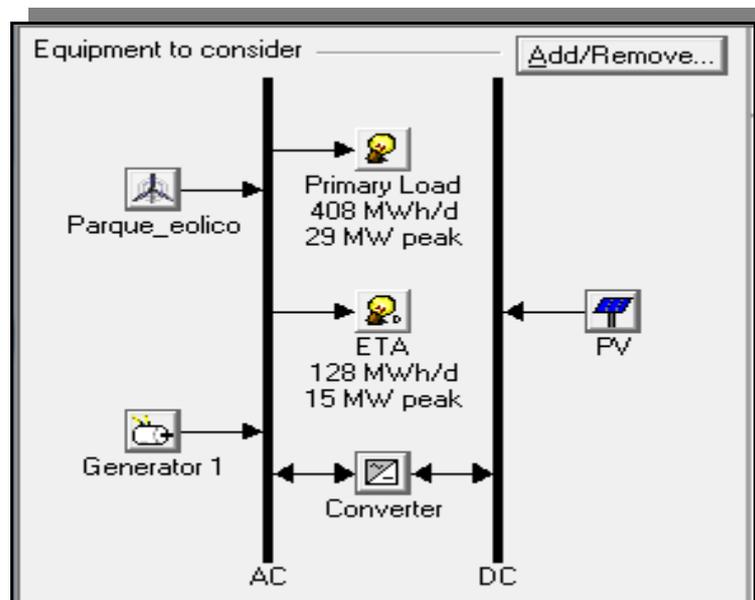


Figura 4.1 – Configuração básica por HOMER

4.2 Simulação e análise de resultado

Conhecido o esquema da rede e implementadas as considerações nas configurações, passou-se à simulação propriamente dita. Nesta fase, os resultados apresentados são combinações das várias configurações híbridas possíveis. A Figura 4.2 demonstra esses resultados que foram posteriormente analisados. Pode-se ainda constatar que os resultados são ordenados de forma crescente de acordo com o NPC, e todos restantes parâmetros económicos são calculados com o propósito de encontrar o NPC. O NPC é calculado segundo a equação seguinte:

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad \text{equação (8)}$$

Onde:

- $C_{ann,tot}$ = Custo total anual [\$/yr]
- $CRF()$ = Factor de recuperação do capital
- i = Índice de interesse [%]
- R_{proj} = Tempo de implementação projecto [yr]

Analisados os resultados da figura 4.2, verificou-se que o resultado que apresenta menos custo total efectivo da rede (total NPC), assinalado a azul, possui uma configuração que não integra produção de energias fotovoltaicas, apresentando um Total NPC de 771180288€ e um custo de energia de 0,287€/KWh. O parque eólico utiliza 20 aerogeradores de 600KW e a central diesel utiliza grupos diesel que totalizam 25000KW. O total de investimento inicial na produção é de 38350000€, que inclui o custo de investimento anual e o custo de substituição que no final totalizam 8069196€/ano. O custo da manutenção do diesel é de 47956212€/ano, o que perfaz um custo anual de cerca de 56025408€. Quanto à produção, os 20 aerogeradores e a central diesel produzem anualmente cerca de 195,522,336Kwh/ano de energia eléctrica, como se pode verificar na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Produção anual de energia eléctrica

Componentes	Produção (kWh/ano)	Fracção
Aerogeradores	28,206,550	14%
Geradores	167,315,792	86%
Total	195,522,336	100%

Sensitivity Results Optimization Results

Double click on a system below for simulation results. Categorized Overall

	PV (kW)	eW15	Gen1 (kW)	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
		20	25...		\$ 38,350,...	\$ 771,180,...	0.287	0.14	0.01	46,588,...	8,760
	450	20	25...	400	\$ 41,450,...	\$ 774,498,...	0.288	0.15	0.01	46,541,...	8,760
	450	20	25...	450	\$ 41,500,...	\$ 774,597,...	0.288	0.15	0.01	46,541,...	8,760
	450	20	25...	500	\$ 41,550,...	\$ 774,696,...	0.288	0.15	0.01	46,541,...	8,760
	500	20	25...	400	\$ 41,750,...	\$ 774,788,...	0.288	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	500	20	25...	450	\$ 41,800,...	\$ 774,882,...	0.288	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	500	20	25...	500	\$ 41,850,...	\$ 774,980,...	0.288	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	450	20	25...	1000	\$ 42,050,...	\$ 775,686,...	0.288	0.15	0.01	46,541,...	8,760
	500	20	25...	1000	\$ 42,350,...	\$ 775,971,...	0.288	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	450	20	25...	2000	\$ 43,050,...	\$ 777,667,...	0.289	0.15	0.01	46,541,...	8,760
		18	25...		\$ 37,090,...	\$ 777,880,...	0.289	0.13	0.01	47,182,...	8,760
	500	20	25...	2000	\$ 43,350,...	\$ 777,951,...	0.289	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	1000	20	25...	400	\$ 44,750,...	\$ 778,094,...	0.289	0.15	0.01	46,520,...	8,760
	1000	20	25...	450	\$ 44,800,...	\$ 778,112,...	0.289	0.15	0.01	46,514,...	8,760
	1000	20	25...	500	\$ 44,850,...	\$ 778,137,...	0.289	0.15	0.01	46,509,...	8,760
	1000	20	25...	1000	\$ 45,350,...	\$ 778,873,...	0.289	0.15	0.01	46,490,...	8,760
	450	20	25...	3000	\$ 44,050,...	\$ 779,647,...	0.290	0.15	0.01	46,541,...	8,760
	500	20	25...	3000	\$ 44,350,...	\$ 779,931,...	0.290	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	450	20	25...	3500	\$ 44,550,...	\$ 780,637,...	0.290	0.15	0.01	46,541,...	8,760
	1000	20	25...	2000	\$ 46,350,...	\$ 780,853,...	0.290	0.15	0.01	46,490,...	8,760
	500	20	25...	3500	\$ 44,850,...	\$ 780,921,...	0.290	0.15	0.01	46,536,...	8,760
	450	18	25...	400	\$ 40,190,...	\$ 781,148,...	0.290	0.13	0.01	47,131,...	8,760
	450	18	25...	450	\$ 40,240,...	\$ 781,247,...	0.290	0.13	0.01	47,131,...	8,760
		17	25...		\$ 36,460,...	\$ 781,263,...	0.290	0.12	0.01	47,481,...	8,760
	450	18	25...	500	\$ 40,290,...	\$ 781,346,...	0.290	0.13	0.01	47,131,...	8,760
	500	18	25...	400	\$ 40,490,...	\$ 781,434,...	0.290	0.13	0.01	47,126,...	8,760

Figura 4.2 – Resultado da simulação do Homer para o esquema base

4.3 Otimização e análise de resultado

Apesar do menor valor de NPC, a utilização duma configuração que interliga apenas produção eólico, sem produção fotovoltaico, conectado à rede, não foi considerada, pois descaracterizaria o propósito deste estudo, ou seja, não corresponde à configuração pretendida pois não integra produção fotovoltaica, como se pretendeu.

Deste modo foi necessário analisar os outros resultados, constatando-se que, de todos os resultados, os que satisfaziam às configurações pretendidas e que apresentavam menor NPC são os da posição 2 e 3, assinaladas na Figura 4.2 com as cores vermelha e amarela.

Com o intuito de se saber qual a melhor configuração, fez-se uma otimização categorizada que mostra que o resultado que melhor satisfaz os requisitos impostos é o da posição 2. A

optimização foi feita de modo a minimizar o custo de exploração, ou seja, de forma a otimizar a curva de eficiência versus custo.

Portanto, menor NPC não implica melhor eficiência. Deste modo fez-se uma análise detalhada desse resultado, com o objectivo de verificar se o sistema   fiável, ou seja, se o sistema produtor híbrido conseguiria alimentar a carga e como   que o sistema se comporta.

4.3.1 Análise do resultado após optimização

Após optimização, a solução encontrada foi um sistema híbrido que integrava o diesel com o eólico e o fotovoltaico, com 450KW de potência em painéis solares, usando um inversor de 400KW, 20 aerogeradores no parque eólico e uma central diesel com 25000KW de potência instalada. Tudo isto totaliza uma capacidade de produção anual de 196193888 KWh/ano, distribuída conforme a Tabela 4.2 e a Figura 4.3.

Tabela 4.2 - Produção anual de energia eléctrica

Componentes	Produção	Fracção
	(kWh/ano)	
Painéis	893,760	0%
Aerogeradores	28,206,550	14%
Central diesel	167,093,584	85%
Total	196,193,888	100%

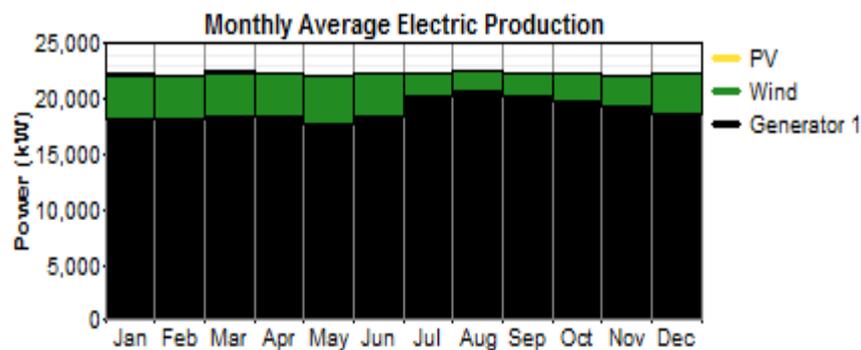


Figura 4.3 – Produção media mensal de electricidade

Em relação aos custos, verificou-se um custo total efectivo NPC de 774,498,816  e um custo de energia de 0.288  /KWh, em que os custos detalhados são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Discriminação dos custos

Componentes	Inicial Capital	Custo anual de investimento	Custo anual de substituição	Custo anual de O&M	Custo anual de combustível	Custo total anual
	(€)	(€/ano)	(€/ano)	(€/ano)	(€/ano)	(€/ano)
Painéis	2700000	196152	12254	22500	0	230906
Parque eólico	12600000	915376	97967	412000	0	1425343
Central diesel	23750000	1725412	5185143	43800	46541300	53495656
Inversor	400000	29060	8488	20000	0	57547
Outros	2000000	145298	0	911747	0	1057045
Total	41450000	3011298	5303852	1410047	46541300	56266496

Em relação às emissões, são mostrados na Tabela 4.4 os valores produzidos pelo sistema, podendo-se constatar que a maior percentagem das emissões corresponde ao dióxido de carbono com 122558576 kg/ano.

Tabela 4.4 – Valores de emissão do sistema

Poluentes	Emissões (kg/ano)
Dióxido Carbono	122,558,576
Monóxido Carbono	302,518
Hidrocarboneto não queimada	33,510
Partículas de matéria	22,805
Dióxido enxofre	246,119
Oxido nitrogénio	2,699,396

4.3.2 Funcionamento do sistema

Conhecidas as características da produção, os valores dos custos e as taxas de emissões, procedeu-se à análise da forma como os componentes da rede eléctrica interagem entre si. A melhor forma de se verificar isso foi através da análise de um gráfico de interacção diário e um gráfico de interacção mensal, escolhidos aleatoriamente.

4.3.2.1 Interac o diária da rede

O gráfico da figura 4.4 corresponde ao gráfico do dia 4 de Janeiro, tendo sido escolhido aleatoriamente e, relativamente a esse dia, foi possível observar que, nas primeiras horas, entre as zero e as seis horas, o consumo mínimo foi cerca de 8795KW, uma vez que os consumos da carga primária foram muito baixos e a carga deferivel foi sempre constante. Visto que havia algum vento mas não havia energia solar, a alimenta o das cargas foi garantida pelos aerogeradores e pelos geradores diesel, que tinham uma produ o significativa, dada a baixa produ o eólica provocada pela velocidade fraca de vento. A partir das 6h, o consumo da carga primária vai aumentando até chegar ao pico diário entre as 13h e 14h. Porém, nessa altura, já se pôde contar com mais vento e, conseqentemente, com uma maior produ o eólica que iria auxiliar a produ o diesel na alimenta o dessas cargas 24222KW. No entanto, nessa altura já se pode contar com a produ o fotovoltaica que pode atingir 403KW de potência, pouco expressivo na rede mas de grande contribui o nos locais instalados. Após atingir o pico diário a carga volta a baixar até atingir os 17573KW por volta das 16h, em que a produ o diesel também vai diminuir, uma vez que nessa altura a velocidade do vento continua bastante significativo. A partir das 16h a carga volta a aumentar até subir as 22h voltando a descer, a partir dai até ao mínimo, nesse período das 16h as 22h a produ o diesel aumenta com a carga chegando mesmo ao pico com 24330KW de produ o, visto que a partir das 18h30, a velocidade do vento volta a diminuir até os seu valores mínimos e já não há produ o fotovoltaica. Durante esse período de 24h foi possível alimentar toda a carga com apenas algum excesso de electricidade entra as 8h e as 16h.

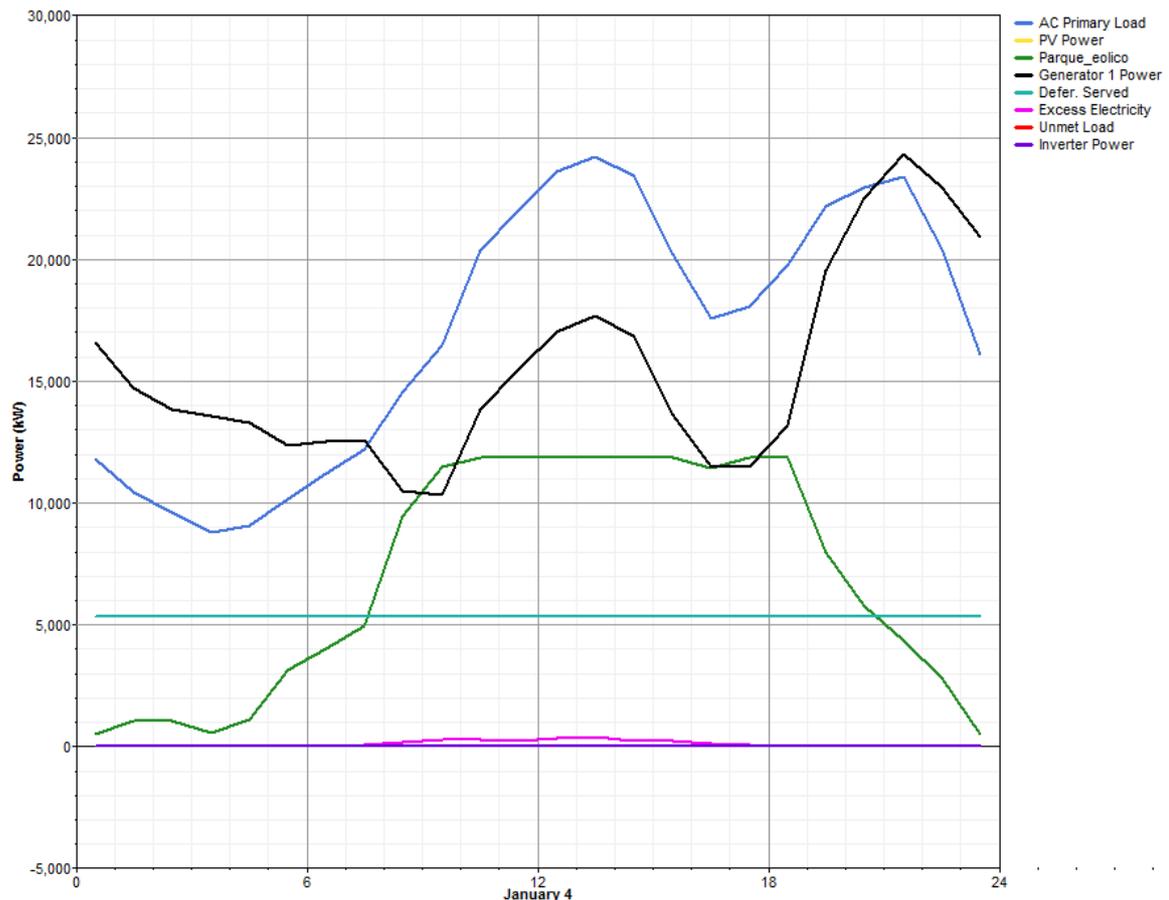


Figura 4.4 – Interação da rede no dia 4 Janeiro

4.3.2.2 Interação mensal da rede

Da interpretação do gráfico da figura 4.5 conclui-se que a carga primária irá oscilar muitas vezes ao longo do dia, ao longo das semanas e ao longo dos meses, conforme as necessidades do consumo da rede, mas nunca chegam a atingir o valor de pico máximo estipulado (verificar), e que apenas em algumas alturas do ano, em alguns meses e por algumas horas os picos das cargas não são atendidas pelo sistema.

A carga deferível da dessalinização também irá oscilar, diminuindo o seu consumo quando o sistema produtor tem dificuldades em satisfazer os picos de consumo da carga primária, muitas vezes por falta de vento e ou porque a produção diesel esta a atingir a sua capacidade limite, nesse período o que acontece é que, os dessalinizadores diminuem ou para de produzir e o abastecimento de água é assegurada pelos tanques de armazenamento, e quando consumo da carga primária volta a diminuir os dessalinizadores aumentam a sua produção até repor a água nos tanques de armazenamentos e depois volta a produção normal.

Em relação a produção, verificou-se que, a produção eólica é sempre utilizada na sua totalidade, e quando o consumo da carga primária é mínimo é a produção eólica que assegura grande parte da sua alimentação, auxiliando assim na diminuição da produção diesel e consequentemente nos gastos com combustível e emissão de poluentes.

Em relação a produção de energia pelo diesel verificou-se que esta varia conforme a necessidade da carga e da disponibilidade do vento. Sendo que quase sempre na sua produção máxima quando a carga atinge os picos diários ou quando se tem uma carga media mas não se tem vento, confirmando ser o suporte da rede em termos de produção e alimentação da carga.

As produções fotovoltaicas oscilam muito durante o ano, sendo que o seu aproveitamento se decorrer diariamente entre as 8h e as 18h.

Da análise verificou-se ainda que em alguns períodos do ano temos pequenos excessos de electricidade, principalmente quando a velocidade do vento é significativo. Menores ainda são os períodos em que durante o ano não se consegue alimentar parte das pontas das cargas, sendo apenas em períodos de pontas excessivos e de pouco vento.

4.3.2.3 Conclusão das análises

Após serem feitas as análises pormenorizadas dos custos da eficiência, das emissões e do funcionamento do sistema híbrido, conclui-se que este se encontra dentro dos valores e parâmetros esperados para o projecto. Onde a produção diesel representa 85% da energia eléctrica produzida, significando que será o sistema de produção principal como se esperava, que 14% da energia eléctrica vinha da produção eólica e os restantes da produção fotovoltaica. Conclui-se ainda que dos 196193888KWh de electricidade produzida, 195487392KWh serviu para alimentar as cargas distribuídas em 148768592KWh para consumo da carga primária e 46718796KWh serviu para alimentar a carga deferível dos dessalinizadores.

Grande importância teve ainda, a capacidade de armazenamento que permitiu armazenar 1423495KWh de energia que representa 1% do total da produção, e ainda 683045KWh de excesso de electricidade e 26215KWh de escassez de electricidade. Números bastantes satisfatórios que permitiram fazer um esboço de um esquema para a rede eléctrica de Boa Vista.

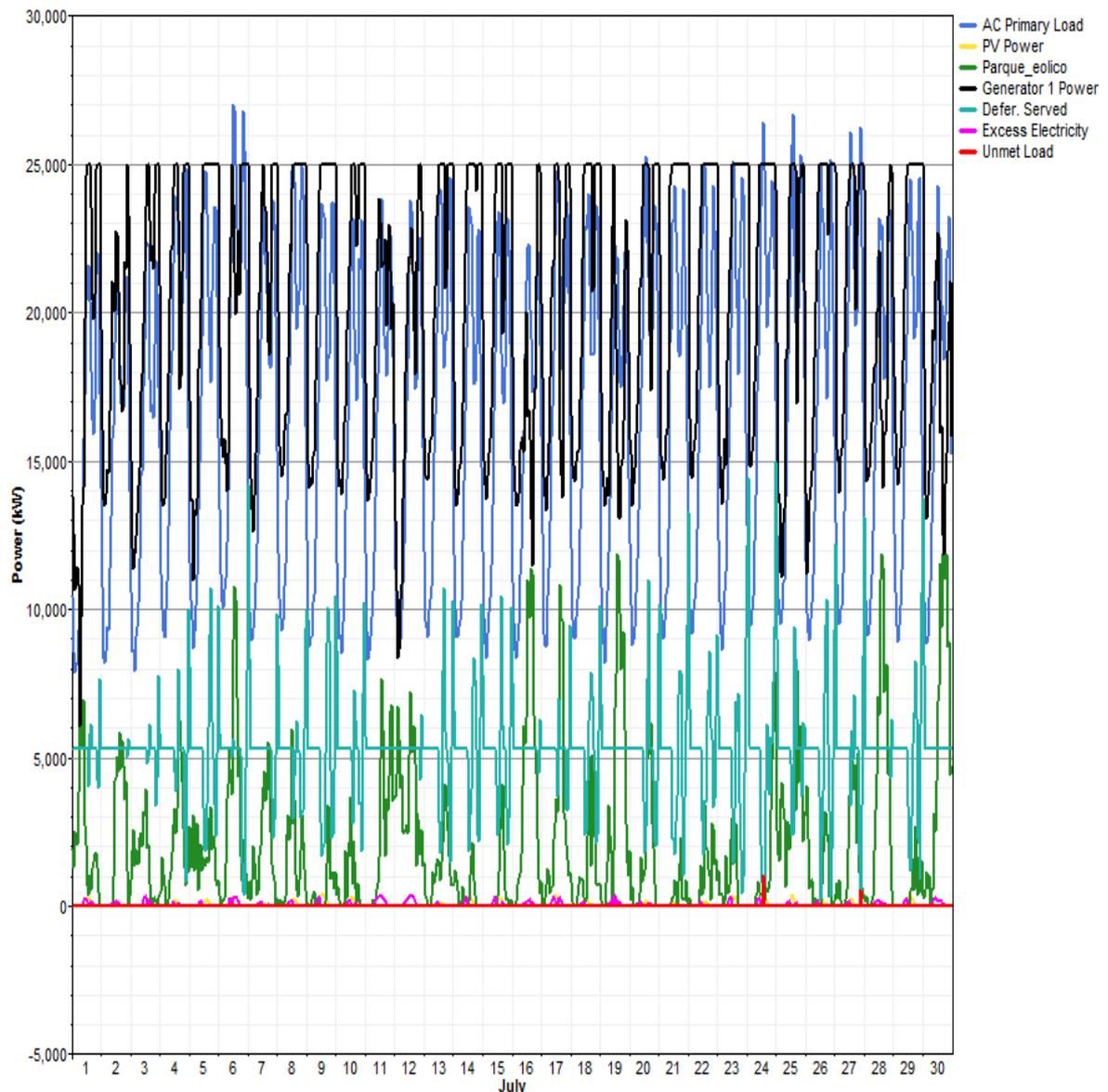


Figura 4.5 – Funcionamento mês de Julho do sistema híbrido por Homer

4.4 Caracterização da rede eléctrica de Boa Vista

Como já foi referido no capítulo 3, o consumo total da ilha a nível geográfico, foi agrupada em dois tipos de consumo, os relacionados com os residentes locais e os associados ao turismo. Assim sendo procedeu-se a identificação das regiões destinadas a cada um dos grupos, como se pode apurar no mapa da figura 1.1. Também foi referida nesse capítulo que, as principais cargas referentes as estruturas básicas de suporte, como Aeroporto Porto e ETA, estarão localizadas nas localidades principais da ilha nomeadamente Sal Rei e Povoação Velha, como se vê no mapa. Porém outras regiões habitacionais com consumos menos significativos, forma

considerados, aliás, procurou-se integrar todos os focos de consumo da Ilha no estudo. Os dois centros de produção híbridos interligados através de uma rede MT, alimentam todas as cargas da ilha.

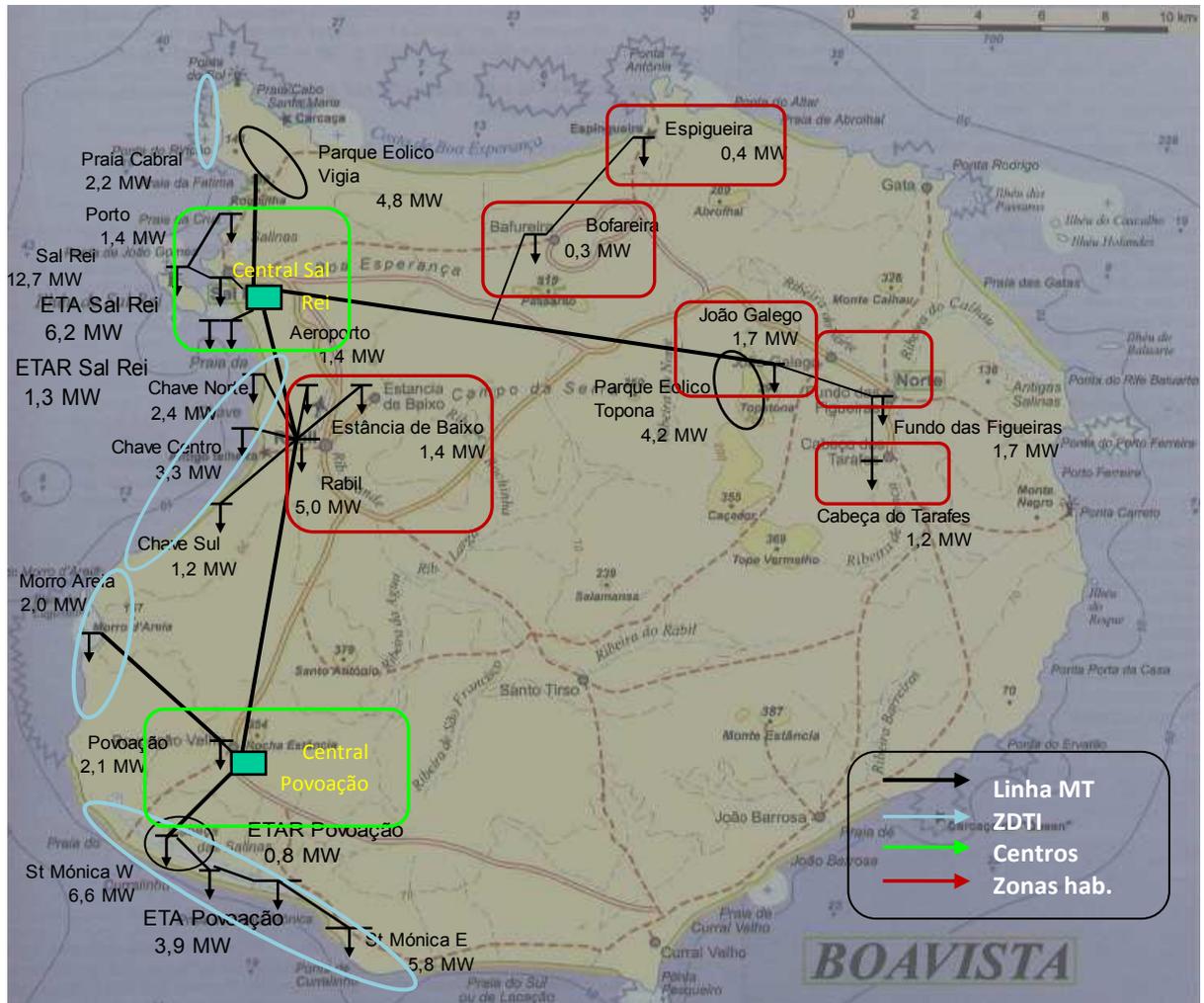


Figura 4.6 – Sistema Eléctrico de Energia da Boavista

Capítulo 5

Análise de sensibilidade do sistema

5.1 - Caracterização

Com o objectivo de encontrar o melhor resultado que dê-se resposta ao sistema híbrido da ilha de Boa vista, foram analisadas varias configurações, até que se encontrou uma solução considerada óptima. Da análise dessa configuração, foi possível encontrar valores que permitiram esboçar um esquema do SEE e perceber como é que os intervenientes desse sistema se interagiam.

Esses dados encontrados, foram com base nos valores médios dos recursos, nos valores fixos estimados de consumos e de produção e com base em algumas restrições, por exemplo, 6,21m/s de velocidade média de vento, 6,20KWh/m²/d de radiação solar média, um mínimo de 10% de renováveis e 60000KWh de armazenamento de água. Contudo, essas são estimativas e valores médio, e portanto podem ou não, em termos práticos, corresponder a valores reais, e isso poderia ter grandes implicações no sistema, uma vez que; se o sistema for sub-dimensionado, o seu funcionamento será afectado negativamente, diminuindo a fiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia eléctrica e aumenta o número de interrupções, por outro lado, o sobre-dimensionamento do sistema implica em maiores gastos de investimento, que podem levar a inviabilidade económica do projecto.

Desta forma ao se projectar um sistema híbrido deve-se ter em consideração um ajuste entre a produção de energia eléctrica confiável e o menor custo possível para a implementação do sistema e, fundamentalmente, considerar as variações possíveis dos valores médios relacionados tanto com a demanda, como com os recursos.

A análise de sensibilidade permitiu, estudar os parâmetros do sistema que podiam variar e defini-los como variáveis de sensibilidades, isto é, parâmetros do sistema que apesar de se conhecer os seus valores médios e ou seus valores estimados, podiam oscilar.

Na análise de sensibilidade fez-se simulações, onde se variaram essas variáveis com o intuito de se saber qual o impacto que teriam no sistema em termos de custos, de eficiência e níveis de emissão de poluentes. Por exemplo, permitiu saber se o aumento da velocidade media do vento, trazia mais benefícios a rede ou não, se aumenta o custo ou não do sistema ou quanto se poupa a nível de emissão de poluentes Este ultimo item poderá ser muito importante uma vez que não só pelo seu impacto ambiental, mas também pelo seu valor comercial, uma vez que no mercado europeu já se negociam as taxas de emissão de CO₂, com preço que rodam os 20€/toneladas de CO₂.

5.2 - Variáveis de sensibilidade

Perante essas condições, definiu-se as variáveis de sensibilidades para o sistema com o objectivo de abarcar o máximo de possibilidades possíveis de alterações no sistema. O critério de escolha das variáveis baseou-se na actual conjuntura do mercado internacional, na possibilidade de alterações climáticas e na possibilidade de variação das cargas.

Definiu-se 6 variáveis de sensibilidades que podem afectar a rede:

- 1-Preço de combustível,
- 2 - Cargas primárias,
- 3 - Capacidade armazenamento da ETA,
- 4 – Fracção de energias renováveis,
- 5 – Velocidade do vento

Para o preço de combustível considerou-se que podia variar seis valores entre 0,9€ e 2€; a carga podia tomar 5 valores entre +20% e -20%; a capacidade de armazenamento podia tomar valores entre 5000KWh e 130000KWh; a fracção de renováveis podia ser de 0% a 25%; a velocidade de vento podia varia entre 5m/s e 8m/s; enquanto a radiação solar podia variar entre os 5KW/m²/d e os 8KW/m²/d, de valores médios.

5.3 Simulação e análise de sensibilidade

Numa primeira simulação analisou-se a influencia de cada variável de sensibilidade no sistema dentro dos limites referidos, onde constatou-se que:

1- Variação de custo de combustível [0,90€; 2,00€]

Aumentando o custo do combustível: aumenta o custo de energia (€/KWh), o NPC (€), os custos totais anuais (€).

2- Variação das cargas primárias [305KWh/d; 509KWh/d]

Até 410KWh/d a capacidade de geradores necessário é de 25000KW de 410KWh/d até 490KWh/d a capacidade de gerador vai aumentar até que volte estabilizar nos 30000KW para cargas superior a 490KWh/d. O custo de energia diminui exponencialmente até atingir o mínimo de 0,287€/KWh com a carga nos 410KWh/d, a partir daí volta a subir até aos 0,29€/KWh. A medida que aumenta a carga no intervalo definido, aumenta a necessidade de capacidade de geradores e a emissão de CO₂, diminui a necessidade de fracção renováveis e o excesso de energia.

3- Variação da capacidade armazenamento da ETA [5000KWh; 130000KWh]

Aumentando a capacidade armazenamento da ETA, diminui exponencialmente a fracção de carga não alimentada, até 0,00015 para armazenamento a 50KWh mantendo constante nesse valor para os valores superior a 50KWh

4- Variação de fracção de energias renováveis [0%; 25%]

A partir das 12% aumenta a necessidade de integração de FV, o excesso de electricidade, ligeiramente o custo de energia, diminui a fracção de cargas não alimentadas

5- Variação da velocidade do vento [5m/s; 8m/s]

Aumentando a velocidade vento até aos 5,5m/s, diminui a necessidade de energia PV, o custo de energia, o custo de investimento, o custo total anual, a fracção de excesso de energia até zero aumentando ligeiramente a partir dos 5m/s para os 0,001 e diminui a emissão de CO₂.

Conhecido a influência de cada variável sensibilidade no sistema, fez-se uma simulação em que avaliou-se a situação de três variáveis poderem variar no mesmo período. Assim para as simulações, as variáveis de sensibilidades escolhidas foram: o preço de combustível, a capacidade de armazenamento, a velocidade de vento e a fracção mínima de renováveis. Fez-se a simulação, com o objectivo de analisar o comportamento do sistema quando os valores desses parâmetros oscilarem. Mais concretamente pretenda-se saber como é que essas três variáveis de

sensibilidades afectavam a capacidade de produção dos fotovoltaicos, e dos geradores diesel, e que influências tinham no custo total de investimento, no nível de cargas não alimentadas e no excesso de electricidade, e ainda, como é que afectam as emissões do CO₂.

Essas análises foram feitas com base nos gráficos fornecidos pelo HOMER, onde se fixa o valor de uma das variáveis e se variam as outras.

Assim sendo, para a primeira simulação, fixou-se a capacidade de armazenamento em 60000 KWh, obteve-se os valores da figura 5.1, figura 5.2, figura 5.3, figura 5.4, figura 5.5 e figura 5.6.

Dessa figuras concluiu-se que: A capacidade de produção fotovoltaica diminui quando a velocidade de vento aumenta e que para velocidade maior que 5m/s não compensa utilizar fotovoltaico. O custo do diesel não afecta a produção fotovoltaica, apenas aumenta o custo do sistema, quando este aumentar e quando o vento diminuir. Figura 5.1.

A produção diesel não é afectado pelo vento nem pelo preço do combustível diesel, apenas aumenta de custo de produção quando diesel aumentar. Figura 5.2.

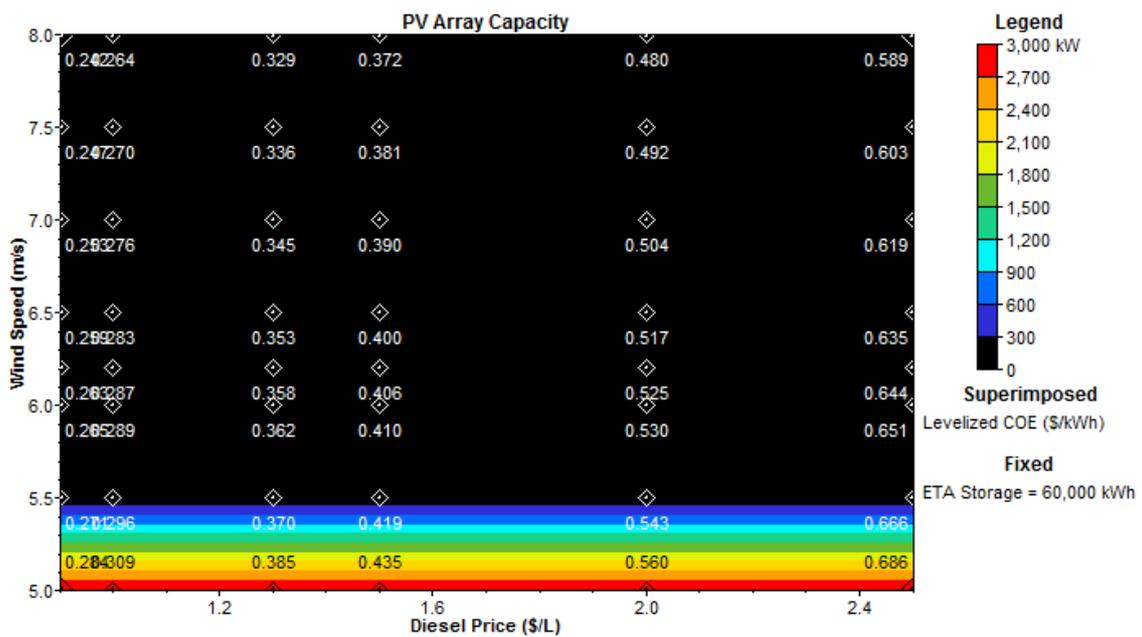


Figura 5.1

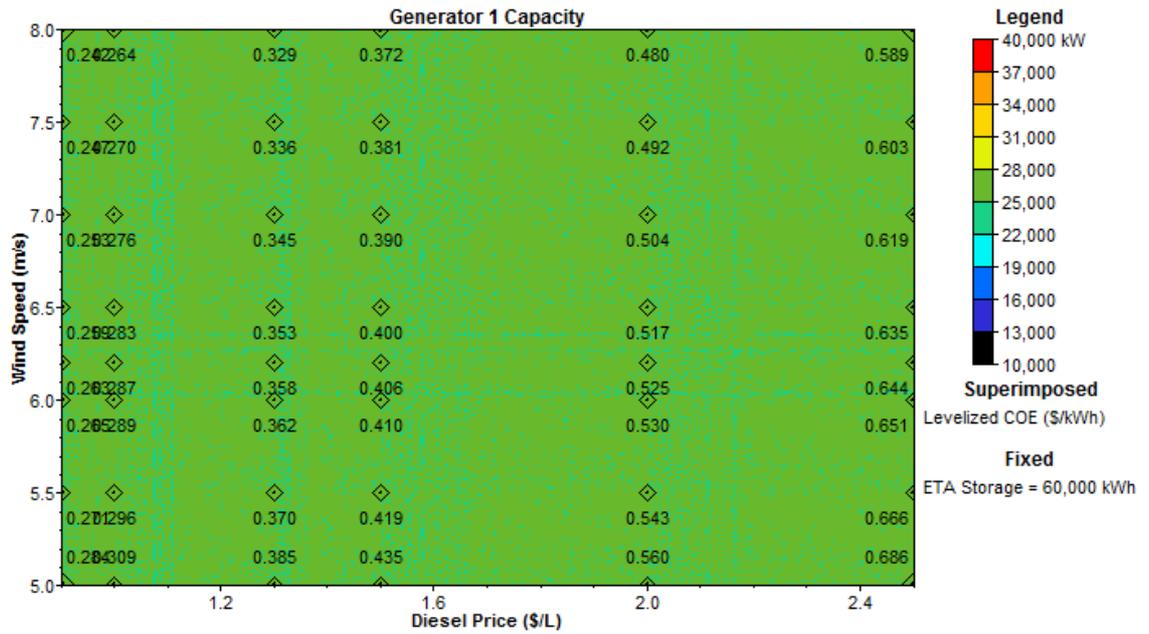


Figura 5.2

Assim como a produção fotovoltaica, o custo total de investimento diminui quando a velocidade de vento aumenta e que para velocidade maior que 5m/s o custo total de investimento situa-se entre os 37.500.000€. O custo do diesel não afecta o custo total de investimento, apenas aumenta o custo do sistema, que aumenta com o aumento do custo do diesel, como se vê na Figura 5.3.

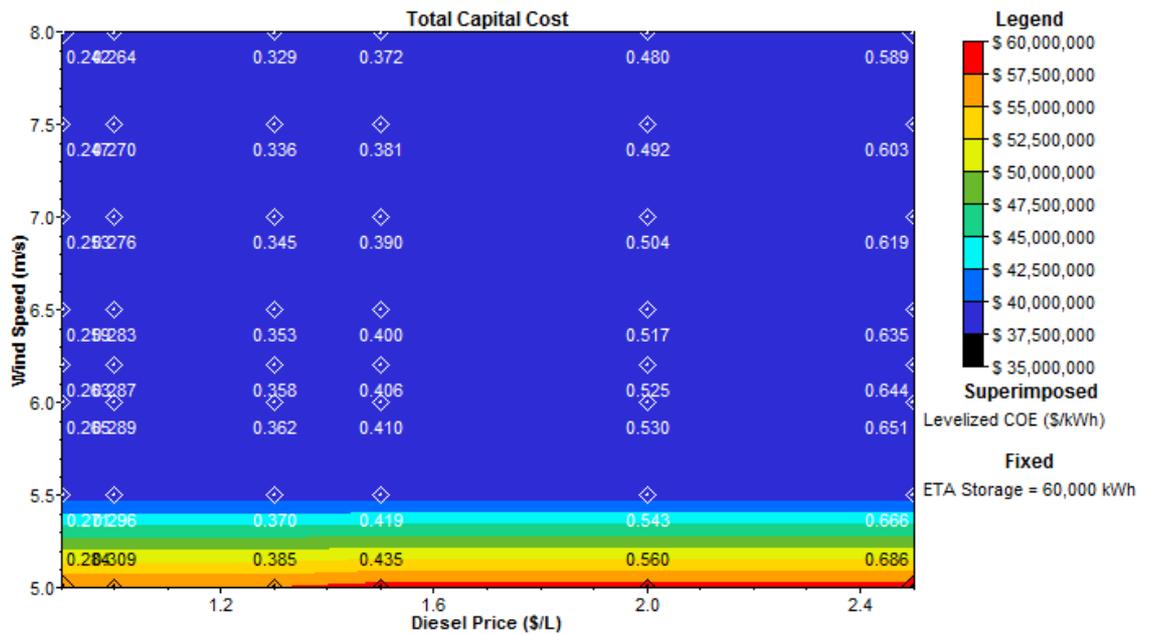


Figura 5.3

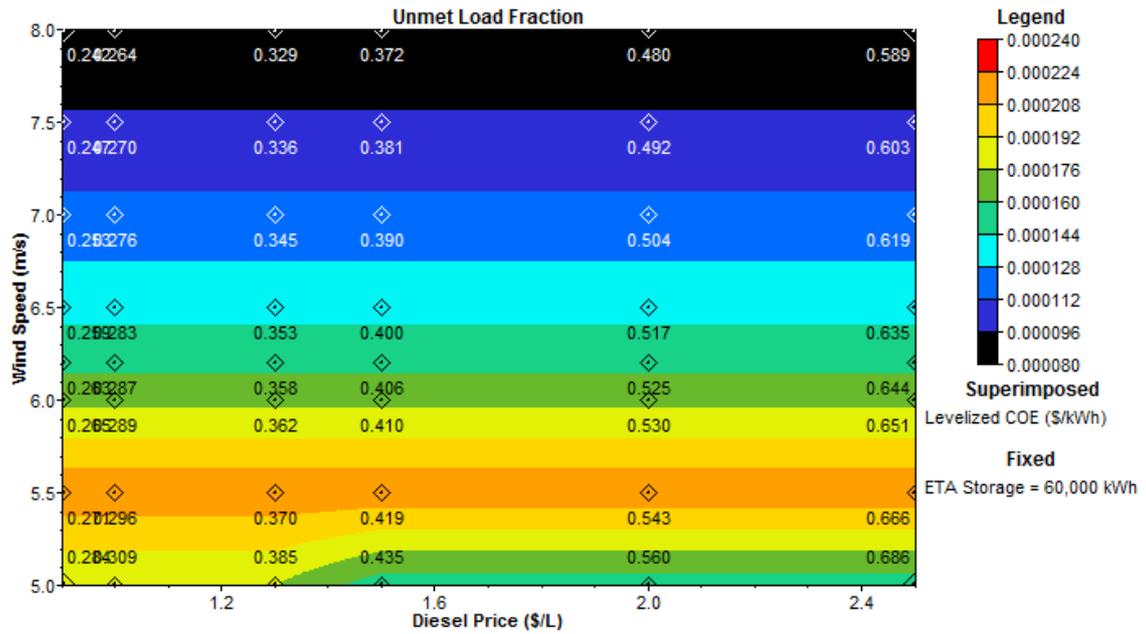


Figura 5.4

A Figura 5.4, mostra que: para valores de vento entre 5m/s e 6m/s haver fracções de cargas não alimentadas que oscila entre 0,000176 €/KWh e 0,000224 €/KWh. Mas a partir de 6m/s de vento essa fracção vai diminuindo atingindo o nulo com vento maior que 7,6 m/s. Em relação ao aumento do preço combustível, vai aumentar a fracções de cargas não alimentadas se não tiver vento suficiente.

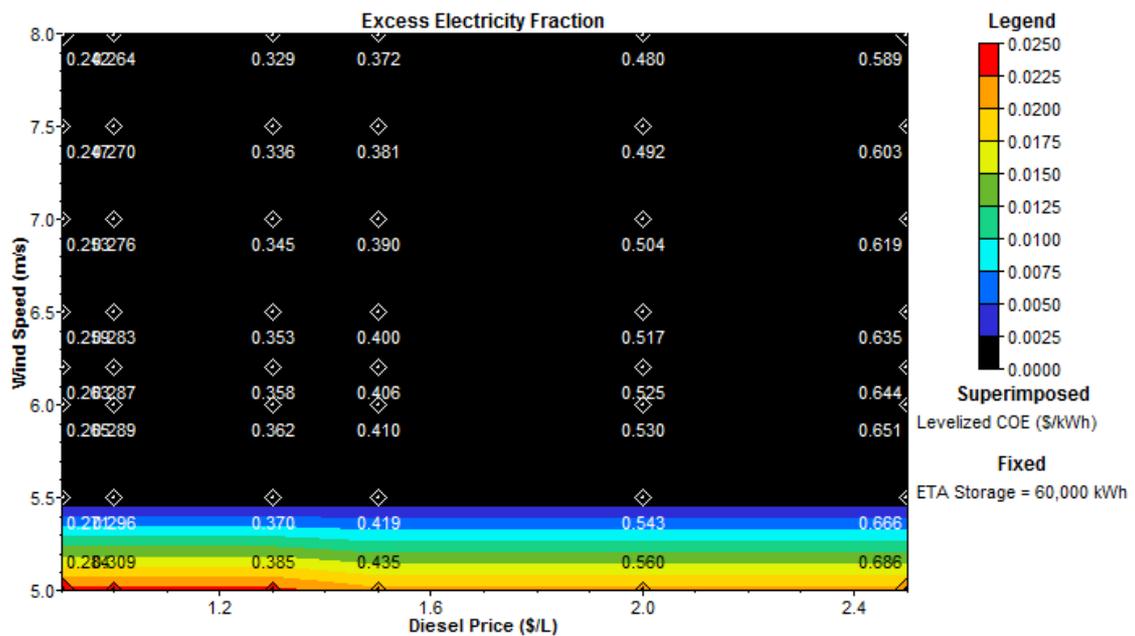


Figura 5.5

A fracção de excesso de electricidade tem um comportamento idêntico ao custo total de investimento, diminuindo quando a velocidade de vento aumenta e que para velocidade maior que 5m/s, a fracção de excesso de combustível chega mesmo a zero. Em relação ao custo do diesel, quando o custo é mínimo e vento também é mínimo, maior é fracção de excesso de electricidade, que só diminui, com o aumento do custo do diesel acompanhado de aumento de vento, como se vê na Figura 5.5

A figura 5.6 mostra que os níveis de emissão de CO₂ diminuem com o aumento do vento, onde o custo de electricidade, só é mais caro se o combustível também o for. Figura 5.6

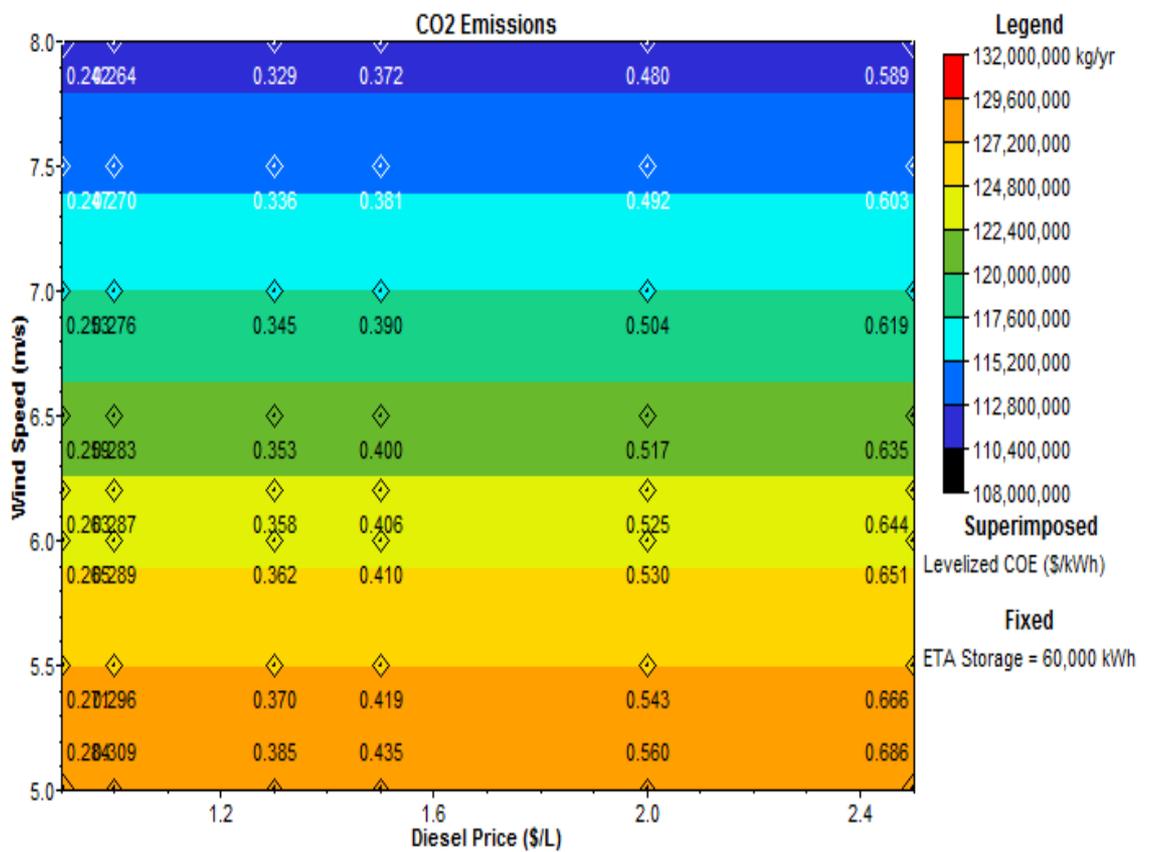


Figura 5.6

Simulou-se também, uma situação em que a capacidade de armazenamento, é metade do valor estimado, cerca de 30000KWh/d, com a velocidade do vento e o custo de diesel a variar.

Concluiu-se que: a capacidade de produção fotovoltaica sobre apenas pequenas alterações em relação a configuração média de armazenamento de água, e que o sistema dispensa o uso de produção fotovoltaica a partir dos 4,9m/s, e o custo de electricidade continua a aumentar na mesma proporção.

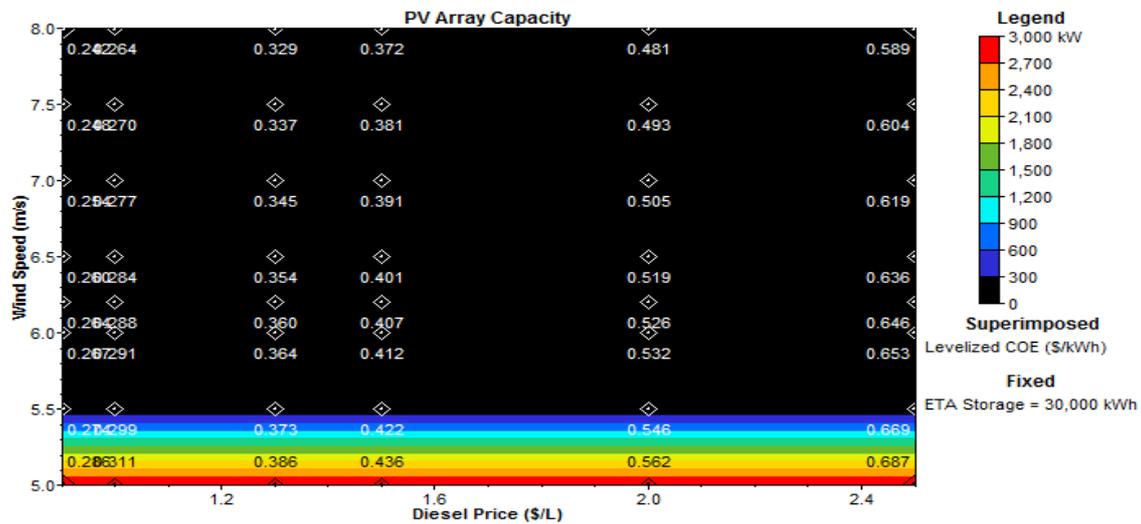


Figura 5.7

Quanto a fracção de carga não alimentada, continua a oscilar com a velocidade de vento mais num intervalo maior. Aumenta entre os 5m/s e os 5,5m/s de vento, sendo que a partir desse valor, a fracção de carga não alimentada diminui, mas não chega a zero. O aumento do custo do diesel continua a afectar apenas o aumento do custo de electricidade. Figura 5.10.

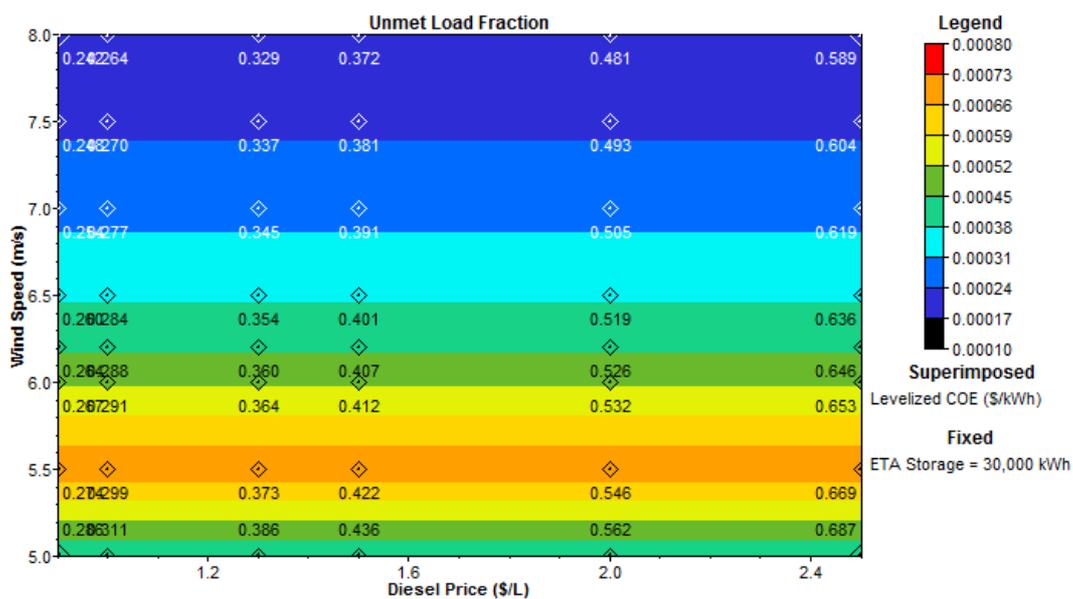


Figura 5.8

Em relação a fracção de excesso de electricidade, já não atinge o máximo quando o vento e o custo são mínimos. Continuando o custo de electricidade a aumentar excepto quanto o vento aumenta.

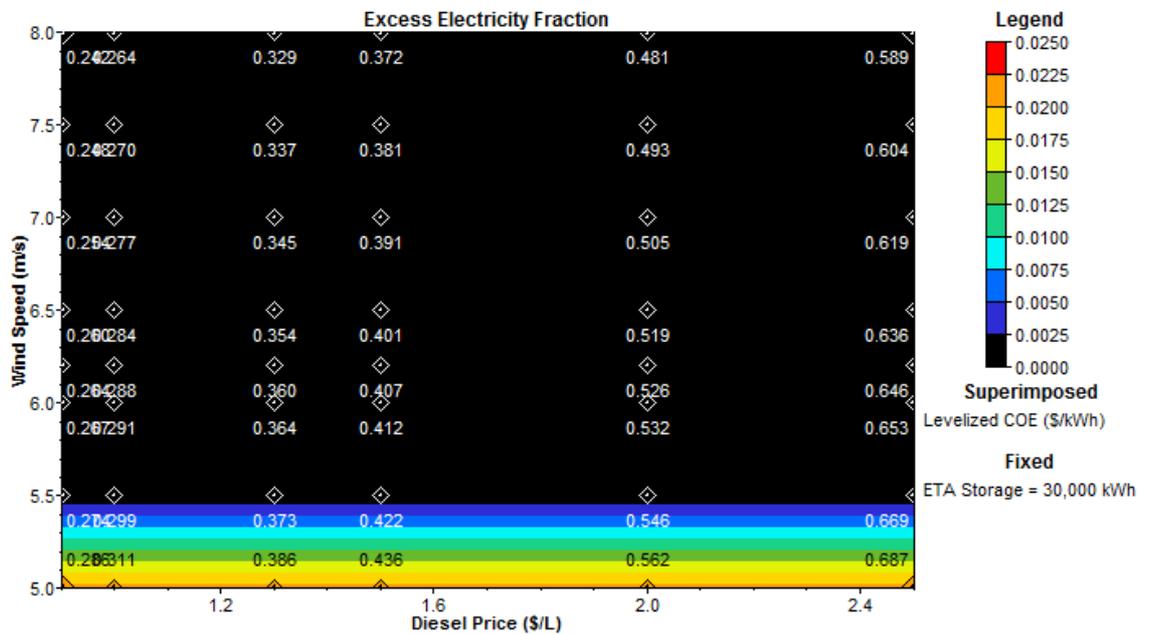


Figura 5.9

E ainda supôs-se a mesma configuração, mas com mais de dobro de capacidade de armazenamento, que chega aos 130000KWh. Concluindo que os parâmetros analisados não se alteravam muito a nível de relacionamento da rede, os gráficos são idênticos ao da configuração com armazenamento a 60000KWh.

Numa outra análise fixou-se o custo de combustível diesel a 1€/Litro e fez-se varia o armazenamento de água e a velocidade do vento.

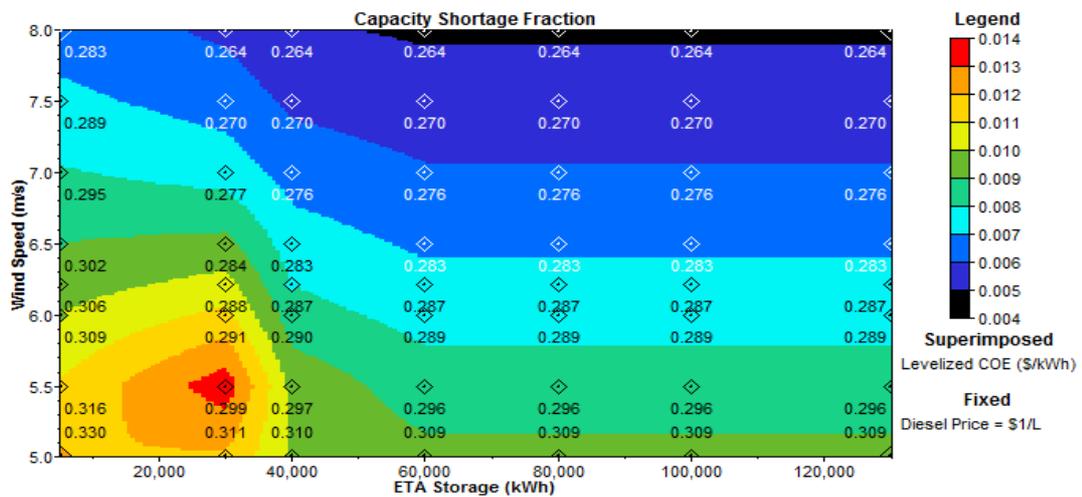


Figura 5.10

Pôde-se constatar da figura 5.10 que, por exemplo, o aumento da capacidade de armazenamento de água dessalinizada melhora a fiabilidade, mas a partir de 60 MWh que corresponde a 12mil m³ de água, já não existe melhoria. Que a velocidades de vento de 5,5 m/s originam piores índices de fiabilidade, visto ser um valor em que ligam e desligam os aerogeradores, mas para os regimes de vento de cabo Verde a eólica melhora a fiabilidade. E que os custos de electricidade diminuem com a integração de eólica.

Numa outra análise fixou-se a fracção mínima de renováveis a 10% e variou-se o custo diesel e a capacidade de armazenamento de água, e analisou-se os gráficos das figuras 5.11, 5.12, 5.13, 5.13 e da figura 5.14.

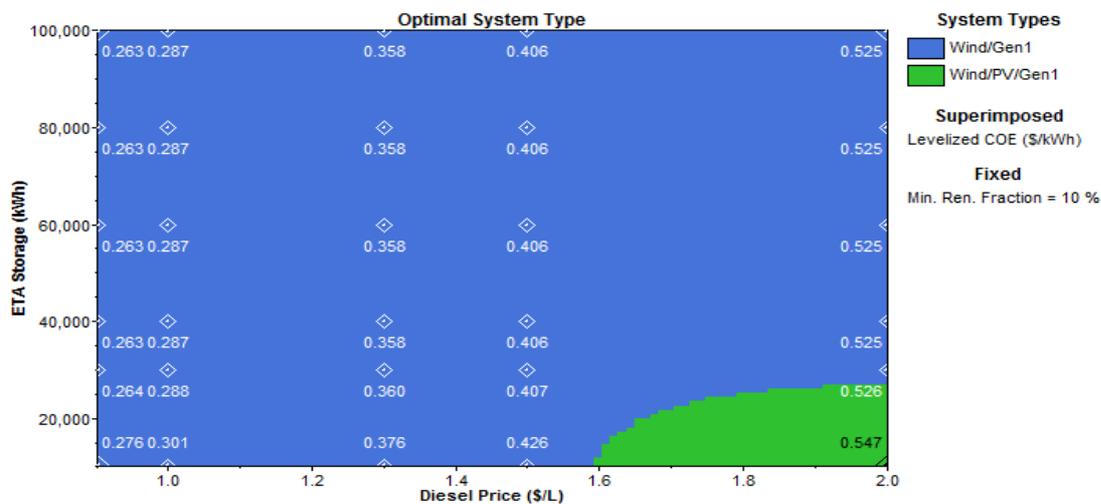


Figura 5.11

Da análise da figura 5.11, constatou-se que: A integração de produção FV apenas é viável se preço do diesel subir acima de 1,6 €/L e se não houver armazenamento, que o preço de energia é elevado, superior a 0,5€/kWh, para o caso de sistemas produtores integrando Eólico/FV/Diesel ser a melhor solução. O armazenamento de água dessalinizada é uma alternativa à integração de fotovoltaica.

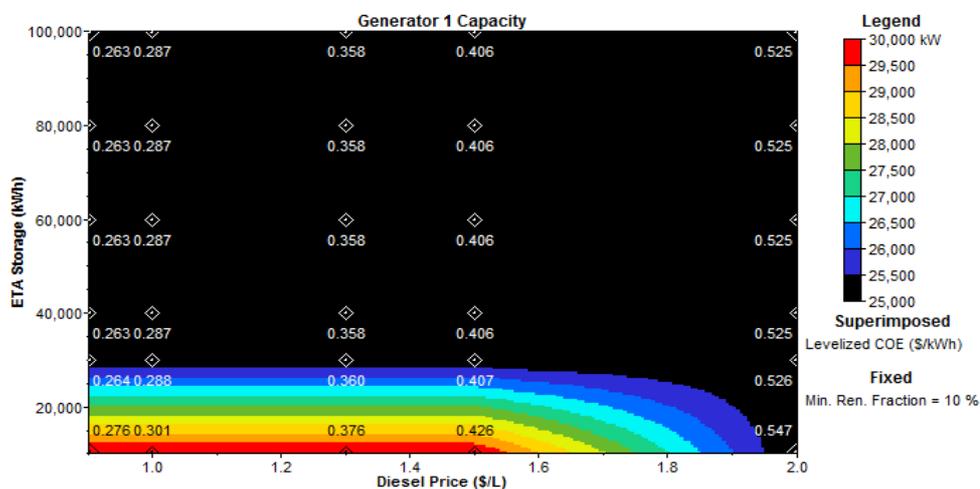


Figura 5.12

Da análise do gráfico da figura 5.12, constatou-se que: Para armazenamento baixo temos necessidade de 30 MW de potência instalada na central diesel. Para armazenamento de 30 MWh que corresponde a 6mil m³ de água, só temos necessidade de 25 MW de potência instalada na central diesel, e que para armazenamento superior a 30 MWh não trás benefícios.

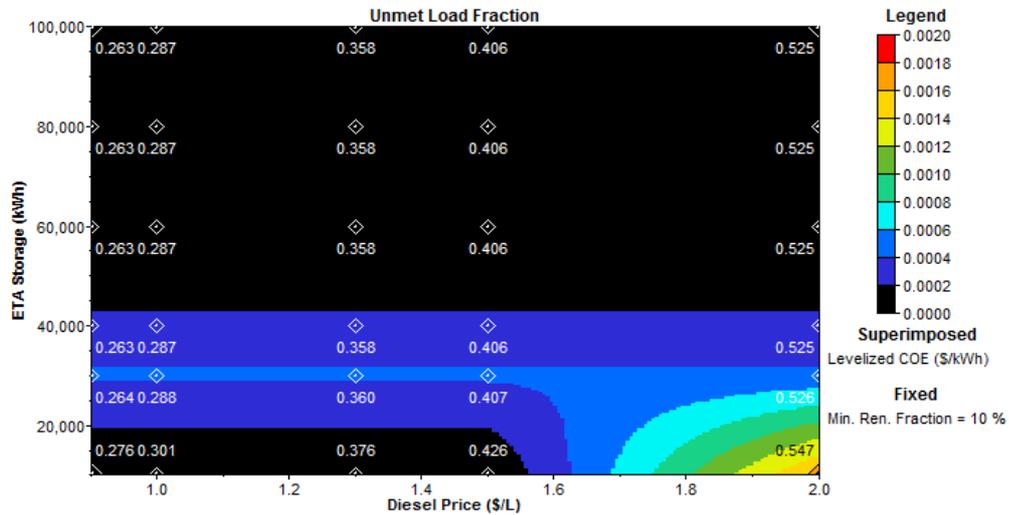


Figura 5.13

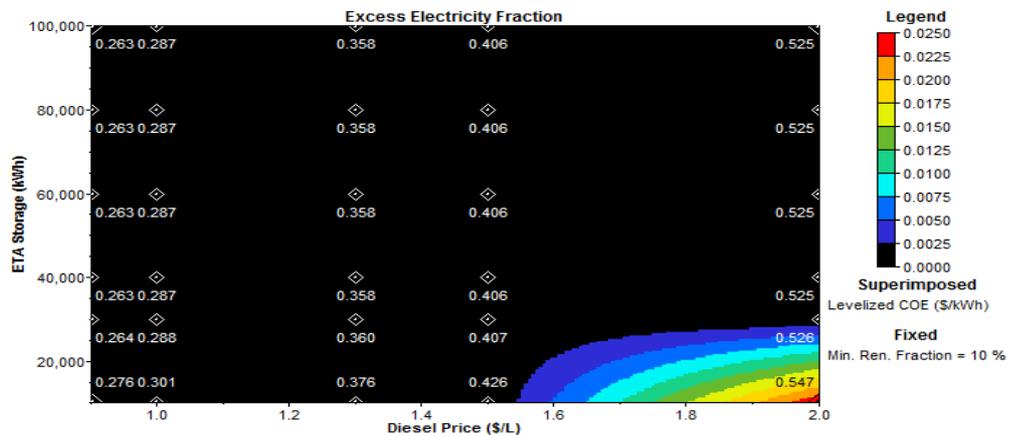


Figura 5.14

Da análise das figuras 5.13 e 5.14, constatou-se que para valores de combustível superior a 1,6€/Litros temos algumas fracções de cargas não alimentadas e de excesso de electricidade, o que se justifica por ser valores em que os painéis FV entram em funcionamento, e sendo a energia solar intermitente, significa que teremos períodos em que temos algum excesso de produção e outros com falta de energia.

Da análise de sensibilidade pode-se concluir que a produção eólica com os valores de vento de Cabo Verde, dá um grande contributo ao sistema produtor, como se pode constatar nas figuras. Conclui-se ainda que os valores dimensionados para a produção garantem uma boa fiabilidade para o SEE.

Conclusões e recomendações

Esta dissertação apresenta um estudo sobre a possibilidade da implementação de um sistema eléctrico híbrido diesel-eólico-fotovoltaico na ilha de Boa vista em Cabo Verde, em alternativa ao sistema eléctrico em vigor (até finais de 2007), que utiliza um sistema produtor unicamente com geradores diesel.

A apresentação deste estudo teve como finalidade mostrar um sistema híbrido diesel-eólico-fotovoltaico como uma solução credível e viável para aquele que pretende vir a ser um novo sistema eléctrico da ilha, tendo em conta o crescimento que se advinha vir a ter com a implementação do plano de desenvolvimento turístico da ilha. Prevê-se que, com o desenvolvimento dos empreendimentos turísticos esperados, o consumo de ponta da ilha passa de pouco mais de 1 MW, em 2002, para um valor a rondar os 24MW, com uma produção de 3.823.574KWh/ano, em 2002, para valores a rondar os 190.000.000KWh/ano, representando um acréscimo que justifica a construção de um SEE inteiramente novo.

Na definição das cargas, teve-se em consideração os consumos dos empreendimentos turísticos, o consumo dos habitantes locais e o consumo eléctrico para produção de água através da dessalinização. Este último deverá ser gerido de forma optimizada para que não implique a necessidade de aumentar a capacidade instalada de produção, sendo que essa gestão será coadjuvada pela capacidade de armazenamento apresentada pela ETA.

A escolha de um sistema híbrido que integrasse energias solar, eólica e diesel estava intimamente relacionada com critérios de aproveitamento de recursos locais. No entanto Boa Vista possui poucos recursos naturais, tendo como principais características o seu clima que fornece níveis de radiações médias que rondam os 6,2 KWh/m²/d e velocidades de ventos que, em termos médios, rondam os 6,21 m/s, propicias para o sistema híbrido proposto.

Com esses dados foram feitas várias simulações com várias estratégias de operação e diferentes graus de participações das energias renováveis na total produzida pelo sistema, com o intento de encontrar a melhor configuração para o sistema híbrido. A partir dos resultados das simulações, foi feita uma análise económica, baseada nos custos de referência dos componentes do sistema produtor e da rede, tendo em consideração o carácter insular das ilhas.

O sistema escolhido após uma optimização dos resultados foi um sistema híbrido, com um parque eólico de 20 aerogeradores de 600KW totalizando 12MW de potência que correspondem a 14% do total produzido. Os grupos de painéis solares totalizaram 450KW, utilizando um inversor de 4000KW ligado a uma central diesel com grupos de geradores de 5MW, de capacidade instalada que perfaz 25MW de potência. O sistema apresenta capacidade de fornecer cerca de 196193888KWh de energia por ano a um custo de 0,28€/KWh, com poucos valores de excesso de electricidade e ainda menor de energia em cargas não alimentadas. O custo total de investimento inicial ronda os 41.500.000€, com um custo total anual (Operação e manutenção, combustível, custo com investimentos e custos de substituição) a rondar os 56.000.000€/ano.

Partindo desses resultados, fez-se um esquema da rede eléctrica para possibilitar ter uma noção básica das localizações dos grupos de produção e das cargas, de forma a se dimensionar a rede MT. Considerando as distâncias entre a localização dos parques, a central Diesel e as distâncias entre esta e os pontos de consumo, optou-se por uma rede de transporte em MT de 30 kV. Foram apresentados os possíveis traçados, investimentos e custos para esta rede de 30 kV e os investimentos e custos para a rede de baixa tensão.

Um estudo de sensibilidade dos resultados veio complementar o trabalho, uma vez que forneceu informações úteis, com a intenção de verificar a reacção do sistema à alteração de alguns dos parâmetros, tais como a velocidade do vento, o custo do combustível e a capacidade de armazenamento.

No final do estudo efectuado foi possível concluir que os resultados apresentados neste trabalho mostraram que não existe uma melhor configuração e estratégia genérica para sistemas híbridos, e sim configurações que se adaptam melhor a determinadas condições de oferta e demanda de energia, nas quais o uso de componentes renováveis é uma mais-valia para o sistema eléctrico da ilha, pois vai ajudar na poupança do custo do combustível. Mesmo numa altura em que os preços se encontram num patamar elevado, o aumento da capacidade de geração das fontes renováveis, independentemente de acarretar elevados custos de investimentos, mostra ser economicamente mais atractiva se se avaliar o seu impacto sobre a eficiência e o ambiente, apresentando um retorno de investimento a médio e longo prazo.

Verificou-se ainda que o cenário de produção Diesel/Eólico é bastante promissor pois permite uma diminuição de NPC cerca de 3,3 milhões de € por ano, para um investimento adicional de 12,6 milhões de €, a amortizar durante 20 anos. O cenário com FV não traz grandes benefícios, tendo em conta que os custos deste tipo de equipamento são bastante elevados. No entanto, para o cenário considerado, e se tivermos em conta que os investimentos nestes equipamentos poderão ficar a cargo dos empreendedores turísticos, verifica-se uma pequena diminuição nos custos anuais. Adicionalmente, com esta solução, ter-se-á uma mais-valia ambiental para o projecto.

Referências

BARLEY, C.D.; WINN, C.B Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems. Solar Energy. Vol.58, 1996.

BLASQUES, L.C.M. Estudo de viabilidade técnico-económico de sistemas híbridos para geração de electricidade. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eléctrica. Universidade Federal do Pará. 2005.

BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, Wind energy handbook. John Wiley & Sons Ltd, 2001.

CELIK, A. N. The system performance of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems using synthetically generated weather data.

COLLARES, M. P. - Energias renováveis, a opção inadiável: contribuição para a definição de uma política energética nacional, Lisboa: Sociedade Portuguesa de Energia Solar, 1998.

COSTA, DANIEL F. F. - Estudo da viabilidade económica da instalação de um sistema produtor solar fotovoltaico na FEUP. Porto: [s.n.], 2004. Estágio realizado no INESC Porto. Relatório de Estágio PRODEP III. Relatório do Estágio Curricular da LEEC 2003/2004.

COSTA, PAULO JORGE CAMPOS - Optimização da produção de energia em sistemas eólicos: uma contribuição baseada na integração dos diversos sub-sistemas. Porto: [s.n.], 2005. Bibliografia: p. 153-160. Tese de doutoramento. Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, 2005.

EUREC Agency - The future for renewable energy: prospects and directions. London: James & James, cop. 2002.

ELHADIDY, M. A. - Parametric study of hybrid (wind+solar+diesel) power generating systems.

FOX, BRENDAN. Wind power integration: connection and system operational aspects. London: The Institution of Engineering and Technology. Cop. 2007.

LEITÃO, JOÃO L. CORREIA. Projecto de electrificação rural com produção renovável híbrida. Porto: [s. n.], 2005. Relatório de estágio PRODEP III. Estágio realizado no INESC Porto. Relatório de estágio curricular da LEEC 2003/2004.

MESSENGER, ROGER A. Photovoltaic systems engineering. 2nd ed. Boca Raton [etc.]: CRC Press, cop. 2004.

NREL, National Renewable energy laboratory, HOMER - The Micropower optimization model, Getting started guide for HOMER version2.1. (Office Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute • Battelle).

OLIVEIRA, LUÍS F. G. - Projecto E5: engenharia/eficiência energética e energias endógenas. Porto: [s.n.], 2003. Estágio realizado no INESC-Porto e na Ohme - Gabinete de Engenharia Electrotécnica, Lda. Relatório de Estágio PRODEP III. Relatório do Estágio Curricular da LEEC 2002/2003.

OTTINGER, RICARC L. Compendium of sustainable energy laws. Cambridge: University Press, 2005. (IUCN Academy of Environmental Law Research Studies).

POLONI O, Rodrigo A. Proyecto energia eólica: energias alternativas/. [BuenosAires, Argentina]:[Monografias],2007.

PATEL, MUKUND R., 1942- - Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. 2nd ed. Boca Raton [etc.]: Taylor & Francis, cop 2006.

Solar Energy International - Photovoltaic's: design and installation Manual. Gabriola Island, CA: New Society Publishers, 2004.

Wind Energy Conversion Systems. New York: Prentice Hall, 1989.

Páginas web:

URL1: <http://www.sendeco2.com/pt.php>

URL2: <http://www.freemeteo.com>

URL3: <http://www.eco.edp.pt>

URL4: <http://www.meteo.cv>

URL5: <http://energiasrenovaveis.wordpress.com/2007/07/27/cabo-verde-usa-energia-solar-para-abastecer-agua-no-meio-rural/>

URL6: <http://www.hsosmosereversa.com.br/osmosereversa.html>

URL7: <http://www.futursolutions.pt/>

URL8: http://www.internationalrenewablesenergy.com/index.php?pag=conteudo&id_conteudo=2953&idmenu=201

URL9: <http://www.ecopower.pt/index2.html>

URL10: www.ineti.pt

URL11: www.alterima.com.br

URL12: www.ider.org.br

URL13: www.eurocabos.pt

URL14: www.addp.pt

URL15: www.retscreen.net.pt/home.php

URL16: <http://www.ine.cv>

URL17: <http://www.electra.cv>

URL18: <http://www.ren.pt>

URL19: <http://www.energiasrenovaveis.com>

URL20: <http://power.inescn.pt/claudio>

URL21: <http://www.dars.pt>

URL22: <http://www.ecopower.pt>

URL23: <https://www.renade.es>

URL24: <http://www.ffiolar.com>

URL25: <http://www.abcedaenergia.com/enervivas/index.htm>

URL26: <http://www.4eolic.com/>

URL27: <http://www.hrosystems.com>

URL28: <http://www.nrel.gov/>

URL29: <http://www.caboverde.com/>

URL30: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ilha_da_Boa_Vista

URL31: <http://topicos123.com/ILHA-DE-BOA-VISTA.HTML>