



**Universidade dos Açores – Departamento de Ciências Agrárias**

# **ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA CENTRAL HÍDRICA REVERSÍVEL NA ILHA TERCEIRA**

**Mónica de Fátima Faria Garcia**

**Projeto para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão de  
Sistemas de Água**

**Orientador: Professor Doutor António Félix Rodrigues**

**Co-orientador: Professor Doutor José Carlos Fontes**

**Outubro de 2014**

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer,

Ao Professor Félix Rodrigues pela orientação deste trabalho,

Ao Professor José Fontes pela co-orientação do projeto,

Ao Engenheiro Mário Mendes da EDA S.A. pelos dados fornecidos,

Ao Professor Paulo Monjardino pelas sugestões, e pelos trabalhos fornecidos,

A todos os professores do Mestrado em Engenharia e Gestão de Sistemas de Água pelos conhecimentos que me transmitiram,

À minha família, namorado e amigos, pelo apoio, incentivo e crença em mim, aos quais estou eternamente grata,

A todas as pessoas que passaram pela minha vida e de alguma forma contribuíram para a construção de quem sou hoje.

## **Abstract**

The electrical systems of the Azores islands are characterized by their small dimensions where electrical power consumption fluctuates greatly over the day, especially between the daytime and nighttime periods.

The introduction on Terceira Island of new sources of energy from renewable resources is expected, as is the case of geothermal energy and biomass energy (solid urban waste), but although these new changes are advantageous in the the power generation system, there are several technical limitations, which led to the waste of energy during periods of lower consumption and resource abundance (especially wind power).

It is necessary to to think about a system that stores the wasted energy in order to use it during the periods of increased consumption.

This study designs the use of a reversible hydroelectric system for storing energy in the form of gravitational potential energy.

Will be proposed four different locations for the project and their dimensions are designed taking into account the load curves for the years 2012 and 2013, extrapolated for five different scenarios that represent different configurations of the power generation system of Terceira.

**Keywords:** reversible, hydro, storage, Terceira island, renewable

## **Resumo**

Os sistemas elétricos das ilhas dos Açores caracterizam-se pelas suas pequenas dimensões e o consumo elétrico oscila bastante ao longo do dia, principalmente entre os períodos noturnos e diurnos.

Na ilha Terceira está prevista a introdução de novas fontes de energia a partir de recursos renováveis, como é o caso da energia geotérmica e da energia proveniente da valorização de resíduos sólidos urbanos, mas embora, sejam vantajosas estas novas mudanças no sistema electroprodutor, existem várias condicionantes técnicas, que levarão ao desperdício de energia nos períodos de menor consumo e de abundância de recurso (especialmente de energia eólica).

É necessário pensar num sistema que armazene a energia que será desperdiçada, para colmatar os períodos de maior consumo.

Neste trabalho projeta-se a utilização de um sistema hídrico reversível para o armazenamento de energia sobre a forma de energia potencial gravítica.

São propostas quatro localizações diferentes para o projeto e as dimensões do mesmo são projetadas tendo em conta os diagramas de carga dos anos de 2012 e 2013, modelados para cinco cenários diferentes que representam diferentes configurações possíveis do sistema electroprodutor da ilha Terceira num futuro próximo.

**Palavras-chave:** reversível, hídrica, armazenamento, ilha Terceira, renováveis

## Índice geral

1.	Introdução.....	1
1.1.	Motivação e objetivos .....	1
1.2.	Metodologia.....	2
2.	Enquadramento Geográfico.....	4
3.	Enquadramento Ambiental.....	6
4.	Revisão bibliográfica .....	8
4.1.	Energia hídrica reversível.....	8
4.1.1.	Conceitos gerais.....	8
4.1.2.	História.....	9
4.1.3.	Principais componentes das centrais hídricas reversíveis .....	10
4.2.	Outras tecnologias de sistemas de armazenamento de energia .....	15
4.3.	Projetos de centrais hídricas reversíveis .....	20
4.3.1.	Central hídrica reversível de Okinawa.....	20
5.	Setor elétrico dos Açores .....	23
5.1.	Evolução da penetração de energias renováveis nos Açores .....	23
5.2.	Dificuldades do setor elétrico dos Açores.....	24
6.	Setor elétrico da ilha Terceira.....	26
6.1.	Sistema electroprodutor da ilha Terceira .....	26
6.2.	Futuras centrais de produção.....	29
6.3.	Análise das variações da produção de eletricidade na ilha Terceira nos anos de 2012 e 2013.....	31
6.4.	Previsões da produção de eletricidade no futuro .....	37
6.5.	Previsões considerando a introdução de energia hídrica reversível .....	56
7.	Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira .....	65
7.1.	Zona do Cabrito .....	65
7.2.	Zona das Cinco Ribeiras .....	68
7.3.	Zona da Nasce Água – Serra do Morião .....	70
7.4.	Zona da Serreta.....	73
7.5.	Enquadramento dos locais escolhidos nos planos de gestão territorial .....	77
7.6.	Imóveis e conjuntos de interesse municipal nas localizações escolhidas .....	86
7.7.	Património cultural não classificado nas localizações escolhidas .....	87

## **Estudo da Implementação de uma Central Hídrica Reversível na Ilha Terceira**

8.	Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível.....	93
8.1.	Dimensionamento da(s) conduta(s) forçada(s).....	93
8.2.	Dimensionamento da(s) turbina(s) .....	99
8.3.	Dimensionamento da(s) bomba(s).....	100
8.4.	Dimensionamento dos reservatórios a construir.....	101
9.	Conclusões .....	105
10.	Referências Bibliográficas.....	109

## Índice de figuras

Figura 1 - Localização geográfica do arquipélago dos Açores (Lima, 1999) .....	4
Figura 2 - Ilha Terceira e os seus dois concelhos (Na minha ilha, 2014).....	5
Figura 3 - Esquema geral de sistema hídrico reversível (Adaptado de Consumersenergy, 2014).....	9
Figura 4 - Central hídrica reversível pura de Okinawa – Japão (Teixeira, 2012) .....	10
Figura 5 – Central hídrica reversível combinada do Alqueva - Portugal (Agrotec, 2014)....	11
Figura 6 - Condução forçada do aproveitamento hidroelétrico de Agilde (Portugal) (Metaloespo, 2011).....	12
Figura 7 - Esquema de turbomáquina hidráulica (Adaptado de Oliveira A., 2008).....	13
Figura 8 - Área de implementação do projeto na Zona do Cabrito (Google Earth, 2014) ....	66
Figura 9 - Imagem aérea da lagoa artificial do Cabrito (Na minha ilha, 2014).....	66
Figura 10 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona do Cabrito e comprimento da(s) condutas(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014) .....	67
Figura 11 - Área de implementação do projeto na Zona das Cinco Ribeiras (Google Earth, 2014).....	68
Figura 12 - Imagem aérea da lagoa artificial das cinco Ribeiras (Na minha ilha, 2014) .....	69
Figura 13 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona das Cinco Ribeiras e comprimento da(s) condutas(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014).....	70
Figura 14 - Área de implementação do projeto na Zona da Nasce Água – Serra do Morião (Google Earth, 2014).....	71
Figura 15 - Imagem aérea do local a implementar o reservatório inferior (Na minha ilha, 2014) .....	72
Figura 16 - Imagem aérea do local a implementar o reservatório superior (Na minha ilha, 2014).....	72
Figura 17 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona da Nasce Água e comprimento da(s) condutas(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014) .....	73
Figura 18 - Área de implementação do projeto na Zona da Ponta da Serreta (Google Earth, 2014).....	74
Figura 19 - Imagem aérea do local a implementar a captação de água do mar, que serve como reservatório inferior do projeto (Google Earth, 2014).....	75

## Estudo da Implementação de uma Central Hídrica Reversível na Ilha Terceira

Figura 20 - Imagem aérea do local a implementar o reservatório superior (Google Earth, 2014)	76
Figura 21 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona da Serreta e comprimento da(s) condutas(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014)	76
Figura 22 - Áreas classificadas pelo Plano Sectorial das Rede Natura 2000 e Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona da Ponta da Serreta (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)	79
Figura 23 - Figura 20 - Área classificada pelo Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona da Serra do Morião (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)	80
Figura 24 - Áreas classificadas pelo Plano Sectorial das Rede Natura 2000 e Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona do Cabrito (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)	81
Figura 25 - Áreas classificadas pelo Plano Sectorial das Rede Natura 2000 e Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona junto da lagoa das Cinco Ribeiras (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)	83
Figura 26 - Área de proteção abrangida pelo Decreto Legislativo Regional n.º 15/2010/A	84
Figura 27 - Ampliação da figura 24 na zona do Cabrito	85
Figura 28 - Ampliação da figura 24 na zona da Serra do Morião	85
Figura 29 - Rocha na zona da Nasce Água, relativamente afastada da zona de construção do reservatório inferior, com possíveis inscrições humanas	88
Figura 30 - Rocha na zona da Nasce Água, relativamente próxima da zona de construção do reservatório inferior, com possíveis inscrições humanas	89
Figura 31 - Rocha na zona da Serra do Morião, relativamente afastada da zona de construção do reservatório superior, com possíveis inscrições humanas	90
Figura 32 - Rocha na zona da Serra do Morião, relativamente afastada da zona de construção do reservatório superior, com possíveis inscrições humanas	91
Figura 33 - Rocha na zona da Serra do Morião, relativamente afastada da zona de construção do reservatório superior, com possíveis inscrições humanas	92

## Índice de gráficos

Gráfico 1 - Evolução da produção de energia elétrica, por fonte de origem, nos Açores, de 1990 a 2013 (SREA, 2014) .....	24
Gráfico 2 - Ponta máxima e vazão mínimo, registados em cada mês do ano de 2012 .....	32
Gráfico 3 - Ponta máxima e vazão mínimo, registados em cada mês do ano de 2013 .....	32
Gráfico 4 - Diagramas de carga - Inverno 2012, representados pelos dias 1, 11, 18 e 26 de Janeiro.....	33
Gráfico 5 - Diagramas de carga - Inverno 2013, representados pelos dias 1, 9, 19 e de Janeiro .....	34
Gráfico 6 - Diagramas de carga - Primavera 2012, representados pelos dias 15, 18, 25 e 28 de Abril.....	34
Gráfico 7 - Diagramas de carga - Primavera 2013, representados pelos dias 14, 17, 25 e 27 de Abril.....	35
Gráfico 8 - Diagramas de carga - Verão 2012, representados pelos dias 8, 15, 19 e 25 de Agosto.....	35
Gráfico 9 - Diagramas de carga - Verão 2013, representados pelos dias 7, 15, 18 e 24 de Agosto.....	36
Gráfico 10 - Diagramas de carga - Outono 2012, representados pelos dias 8, 13, 24 e 28 de Outubro (EDA, 2014).....	36
Gráfico 11 - Diagramas de carga - Outono 2013, representados pelos dias 7, 12, 23 e 27 de Outubro (EDA, 2014).....	37
Gráfico 12 - Diagrama de carga do dia 1 de Janeiro de 2012 .....	40
Gráfico 13 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	41
Gráfico 14 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	41
Gráfico 15 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	42
Gráfico 16 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	42
Gráfico 17 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	43
Gráfico 18 - Diagrama do dia 17 de Abril de 2013 .....	44

## Estudo da Implementação de uma Central Hídrica Reversível na Ilha Terceira

Gráfico 19 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	44
Gráfico 20 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	45
Gráfico 21 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	45
Gráfico 22 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	46
Gráfico 23 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	46
Gráfico 24 - Diagrama de carga do dia 18 de Agosto de 2013 .....	47
Gráfico 25 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 18 de Agosto de 2013 .....	48
Gráfico 26 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 18 de Agosto de 2013 .....	48
Gráfico 27 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 18 de Agosto de 2013 .....	49
Gráfico 28 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 18 de Agosto de 2013 .....	49
Gráfico 29 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 18 de Agosto de 2013 .....	50
Gráfico 30 - Diagrama de carga do dia 13 de Outubro de 2013 .....	51
Gráfico 31 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	51
Gráfico 32 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	52
Gráfico 33 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	52
Gráfico 34 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	53
Gráfico 35 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	53
Gráfico 36 - Excesso de energia por mês e por cenário, com base nos diagramas de carga do ano de 2012.....	54

## **Estudo da Implementação de uma Central Hídrica Reversível na Ilha Terceira**

Gráfico 37 - Excesso de energia por mês e por cenário, com base nos diagramas de carga do ano de 2013.....	55
Gráfico 38 - Percentagens do número de horas em que há excesso de produção de energia e do número de horas em que não há excesso para os 5 cenários, com base nos anos 2012 e 2013 .....	56
Gráfico 39 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 1, com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	57
Gráfico 40 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 2, com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	57
Gráfico 41 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 3, com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	58
Gráfico 42 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 4, com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	58
Gráfico 43 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 5, com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	59
Gráfico 44 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 2, com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	59
Gráfico 45 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 3, com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	60
Gráfico 46 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 4, com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	60
Gráfico 47 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 5, com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	61
Gráfico 48 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 1, com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	61
Gráfico 49 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 2, com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	62
Gráfico 50 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 3, com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	62
Gráfico 51 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 4, com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	63
Gráfico 52 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 5, com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	63

## Índice de tabelas

Tabela 1 – Características dos grupos geradores da central termoelétrica do Belo Jardim (Licença Ambiental nº 5/2008/DRA) .....	27
Tabela 2 - Energia em excesso num dia crítico, para os cenários 1 a 5 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 .....	43
Tabela 3 - Energia em excesso num dia, para os cenários 1 a 5 com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	47
Tabela 4 - Energia em excesso num dia, para os cenários 1 a 5 com base no dia 18 de Agosto de 2013 .....	50
Tabela 5 - Energia em excesso num dia, para os cenários 1 a 5 com base no dia 13 de Outubro de 2013 .....	54
Tabela 6 – Energia de origem térmica poupada num dia, por cenário .....	64
Tabela 7 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 1 de Janeiro de 2012.....	95
Tabela 8 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 17 de Abril de 2013 .....	96
Tabela 9 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 18 de Agosto de 2013.....	97
Tabela 10 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 13 de Outubro de 2013.....	98
Tabela 11 - Potências das turbinas com base na média e no máximo de energia hídrica reversível necessária por cenário .....	100
Tabela 12 - Potências das bombas com base na média e no máximo de energia em excesso por cenário .....	101
Tabela 13 - Volume deslocado de água por dia nos vários cenários e localizações.....	102

# **Estudo da Implementação de uma Central Hídrica Reversível na Ilha Terceira**

# 1. Introdução

## 1.1. Motivação e objetivos

Este projeto foi realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão de Sistemas de Água da Universidade dos Açores – Departamento de Ciências Agrárias. É aqui desenvolvido um estudo de carácter geral sobre a implementação de uma central hídrica reversível na ilha Terceira – Açores, com o intuito de armazenar energia elétrica nos períodos onde há excedente de produção e utilizá-la quando for mais conveniente.

O consumo de eletricidade na ilha Terceira é muito pequeno, comparando com o do continente português, e as diferenças de consumo entre os períodos noturno e diurno são bem notórias, havendo grandes consumos durante o dia, e uma significativa redução durante a noite. O sistema electroprodutor da ilha tem de dar resposta às necessidades energéticas, no entanto, não deve estar sobredimensionado.

A introdução de energias renováveis na rede deve ser uma preocupação da empresa que gere as redes elétricas dos Açores, e a maioria dos centros produtores, a EDA, mas também podem vir a ocorrer muitos investimentos privadas, dado o grande potencial de algumas energias renováveis na região. Para fomentar os investimentos privados, as empresas têm de ter garantida a venda do total de energia produzida, o que é muito difícil de acontecer, por questões técnicas, a manter-se o atual sistema electroprodutor, sem armazenamento de energia.

No arquipélago dos Açores ainda não há nenhum sistema implementado de armazenamento de energia (exceto os sistemas de volante de inércia), sendo de extrema importância a concretização de projetos desta natureza em todas as ilhas, de forma a potenciar as energias renováveis e a independência energética face ao exterior.

Há já o intuito de construir em algumas ilhas sistemas de armazenamento, como é o caso de São Miguel, onde se pretende construir uma central hídrica reversível para acomodar uma parte crescente da geração de energia renovável da ilha (Correia *et al.*, 2014) que utilizará a Lagoa das Furnas como reservatório inferior e uma lagoa artificial como reservatório superior, construída para o efeito, a cerca de 220 m acima da Lagoa das Furnas (Ambiente online, 2013). Também na ilha do Corvo, tem-se como objetivo de construir uma central hídrica reversível, alimentada por um parque eólico, tendo sido

## Capítulo 1 - Introdução

anunciado este intuito aquando da inauguração do novo equipamento da central termoelétrica da ilha, em 2007, pelo Governo dos Açores (Governo Regional dos Açores, 2007). Na ilha Graciosa está prevista uma mudança completa do sistema electroprodutor, projetada pela empresa alemã Younicos, que pretende demonstrar que é possível num pequeno sistema elétrico ter uma penetração de energia renovável próxima dos 100%, onde serão utilizadas essencialmente as fontes solar (energia fotovoltaica) e eólica, recorrendo a baterias de última geração para armazenar a energia produzida em excesso nas horas de menor consumo (As boas novas, 2009).

Na ilha Terceira, um sistema para armazenamento de eletricidade necessita de ser implementado, tendo em conta as perspetivas futuras de penetração de energias renováveis na rede, de forma a potenciar as mesmas. Este é um projeto essencial para a ilha em dois aspetos: armazenar energia que de outra forma seria desperdiçada e permitir uma maior penetração de energias renováveis com flutuações, como é o caso da energia eólica.

O estudo realizado no âmbito deste trabalho visa localizar locais com características vantajosas para a implementação do projeto de armazenamento de energia através do sistema hídrico reversível e a previsão de diagramas de carga da ilha Terceira no futuro, para diversos cenários estabelecidos.

### 1.2. Metodologia

Para a realização deste trabalho foi feita uma pesquisa acerca do funcionamento das centrais hídricas reversíveis e dos seus principais elementos.

A criação de possíveis cenários resultou das análises efetuadas ao atual sistema electroprodutor da ilha Terceira e dos investimentos previstos nessa área.

Os dados de produção de eletricidade dos vários centros produtores da ilha Terceira, de 30 em 30 minutos, dos anos de 2012 e 2013 permitiram interpretar o comportamento do consumo de eletricidade, e foram feitas extrapolações para os cenários considerados.

No que concerne à escolha dos locais apropriados para a implementação do projeto, foi numa primeira instância considerada a informação já recolhida por técnicos da EDP numa

## Capítulo 1 - Introdução

visita à ilha, publicada em “Aproveitamentos hidroelétricos reversíveis nas ilhas de São Miguel e Terceira – Avaliação técnica preliminar de potencialidades”. Também foi considerada a opção da utilização do mar como reservatório inferior, uma vez já ser referenciado em várias bibliografias o caso de sucesso de uma central hídrica reversível no Japão que utiliza a água do mar (única central no mundo deste género).

A partir destes pressupostos foram utilizados o programa Google Earth e a plataforma online “Na minha ilha” disponibilizada em [http://servicos-sraa.azores.gov.pt/naminha ilha/](http://servicos-sraa.azores.gov.pt/naminhailha/) para a localização dos lugares apropriados, tendo sido escolhidos os locais mais apropriados de edificação dos elementos principais do projeto (reservatórios, centrais e condutas forçadas). Foram ainda obtidos os valores das alturas de queda e dos comprimentos das condutas forçadas em linha reta, a partir do Google Earth.

Após a recolha e interpretação dos dados anteriores, foram realizados cálculos de dimensionamento dos reservatórios, das condutas forçadas e dos principais equipamentos eletromecânicos (turbinas e bombas).

## 2. Enquadramento Geográfico

O arquipélago dos Açores localiza-se no Atlântico Nordeste, sobre a Dorsal Médio Atlântica e as suas nove ilhas estendem-se entre os 36° e os 40° de latitude Norte, e os 25° e os 31° de longitude Oeste (figura 1). Faz parte da República Portuguesa e está integrado na União Europeia.



Figura 1 - Localização geográfica do arquipélago dos Açores (Lima, 1999)

A ilha Terceira, a segunda mais populosa do arquipélago, tem uma área de 402,2 km<sup>2</sup>, uma linha de costa de cerca de 127 km e o seu ponto mais alto está a 1021 metros acima do nível do mar, localizado na serra de Santa Bárbara (SIARAM, 2014).

Tem dois concelhos: Angra do Heroísmo, localizado essencialmente na parte sul e oeste da ilha e Praia da Vitória, localizado na parte norte e este. A Angra do Heroísmo pertencem 19 freguesias e à Praia da Vitória pertencem 11 freguesias.

A figura 2 apresenta a ilha Terceira e a divisão por concelho.

## Capítulo 2 – Enquadramento Geográfico



*Figura 2 - Ilha Terceira e os seus dois concelhos (Na minha ilha, 2014)*

Segundo os Censos 2011 a população residente na ilha Terceira era de 56437 pessoas, cerca de 23 % da população residente no arquipélago.

### 3. Enquadramento Ambiental

Vivemos um período de grande dependência dos combustíveis fósseis, sendo um dos maiores desafios da atualidade, garantir um futuro sustentável para as gerações vindouras. Ao longo das próximas décadas prevê-se que os preços dos combustíveis fósseis aumentarão à medida que a procura de energia aumentar (Foleya *et al.*, 2014).

Neste sentido, a utilização de energias renováveis mostra-se essencial.

Segundo a opinião de vários peritos, a temperatura média global nos últimos 150 anos aumentou cerca de 0,8 °C em todo o mundo, e na Europa, registou-se um aquecimento superior, onde a temperatura média aumentou cerca de 1 °C. Para além disso, onze dos doze anos mais quentes de que há memória (desde 1850 – data dos primeiros registos fidedignos) tiveram lugar entre 1995 e 2006. O impacto do aumento das temperaturas é já evidente na fusão de gelo no Ártico e nos Alpes, nos padrões de pluviosidade, nas secas e ondas de calor, e na intensidade dos ciclones tropicais (Comissão Europeia, 2008).

Para evitar que as alterações climáticas tenham consequências irreversíveis, muitos peritos defendem que há que limitar o aumento da temperatura a 2 °C acima do nível da era pré-industrial, sendo consensual entre a comunidade científica que, na ausência de qualquer ação, a temperatura média global poderá aumentar até 6°C em relação aos níveis de 2008, ao longo deste século (Comissão Europeia, 2008).

Neste momento, todas as nações enfrentam o grande desafio da travagem das alterações climáticas provocadas pelo excesso de produção de gases com efeito de estufa, e o dever de evitar situações irreversíveis que afetarão todos os seres vivos existentes no planeta.

Em 1997 foi acordado o Protocolo de Quioto da Convenção das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas. Este protocolo veio comprometer todas as partes envolvidas não só a limitar como a reduzir os gases com efeito de estufa assim como a promover um desenvolvimento sustentável (Pereira, 2009).

A 17 de Dezembro de 2008, o Parlamento Europeu aprovou o pacote clima-energia com o objetivo de redução, por parte dos Estados Membros, em 20% as emissões de gases com efeito de estufa, elevação para 20% da quota-parte das energias renováveis no consumo de energia e o aumento em 20% da eficiência energética até 2020. O pacote fixou também uma meta de 10% de energias renováveis no sector dos transportes até essa data (Parlamento Europeu, 2008).

### **Capítulo 3 – Revisão bibliográfica**

O Governo dos Açores, considerando a importância emergente que as alterações climáticas constituem para a sustentabilidade do planeta e consequentemente para a Região Autónoma dos Açores, elaborou uma Estratégia Regional para as Alterações Climáticas através da Resolução do Conselho do Governo n.º 123/2011, de 19 de Outubro. A estratégia passa por atacar a origem do problema através de políticas de mitigação, centradas essencialmente na redução das emissões de gases com efeito de estufa, bem como através de ações e políticas de adaptação que permitam às sociedades lidar com as transformações que se afiguram como inevitáveis. Esse programa não produziu grandes efeitos, porque a maioria das emissões de gases com efeito de estufa estão associadas às atividades agropecuárias.

No Plano e Orçamento para 2015, o Governo Regional propõe-se, através de um concurso internacional, elaborar o plano de ação para as alterações climáticas, onde pretende não só estabelecer metas, mas também planos de ação baseados na nossa realidade concreta. Assim sendo, ainda nos encontramos nos primórdios do estabelecimento de medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas na região (Região Autónoma dos Açores, 2014).

## 4. Revisão bibliográfica

### 4.1. Energia hídrica reversível

#### 4.1.1. Conceitos gerais

As centrais hídricas reversíveis armazenam energia elétrica sob a forma de energia potencial gravítica através do bombeamento de água para um reservatório a uma cota mais elevada e posteriormente transformam o potencial da água a nível topográfico mais elevado em energia elétrica (Deane *et al.*, (2010).

O sistema hídrico reversível é o método mais utilizado para armazenar energia a ser futuramente distribuída na rede elétrica, tendo um elevado rendimento e uma grande capacidade de armazenamento.

É atualmente umas das soluções com maior potencial, para evitar o corte da geração eólica quando ocorre excesso de geração, permitindo também a regulação de carga, pelo facto do tempo de reação ser rápido, e a regulação de frequência se poder fazer tanto em bombagem como em turbinagem (Projeto STORIES, 2014).

Na Europa, esta tecnologia produz 99 % da energia que é armazenada e depois distribuída na rede elétrica (Projeto STORIES, 2014).

Algumas desvantagens deste sistema, mencionadas em FUTURELAB, (2007) são os custos, as restrições geográficas e ambientais para a implantação dos reservatórios e a suscetibilidade às condições de seca.

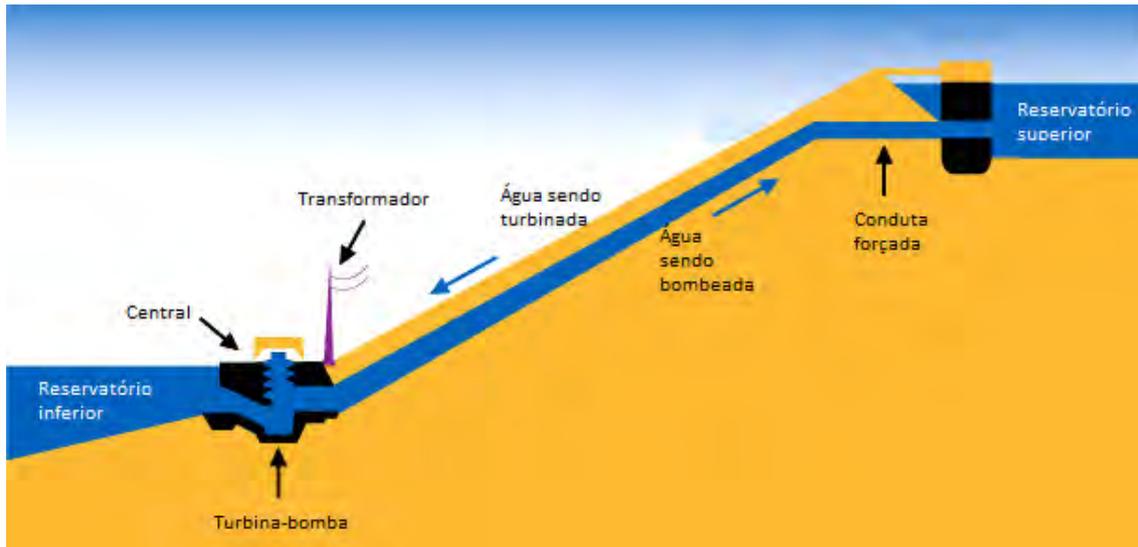


Figura 3 - Esquema geral de sistema hídrico reversível (Adaptado de Consumersenergy, 2014)

### 4.1.2. História

As primeiras centrais hídricas com bombagem foram instaladas na Suíça e Itália em 1890, de modo a permitir o armazenamento do excedente de energia elétrica gerado pelas centrais hidroelétricas de fio-de-água durante os períodos noturnos, para que essa energia pudesse ser posteriormente utilizada nos períodos de maior consumo (Teixeira, 2012).

Em 1964 entrou em funcionamento a primeira central hídrica reversível em Portugal, através do aproveitamento do Alto Rabagão no rio Rabagão, com uma potência instalada de 72 MW e uma altura de queda média de 169 m. Desde então, o número de centrais hídricas reversíveis instaladas tem aumentado consideravelmente, tendo-se vindo a assistir a diversas requalificações de centrais hídricas de albufeira convencionais, para que essas possuam também a capacidade de bombagem (Teixeira, 2012).

No final de 2011 existia no mundo uma capacidade instalada de produção de elétrica a partir de centrais hídricas reversíveis de 140 GW, sendo o Japão o país com maior capacidade instalada, correspondendo a 25,2 GW (Teixeira, 2012).

Portugal, em 2009, estava em décimo quinto lugar no ranking dos países com maior capacidade instalada do mundo, com um total de 1029 MW (Teixeira, 2012).

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

### 4.1.3. Principais componentes das centrais hídricas reversíveis

- **Reservatórios**

É comum em projetos desta natureza utilizar reservatórios já existentes, como lagos, rios ou o próprio mar, de forma a reduzir os custos de construção. Geralmente, pelo menos um dos reservatórios já existe antes da execução do projeto.

De acordo com Teixeira, (2012), quanto às características dos reservatórios, pode-se agrupar as centrais hídricas reversíveis em dois tipos:

- Centrais hídricas reversíveis puras, onde a fonte de energia é apenas a água previamente bombeada para o reservatório superior.



Figura 4 - Central hídrica reversível pura de Okinawa – Japão (Teixeira, 2012)

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

- Centrais hídricas reversíveis combinadas, onde a fonte de energia é não só a água armazenada no reservatório superior proveniente da bombagem, mas também a água que flui para este através de um afluente natural.



Figura 5 – Central hídrica reversível combinada do Alqueva - Portugal (Agrotec, 2014)

- **Condutas forçadas**

As condutas forçadas possuem uma forma cilíndrica, e são usualmente construídas em aço (Félix, 2011). Dependendo do material de construção, o atrito no escoamento irá variar.

Sempre que possível as condutas forçadas são fixadas à superfície, mas em determinadas situações têm de ser enterradas (Félix, 2011).

O sistema de condutas forçadas que liga os dois reservatórios, pode ser de uma única conduta reversível, para um conjunto bomba-turbina, ou de duas condutas, uma para o bombeamento da água e a outra para a turbinagem.

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

A utilização do sistema de duas condutas permite mais facilmente estabilizar a tensão e frequência, ao contrário do outro sistema que não pode carregar e descarregar energia ao mesmo tempo (Lu *et al.*, 2014).

Até 1920, a maioria das centrais hídricas com bombagem apresentava os dois eixos distintos, turbina-gerador e bomba-motor (Teixeira, 2012).



Figura 6 - Condução forçada do aproveitamento hidroelétrico de Agilde (Portugal) (Metaloespo, 2011)

- **Turbomáquinas**

As máquinas hidráulicas têm como objetivo fundamental promover a troca de energia mecânica entre o fluido – que nas situações mais correntes é a água – e um dos seus órgãos (Oliveira, 2008).

Neste projeto serão unicamente abordadas dentro das máquinas hidráulicas as turbomáquinas, necessárias à concretização do projeto da central hídrica reversível.

As turbomáquinas podem dividir-se em duas categorias distintas:

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

- Turbomáquinas recetoras ou bombas - Têm a capacidade de elevar a pressão de um fluido, isto é, de lhe comunicar energia mecânica recebida do exterior.
- Turbomáquinas motoras ou turbinas - Absorvem a energia transmitida pelo fluido, tornando-a disponível no veio (mediante um binário e uma velocidade angular).

Ainda inserida na família das turbomáquinas hidráulicas, pode-se definir também uma terceira categoria, denominada por turbinas-bombas, que reúne características comuns às duas famílias anteriores. Estas turbomáquinas hidráulicas são reversíveis, ou seja, podem rodar em ambos os sentidos consoante funcionam como turbinas ou como bombas, invertendo-se o sentido do escoamento através da roda (Oliveira, 2008).

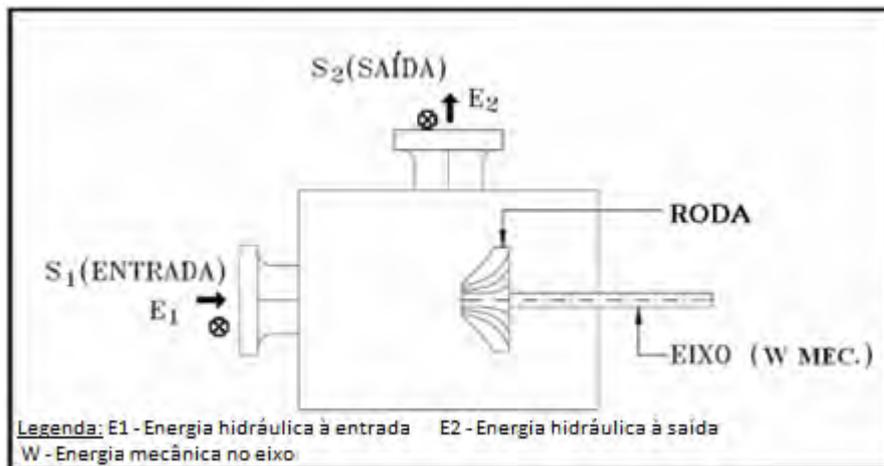


Figura 7 - Esquema de turbomáquina hidráulica (Adaptado de Oliveira A., 2008)

No caso das turbinas-bombas verifica-se que a energia mecânica no eixo tanto pode ser positiva como negativa, consoante o rotor recebe ou transmite energia do ou ao fluido, respetivamente.

As bombas são geralmente classificadas segundo o modo pelo qual é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica, ou seja, pelo recurso utilizado para ceder energia ao líquido. A classificação mais usual é a seguinte: (Oliveira, 2008)

- Bombas de deslocamento positivo – rotativas e alternativas - O líquido recebe a ação das forças diretamente de um pistão ou êmbolo. São exemplo, as bombas de engrenagens, bomba helicoidal, de palhetas e pistão giratório.

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

- Bombas rotodinâmicas ou turbo-bombas - Há transferência de quantidade de movimento para o líquido através da aceleração provocada por um elemento rotativo dotado de pás denominado por rotor. O intercâmbio de energia depende das forças dinâmicas originadas pelas diferenças de velocidades entre o fluido que escoar e as partes móveis da máquina.

Segundo Félix, (2011), as turbinas classificam-se, numa primeira fase, em dois grandes grupos, consoante a roda é atuada pela água:

- Turbinas de ação – Convertem em energia mecânica a energia cinética contida num ou mais jatos de água provenientes de um ou mais injetores, funcionando à pressão atmosférica. São utilizadas usualmente em centrais hídricas com elevadas quedas e pequenos caudais. São exemplo as turbinas Pelton.
- Turbinas de reação - Funcionam totalmente imersas em água e as pás do rotor têm um perfil adequado para que as diferenças de pressão entre elas produzam forças que fazem rodar o rotor. São aplicadas geralmente em centrais com quedas baixas ou médias e elevados caudais. São exemplos as turbinas Francis, Kaplan e Hélice.

As turbinas-bombas podem ser turbomáquinas do tipo bombas rotodinâmicas ou turbinas de reação.

As bombas de deslocamento positivo não têm qualquer analogia às turbinas e as turbinas de ação também não têm o correspondente tipo nas bombas rotodinâmicas, já que estas funcionam sob pressão e as turbinas de ação funcionam à pressão atmosférica (Oliveira, 2008).

De acordo com Oliveira, (2008), conforme a direção do escoamento na roda, as turbinas-bombas podem classificar-se em:

- Turbinas-bombas Hélico-centrípetas ou Radiais-axiais – São turbomáquinas em que as linhas de corrente estão contidas em planos perpendiculares ao eixo.
- Turbinas-bombas axiais – São turbomáquinas em que as linhas de corrente se situam em superfícies de revolução, que são muito aproximadamente cilindros, de eixo paralelo ao da turbomáquina;
- Turbinas-bombas mistas - São turbomáquinas em que as velocidades em cada ponto apresentam componentes axiais e radiais apreciáveis. Estas têm ainda a designação de helicoidais, subdividindo-se em, helicocentrífugas e

helicocêntricas, consoante o movimento do fluido se verifica, respetivamente, do veio para a periferia ou em sentido inverso.

### 4.2. Outras tecnologias de sistemas de armazenamento de energia

Atualmente existe uma grande variedade de tecnologias de armazenamento de energia, cada uma com as suas características específicas, custos, maturidade tecnológica e aplicações.

Abaixo são apresentadas dez diferentes tecnologias de armazenamento com uma breve descrição dos seus sistemas de funcionamento, tendo por base o descrito por Ponte, (2012) no que respeita às tecnologias de armazenamento de energia.

- **Armazenamento de Energia por Bombeamento Hidroelétrico Subterrâneo:** É baseado no mesmo conceito do armazenamento de energia por bombeamento hidroelétrico, mas o reservatório superior localiza-se ao nível do solo e o reservatório inferior é subterrâneo. Estas centrais podem ser utilizadas para o aproveitamento de velhas minas como reservatório inferior.  
As maiores desvantagens desta tecnologia são a sua imaturidade e os custos elevados que até hoje ainda não foram bem identificados devido aos poucos projetos efetuados.
- **Armazenamento de Energia por Ar Comprimido:** Este tipo de tecnologia opera da mesma forma que uma convencional turbina a gás, no entanto, nas turbinas a gás convencionais, 66% do gás utilizado é necessário para comprimir ar, contudo o sistema de armazenamento de energia por ar comprimido utiliza a eletricidade dos períodos de vazio para pré-comprimir o ar e armazená-lo num reservatório subterrâneo. Este reservatório é de construção dispendiosa, pelo que é vantajoso utilizar formações geológicas para o efeito, como por exemplo, grutas de sal.  
Este sistema não elimina a utilização de combustíveis fósseis, mas reduz a necessidade de gás para 1/3, aproximadamente, e tem uma reação muito rápida às variações de carga sendo ideal para atuar como controlador e fornecedor de

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

energia nos picos de procura (reage em menos de 10 minutos desde os 0% até aos 100%). Ainda não está quantificada com suficiente exatidão a eficiência destes sistemas, mas acredita-se que se encontra entre os 68 % e os 75%, para potências entre os 50 MW e os 300MW.

A primeira central deste tipo foi construída na Alemanha em 1978 em Hundorf.

- Armazenamento de Energia em Baterias: O modo de operar é semelhante ao das baterias convencionais, onde são exploradas as reações químicas que ocorrem nos eletrodos imersos num eletrólito, no entanto, existem diferentes tipos de materiais utilizados na construção das baterias que lhes conferem diferentes características, como por exemplo, Chumbo-Ácido, Níquel-Cádmio e Sódio-Enxofre.
  - Chumbo-Ácido - Estas baterias são as mais comuns no presente devido à sua maturidade tecnológica, baixo custo e rápida resposta. A sua eficiência média é de 75% a 85% em operação normal, com uma vida útil de cerca de 5 anos. Estas baterias têm como aplicações principais o/a arranque/ignição e fornecimento estável e baixo de energia durante um longo período
  - Níquel-Cádmio - A eficiência destas baterias ronda os 60% a 70% com um tempo de vida entre os 10 a 15 anos e são mais dispendiosas do que as baterias de Chumbo-Ácido.
  - Sódio-Enxofre - Estas baterias têm três vezes mais densidade energética que as baterias de Chumbo-Ácido, maior tempo de vida e exigem menor manutenção. A sua eficiência energética varia de 82% a 89%.
- Armazenamento de Energia em Baterias de Fluxo: Estas baterias funcionam com dois eletrólitos colocados em diferentes reservatórios, sendo estes forçados a atravessar uma célula eletroquímica por meio de duas bombas. A potência das baterias depende do tamanho da pilha de células enquanto a capacidade de armazenamento depende do volume dos reservatórios onde estão colocados os eletrólitos.

A potência do conjunto é determinada pela taxa de reação entre os eletrólitos na célula eletroquímica.

Existem diferentes materiais para estas baterias, tais como:

  - Vanádio-Redox - Com eficiências de 85%, sendo essencialmente utilizadas em nivelamento de carga e cobertura dos picos;

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

- Polissulfureto-Brometo - Com eficiências de 75%, e com as mesmas aplicações das Vanádio-Redox;
  - Zinco-Brometo - Com eficiências de 75% a 80%, com aplicações essencialmente no sector renovável, uma vez que tem uma densidade energética superior.
- 
- Armazenamento de Energia por Volante de Inércia: Este tipo de sistema consiste num veio central ligado a um rotor e a um volante de inércia. O motor é utilizado numa primeira fase para fazer rodar o volante de inércia até velocidades angulares entre os 10000 – 80000 rpm, e numa segunda fase o motor funciona como gerador que utiliza o momento angular da massa giratória, até se anular, para produzir energia elétrica. A carga pode ser fornecida ao volante de inércia nos períodos de vazio, quando existe excesso de produção de energia renovável e/ou quando a eletricidade é mais barata. Este mecanismo funciona em vácuo para reduzir a resistência aerodinâmica, e em rolamentos magnéticos, para reduzir a fricção. Como é mantido em vácuo tem de existir um sistema de refrigeração integrado para dissipar o calor produzido nos elementos mecânicos. É um sistema com durabilidade e rápido numa resposta dinâmica e, por isso, utilizado para melhorias da qualidade da potência, variações de frequência e para regular a rede. Por ser um mecanismo mecânico, pode ser carregado e descarregado na totalidade sem qualquer prejuízo para o dispositivo. Estes dispositivos atingem eficiências superiores a 80%.
  - Armazenamento de Energia em Hidrogénio: Esta tecnologia é das mais recentes e das mais promissoras, pois é a única que permite interação entre as três áreas mais importantes do sistema energético: Eletricidade, Calor e Transportes. O modo de operação consiste em três fases: produção, armazenamento e utilização. A produção de hidrogénio pode ser feita através:
    - Da extração dos combustíveis fósseis (muito dispendiosa);
    - Da reação de vapor de água com metano (produz gases poluentes);
    - Da eletrólise da água a partir da eletricidade (mais promissora, sem emissão de gases poluentes se a eletricidade for de fonte renovável).

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

No processo de eletrólise faz-se passar eletricidade por elétrodos mergulhados em água, sendo a ligação química do hidrogénio com o oxigénio quebrada, libertando-os para que possam ser armazenados. Para este efeito são muito utilizadas as PEM (Proton Exchange Membrane) que normalmente têm a platina como catalisador. A melhor forma de utilizar esta técnica é através do aproveitamento do excesso de eletricidade renovável para promover a reação química.

Para o armazenamento do hidrogénio existem diferentes possibilidades, sendo as duas formas mais comuns:

- Hidrogénio gasoso comprimido - O hidrogénio é o elemento mais leve, portanto, no estado gasoso é muito volátil, escapando mesmo ao campo gravítico terrestre. Assim, para armazenar grandes quantidades de hidrogénio são necessários grandes volumes e condições bastante rigorosas (700 bar – quanto maior a pressão maior a densidade energética).
- Hidrogénio liquefeito - As condições para manter o hidrogénio líquido são bastante difíceis e, por isso, energeticamente dispendiosas, sendo necessário pressurizar e baixar a temperatura até 21 K.

Comparativamente à gasolina, o hidrogénio é muito volumoso e tem um poder calorífico cerca de quatro vezes inferior.

Todas as técnicas ainda estão em estado de desenvolvimento, não existindo ainda nenhuma técnica ótima para o efeito de armazenamento.

Em relação à utilização do hidrogénio, este pode ser utilizado de duas formas:

- Motores de Combustão Interna - As modificações necessárias aos motores de combustão interna para operar com o hidrogénio como combustível não são muito significativas. Apesar de não provocar emissões de CO (monóxido de carbono) nem de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), tem associadas emissões de NO<sub>x</sub> (óxidos de azoto), produzido pelo aumento da temperatura do ar no motor de combustão, por isso, apesar de ser uma excelente alternativa relativamente à fonte energética, pode trazer algumas desvantagens ambientais.
- Pilha de Combustível – Este método consiste na reação química de juntar o oxigénio que passa pelo cátodo com o hidrogénio que passa pelo ânodo obrigando-o a libertar eletrões que passando por um circuito externo, produz eletricidade. A reação química origina água e eletricidade. Não produz poluentes e a quantidade de energia produzida depende das

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

condições de operação, do tipo de célula utilizada e do catalisador utilizado.

Existem grandes perdas nesta tecnologia, pois é sujeita a três etapas com diferentes eficiências antes da sua utilização final.

A eletrólise tem uma eficiência de cerca de 85%, o armazenamento de 65% – 70% e a pilha de combustível de 40% – 80%. Na globalidade dá uma baixa eficiência de 22% a 48%.

Futuramente, com a melhoria das condições de eficiência, o armazenamento de energia em hidrogénio poderá ser uma excelente tecnologia de armazenamento de energia por ser muito versátil.

- Armazenamento de Energia em Super Condensador: Funciona da mesma forma que qualquer condensador elétrico, mas numa escala muito maior. As grandes vantagens são os factos de carregar e descarregar rapidamente e durar cerca de 106 ciclos.

É uma boa aplicação para carros híbridos, telemóveis e nivelamento de carga.

O tempo de resposta é rápido, porém a baixa densidade de armazenamento de energia face aos custos que atingem é a grande desvantagem desta tecnologia.

- Armazenamento de Energia em Super Condutor Magnético: Este sistema armazena energia num campo magnético criado pelo fluxo de corrente direta numa bobine, em condições refrigeradas e em vácuo para manter a bobine a baixa temperatura.

Normalmente quando passa corrente num fio é dissipado calor devido à resistência, pelo efeito de Joule, no entanto, se o fio for mantido como supercondutor, arrefecido a menos de 150 K para supercondutores de altas temperaturas ou a menos de 7 K para supercondutores de baixas temperaturas, não existe resistência e pode ser armazenada energia praticamente sem perdas.

É ideal para controlo de potência no mercado industrial, no entanto, a sensibilidade às variações de temperatura tornam-se numa desvantagem.

- Armazenamento de Energia Térmica: Esta tecnologia tem como objetivo armazenar energia em excesso em reservatórios térmicos. Não tem fins de produção de eletricidade, apenas para aquecimento e arrefecimento.

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

- Veículos Elétricos: Nesta tecnologia os carros elétricos podem ser diretamente ligados à rede, o que assim representaria uma quantidade enorme de armazenamento de energia, onde durante o período de vazio carregam-se as baterias dos carros, e durante o dia, para controlo/picos de carga, os carros fornecem energia à rede. A grande desvantagem é o grande investimento inicial para criar todas as condições e infraestruturas necessárias para o efeito e as baterias dos carros ainda estão limitadas quanto à autonomia e sofrem do problema de memória, ou seja, a capacidade de recarga reduz com o passar do tempo.

Segundo Junjie *et al.*, (2013), atualmente, para além do armazenamento de energia por bombeamento hidroelétrico, o armazenamento de energia por ar comprimido e o armazenamento de energia química são as tecnologias de armazenamento de energia de larga escala mais utilizadas.

### 4.3. Projetos de centrais hídricas reversíveis

#### 4.3.1. Central hídrica reversível de Okinawa

A única central hídrica reversível que utiliza água do mar atualmente existente encontra-se na ilha japonesa de Okinawa, localizada no Oceano Pacífico, no arquipélago de Ryukyu no Trópico de Câncer, com uma área de 2 271,3 km<sup>2</sup> e uma população de 1318218 habitantes (Pereira, 2009).

A construção desta central começou em 1991 e finalizou-se em 1999. A empresa encarregada da obra foi a Electric Power Development Co, Ltd com o apoio do Ministério do Comércio Internacional e da Indústria do Japão. O objetivo era possibilitar a armazenagem de energia produzida pela central nuclear que não é utilizada em horas mortas (Pereira, 2009).

Durante um período de cinco anos realizaram-se testes para averiguar o funcionamento correto da produção hidroelétrica e desde 2004 a mesma empresa está encarregue da exploração e manutenção do sistema (Pereira, 2009).

## Capítulo 4 – Revisão bibliográfica

O reservatório superior foi a parte mais delicada da construção por ter que albergar grandes quantidades de água salgada que no caso de ocorrer infiltrações no terreno iriam causar danos ambientais. Deste modo o fundo do reservatório foi composto por várias camadas com especificidades diferentes mas que se completam para garantir a sua impermeabilidade (Pereira, 2009).

É um reservatório do tipo octogonal, situado a 150 m do nível do mar e a 600 m da costa. Tem 25 m de profundidade, um perímetro superior de 848 m, uma superfície máxima de 0,046 km<sup>2</sup> e uma capacidade máxima de 590000 m<sup>3</sup> (Pereira, 2009).

A potência instalada da central é de 30 MW (Manfrida *et* Secchi, 2014).

O sistema de tubagens é constituído por duas partes distintas: a conduta forçada que liga o reservatório superior à estação de produção hidroelétrica com um comprimento de 316 m e um diâmetro interior de 2,4 m; a conduta de restituição que liga a estação de produção hidroelétrica ao mar, e tem um comprimento de 205 m e um diâmetro interior de 2,7 m (Pereira, 2009).

Tanto as tubagens como a estação de produção hidroelétrica são subterrâneas com o objetivo de minimizar os impactos no ecossistema envolvente e na paisagem. Esta estação está situada ao nível do mar, com 16,4 m de largura, 40,4 m de comprimento e 32,3 m de altura e está ligada à superfície por um elevador (Pereira, 2009).

Nas tubagens foram utilizados materiais especiais que em contacto com a água salgada não ficam corroídos, e que dificultam a aderência de organismos marinhos (Pereira, 2009).

As juntas das tubagens foram especialmente desenhadas para prevenir fugas de água e adesão de organismos (Pereira, 2009).

Ao nível do mar foi construído um paredão de proteção, para evitar que a força do mar cause danos na estrutura de captação de água e para que, aquando de bombagens de água, exista o mínimo de flutuação do nível de água para evitar a bombagem de ar. Este paredão também tem o objetivo de proteger o ecossistema marinho aquando de descargas (Pereira, 2009).

Depois de estar construído o sistema, diversos testes, análises e monitorizações foram levadas a cabo para garantir que a permeabilidade era um fator controlado e eficaz.

Em seis anos de controlos apertados não houve nenhuma infiltração de água salgada, só foi identificada uma certa infiltração de água doce que foi devidamente captada e encaminhada para o reservatório. Não foram detetados quaisquer defeitos nas estruturas e não ocorreu quaisquer tipos de deformações das fundações (Pereira, 2009).

## **Capítulo 4 – Revisão bibliográfica**

No reservatório a quantidade de seres vivos marinhos aumentou com o tempo mas que tendeu a estabilizar, tendo-se instalado certas algas e moluscos no fundo sem afetar as suas características (Pereira, 2009).

Em termos de proteção relativa à infiltração de água salgada este projeto demonstrou ser um sistema viável (Pereira, 2009).

## 5. Setor elétrico dos Açores

### 5.1. Evolução da penetração de energias renováveis nos Açores

Tem ocorrido uma crescente aposta na geração de energia a partir de fontes renováveis um pouco por todo o mundo, motivada não só pela preocupação ambiental, mas também pelo crescente aumento do custo dos combustíveis fósseis.

O arquipélago dos Açores tem também acompanhado a crescente aposta nas energias renováveis, e atualmente conta com eletricidade proveniente de fontes eólica, hídrica, geotérmica, biogás, solar fotovoltaica e das ondas, tendo os três últimos regimes pouca contribuição no panorama geral do arquipélago (SREA, 2014).

Para além dos benefícios acima referidos, acresce ainda a vantagem de aumentar a independência energética da região, garantindo também uma maior segurança de abastecimento.

No ano de 2013, a penetração de energias renováveis no setor elétrico da Região Açores foi de cerca de 35% e até 2017 o Governo Regional dos Açores pretende atingir os 53% (Presidência do Governo dos Açores, 2014), todavia, no Plano de Orçamento da Governo Regional dos Açores para 2015, verifica-se uma diminuição da intensidade do investimento nas energias renováveis na Região (Região Autónoma dos Açores, 2014).

O gráfico 1 mostra a evolução da produção elétrica na região desde 1990 até ao final do ano de 2013, por fonte de origem.

## Capítulo 5 – Setor elétrico dos Açores

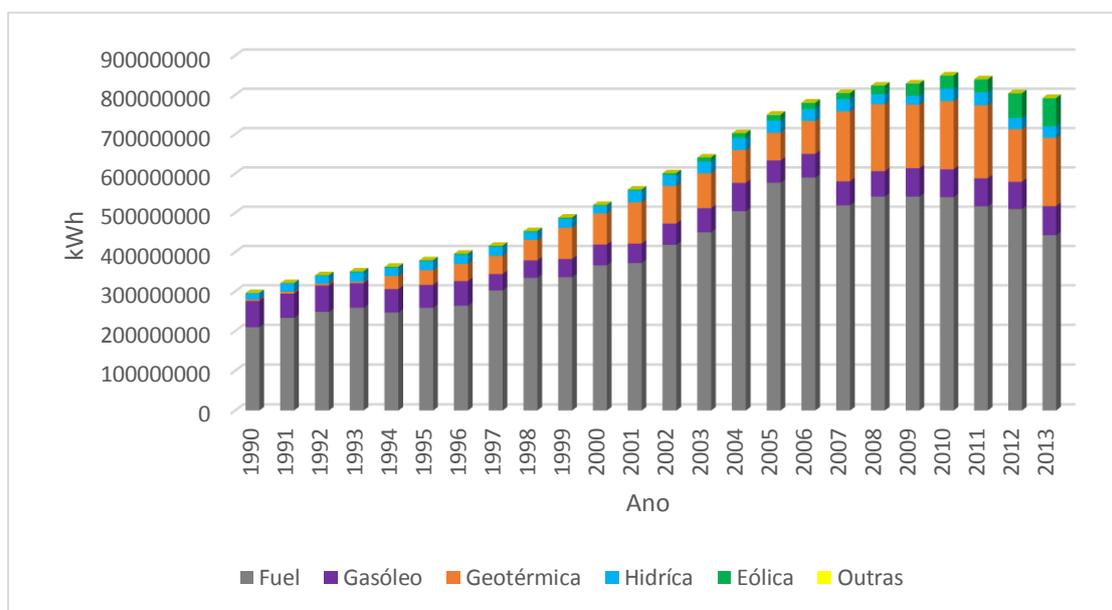


Gráfico 1 - Evolução da produção de energia elétrica, por fonte de origem, nos Açores, de 1990 a 2013 (SREA, 2014)

No período de 23 anos, a produção na região mais que duplicou, sendo a diferença entre 1990 e 2010 quase de 33%.

### 5.2. Dificuldades do setor elétrico dos Açores

Hoje em dia, o equilíbrio dos sistemas elétricos enfrentam alguns problemas devido à impossibilidade de prever com precisão os consumos de energia e a ocorrência de incidentes na rede e a produção de energia renovável ser em grande medida inflexível (Kooning *et al.*, 2014).

Uma das grandes dificuldades do setor elétrico da região deve-se ao facto de cada ilha ter o seu sistema electroprodutor independente, tendo as várias ilhas um consumo elétrico muito baixo.

Num sistema elétrico a potência de geração tem que igualar, a cada momento, a potência requerida pelos consumidores e a não manutenção deste equilíbrio pode levar à instabilidade do sistema elétrico, residindo neste ponto uma das maiores desvantagens da tecnologia renovável com flutuações, cuja geração depende das condições atmosféricas. Deste modo, o sistema elétrico pode enfrentar problemas em relação ao balanço de potências, sendo este agravado nos períodos onde o consumo é baixo e, por exemplo, a energia eólica disponível é elevada, ocorrendo assim excesso de geração (Teixeira, 2012).

## Capítulo 5 – Setor elétrico dos Açores

Segundo Castro (2009), para uma operação segura das redes elétricas, os valores máximos de penetração de energia eólica no conjunto da geração aproximam-se dos 20%.

Quando o excesso de geração é verificado, uma das soluções que pode ser tomada é o corte da geração eólica, porém, esta medida implica o desperdício de um recurso renovável e o aumento do consumo dos combustíveis fósseis, pelo que esta opção deve ser evitada sempre que possível.

A companhia de eletricidade dos Açores, para melhorar a forma do diagrama de cargas de cada ilha, utiliza o sistema de tarifação múltipla da energia elétrica, sendo esta mais barata nos períodos de vazio, para os clientes de média e baixa tensão especial, e para os clientes de baixa tensão normal que optem por este tipo de tarifário. Também é introduzida uma taxa de potência em horas de ponta para clientes de média tensão e baixa tensão especial, definida pelo quociente entre a energia ativa fornecida em horas de ponta e o número de horas de ponta no intervalo de tempo a que a fatura respeita.

Estas medidas embora encorajem o consumo de energia nas horas de vazio, não mostram melhorias significativas nos diagramas de carga das várias ilhas.

A solução para a estabilidade da rede, que ao mesmo tempo dê para introduzir mais energias renováveis não aproveitáveis, como é o caso da energia eólica, passa pelo armazenamento da energia gerada em excesso nos períodos de vazio, para que esta possa ser utilizada quando mais conveniente.

Recentemente, em Outubro de 2014, a Assembleia Legislativa da Região Autónoma dos Açores aprovou uma Resolução que permitirá implementar na Região Autónoma dos Açores uma diversificação tarifária que pretende regularizar os diagramas de carga nos períodos de vazio semanais, mas também tentar regularizar os diagramas de carga das diversas ilhas nos fins-de-semana (sábado e domingo) (Resolução nº 26/2014/A).

## 6. Setor elétrico da ilha Terceira

Segundo o Relatório “Caraterização das Redes de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica da Região Autónoma dos Açores - Situação em 31 de Dezembro de 2012”, elaborado pela EDA, nesta data, o sistema elétrico da Ilha Terceira era composto por cinco centrais de produção de energia elétrica e por cinco subestações. O sistema de Transporte e Distribuição era composto por uma rede de transporte de Média Tensão - 30 kV e por uma rede de distribuição de Média Tensão com o nível de tensão de 15 kV. Nas instalações da Base Aérea das Lajes, a distribuição de energia elétrica era efetuada com o nível de tensão de 6,9 kV.

Atualmente a produção de eletricidade da ilha Terceira é assegurada por seis centros produtores: Central Termoelétrica do Belo Jardim, Central Hídrica da Nasce Água, Central Hídrica de São João de Deus, Central Hídrica da Cidade ou do Jardim Público de Angra do Heroísmo (estando as três centrais hídricas ligadas entre si, operando em cascata), Parque Eólico da Serra do Cume (EDA Renováveis), Parque Eólico Da Serra do Cume (CAEN). Há ainda a produção de eletricidade através de energia solar e eólica por produtores privados em regime de micro e mini produção que no panorama geral não têm grande significado (SREA, 2014).

### 6.1.Sistema electroprodutor da ilha Terceira

- **Central Belo Jardim**

A Central Termoelétrica do Belo Jardim está situada na Rua dos Pastos, na freguesia de Santa Cruz, concelho da Praia da Vitória. Possui uma potência calorífica de combustão instalada total de 158,81 MWt, e uma potência elétrica instalada total de 61,12 MWe. Utiliza o fuelóleo como combustível principal e o gasóleo somente nas situações de arranque e paragem dos grupos eletrogeradores (Licença Ambiental nº 5/2008/DRA). É constituída por 10 grupos, sendo as principais características dos vários grupos apresentadas na seguinte tabela (Licença Ambiental nº 5/2008/DRA).

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

Tabela 1 – Características dos grupos geradores da central termoelétrica do Belo Jardim (Licença Ambiental nº 5/2008/DRA)

	<b>Entrada em funcionamento</b>	<b>Potência Térmica (MWt)</b>	<b>Potência Elétrica (MWe)</b>	<b>Tipo de motor</b>
<b>I Grupo</b>	Janeiro 1984	8,13	2,5	Diesel de 4 tempos
<b>II Grupo</b>	Fevereiro 1990	8,13	2,5	
<b>III Grupo</b>	Agosto 1986	7,80	2,5	
<b>IV Grupo</b>	Novembro 1983	7,43	2,5	
<b>V Grupo</b>	Dezembro 2003	15,85	6	
<b>VI Grupo</b>	Outubro 2000	15,85	6	
<b>VII Grupo</b>	Janeiro 1997	15,85	6	
<b>VII Grupo</b>	Janeiro 1997	15,85	6	
<b>IX Grupo</b>	Setembro 2004	31,96	12	
<b>X Grupo</b>	Outubro 2004	31,96	12	
<b>Total</b>		<b>158,81</b>	<b>58</b>	

- **Parque Eólico Serra do Cume (EEG – Atual EDA Renováveis)**

O Parque Eólico Serra do Cume, projeto da responsabilidade da EEG, atual EDA Renováveis, foi inaugurado a 30 de Agosto de 2008 com 4,5 MW de potência instalada, graças a 5 aerogeradores ENERCON E-44 de 900 kW de potência unitária (EDA Renováveis a, 2014).

Em 2010, tendo em consideração o grande potencial eólico existente, foi alvo de uma ampliação com a instalação de mais 5 aerogeradores ENERCON E-44, tendo sido aumentada a potência instalada para 9 MW (EDA Renováveis a, 2014).

A produção do Parque Eólico ronda os 14% da produção elétrica da ilha (EDA Renováveis a, 2014).

O parque está apto a trabalhar em regime abandonado e todo o seu funcionamento é monitorizado a partir da Central Térmica de Belo Jardim (EDA Renováveis a, 2014).

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

- **Parque Eólico Serra do Cume (CAEN)**

O parque eólico privado da serra do Cume, zona Norte, da CAEN Lda., iniciou a sua produção em Setembro de 2013. É constituído por 4 aerogeradores ENERCON E-44, de 900 kW cada, totalizando uma potência instalada total de 3,6 MW (Energias de Portugal, 2013).

Nos três primeiros meses de produção, Setembro, Outubro e Novembro de 2013, o parque eólico produziu cerca de 213 MWh, 748 MWh, e 499 MWh respetivamente (SREA, 2014).

- **Centrais Mini hídricas**

As três centrais mini hídricas a fio de água da ilha Terceira, Central da Nasce Água, Central de São João de Deus, e Central da Cidade, operam em cascata, e são geridas pela EEG, atual EDA Renováveis (EDA Renováveis b, 2014).

A Central da Nasce Água é alimentada pelo tanque da Custaneira, com capacidade de 6000 m<sup>3</sup>, através de uma conduta de aço com o comprimento de 830 metros, diâmetro interior de 600 mm e com uma queda de 180 m. O tanque é alimentado pela nascente do Cabrito, através de uma tubagem de aço com o diâmetro interior de 500 mm, a uma distância de 915 m, e pela Furna de Água, através de uma caleira que dista mais ou menos 150 m. Esta central tem atualmente em funcionamento automático um grupo cujo alternador tem a potência de 850 KVA a 600 rpm (EDA Renováveis b, 2014).

A Central de São João de Deus localiza-se entre a Central da Nasce Água e a Central da Cidade.

Entre a Central da Nasce Água e a Central de São João de Deus, existe uma câmara de carga com a capacidade de 77,5 m<sup>3</sup>, alimentada através de um túnel com comprimento de 620 m, por uma conduta em betão armado com 1300 m de comprimento e diâmetro interior de 1 m. Esta câmara alimenta a Central de São João de Deus através de uma tubagem de aço de diâmetro interior de 700 mm, a uma distância de 1000 m, e com uma queda de 125 m. Esta central tem atualmente em funcionamento automático um grupo cujo alternador tem a potência de 560 KVA a 500 rpm (EDA Renováveis b, 2014).

A Central da Cidade localiza-se a jusante da Central de São João de Deus. Entre a Central de São João de Deus e a Central da Cidade, existe uma câmara de carga com capacidade de 77,5 m<sup>3</sup>, alimentada através de um túnel com 200 m de comprimento. Esta câmara

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

alimenta a Central da Cidade, através de uma conduta de aço de diâmetro interior de 700 mm, a uma distância de 600 m e com uma queda de 80 m. A central tem atualmente em funcionamento automático um grupo cujo alternador tem a potência de 330 KVA a 300 rpm (EDA Renováveis b, 2014).

As turbinas das três centrais são da marca B. MAYER do tipo Pelton, construídas no ano de 1954, e os alternadores são da marca ELIN (EDA Renováveis b, 2014).

### 6.2. Futuras centrais de produção

Em 2015 está previsto entrar em funcionamento a Central Geotérmica do Pico Alto e a Central de Valorização de Energia da ilha Terceira.

Abaixo são explicados os aspetos principais das futuras centrais e o que já foi realizado até ao momento.

- **Central Geotérmica da Terceira**

A energia geotérmica pode vir a ter especial importância nos Açores, devido à localização particular do arquipélago, que resulta num elevado gradiente geotérmico.

Devido ao elevado potencial geotérmico na ilha Terceira e à necessidade de introduzir na rede uma energia limpa mas que não sofra flutuações como a energia eólica, está previsto entrar em funcionamento no ano de 2015 a Central Geotérmica do Pico Alto, com uma potência instalada de 3 MW, sendo posteriormente ampliada para 10 MW de potência instalada em 2018 (EDA, 2012).

A exploração desta energia já se iniciou na ilha de São Miguel, com a produção de eletricidade pelas centrais do Pico Vermelho e da Ribeira Grande, com potências instaladas atualmente de 10 MW e 13 MW respetivamente.

Os estudos geotérmicos na Terceira datam de 1970, altura em que se efetuaram testes de resistividade geofísica e realizaram-se nove furos termométricos com profundidades entre os 85 m e os 222 m. Os resultados foram satisfatórios, tendo-se encontrado temperaturas que rondavam os 150°C. Em 1981 e 1982 realizaram-se mais alguns estudos, mas foi a partir de 1999 que o atual projeto geotérmico da ilha Terceira teve o seu início. Com o apoio da empresa de consultores americana Geotermex, executou-se uma nova

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

determinação da resistividade geolétrica, reduzindo-se a área de prospeção do projeto a 11 quilómetros quadrados (EDA, 2006).

A 23 de Julho de 2003 a Geoterceira (Empresa Geolétrica da Terceira) assinou com a Região Autónoma dos Açores um contrato para a prospeção e pesquisa de recursos geotérmicos na Ilha Terceira, e passou a desenvolver o projeto com o apoio e assessoria da SOGEO e com a colaboração da EDP (EDA, 2006).

De 28 de Abril de 2003 a 3 de Abril de 2004 realizaram-se quatro furos termométricos denominados TG-B, TG-H, TG-J e TG-Q, que atingiram profundidades de cerca de 300 a 600 m, no âmbito da prospeção geotérmica do Pico Alto, na Terceira (Henneberger *et al*, 2004).

Em 2009 iniciou-se a campanha de perfuração no Campo Geotérmico do Pico Alto, tendo sido executados até à data os poços geotérmicos PA1, PA2, PA3, PA4 e PA8, num total de cinco poços, encontrando-se em curso os trabalhos complementares de caracterização do recurso existente.

- **Central de Valorização Energética (TERAMB)**

A Central de Valorização de Energia na ilha Terceira, projeto da responsabilidade da TERAMB (Empresa Municipal de Gestão e Valorização Ambiental da Ilha Terceira), empresa que gere o aterro intermunicipal da ilha Terceira, deverá entrar em funcionamento em 2015, segundo notícia publicada no Jornal Água & Ambiente – edição de Junho de 2013.

O sistema empregado será de pirólise/gaseificação, e terá uma capacidade máxima de 66.000 ton/ano (8 ton/h), para um PCI (Poder Calorífico Inferior) admitido de 8,0 MJ/kg (base tal e qual) (TERAMB, s.d.).

De acordo com a TERAMB, (s.d.), a central será constituída por 4 unidades:

- Unidade de pré-tratamento e armazenagem de resíduos;
- Unidade de tratamento;
- Unidade de recuperação e conversão de energia;
- Unidade de depuração e controlo dos efluentes gasosos

Os resíduos sólidos urbanos serão convertidos de hidrocarbonetos complexos a gases simples, obtendo-se ainda resíduos de carbono em forma de cinza, materiais inertes e

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

metais pesados. Os resíduos serão reduzidos até 90% do seu volume inicial (TERAMB, s.d.).

A humidade considerada para os resíduos brutos é de 50% a 60%, e depois do processo de secagem, 20% a 30% (TERAMB, s.d.).

No final da fase de pirólise, os componentes voláteis e sólidos serão encaminhadas para o sistema de gaseificação por leitos fluidizados, onde serão submetidos a uma reação com vapor sobreaquecido, obtendo-se hidrogénio e monóxido de carbono – gás de síntese (TERAMB, s.d.).

A eletricidade será obtida com recurso a uma caldeira a vapor, através da passagem do vapor sobreaquecido por uma turbina de condensação, sendo a sua refrigeração realizada por ar. Parte da produção será utilizada para consumo próprio, e a restante será vendida à EDA a um valor previsto de 70,34 €/MWh (TERAMB, s.d.).

Conforme parecer da EDA de 22 de Março de 2011, o valor de potência a injetar na rede será de 1,7 MW (EDA, 2012).

A Central terá 4 unidades de gaseificação, estimando-se uma caudal de produção de gás de síntese de 5.488 kg/h e está previsto o funcionamento contínuo da Central durante 335 dias por ano – 8040 horas (TERAMB, s.d.).

### **6.3. Análise das variações da produção de eletricidade na ilha Terceira nos anos de 2012 e 2013**

Os dados utilizados para a conceção dos gráficos e tabelas dos subcapítulos 6.3, 6.4 e 6.5, foram facultados pela EDA S.A., na pessoa do Engenheiro Eletrotécnico Mário Mendes, no mês Maio do corrente ano.

Os gráficos 2 e 3 mostram os valores máximos e mínimos de eletricidade produzida, em cada mês, dos anos de 2012 e 2013 respetivamente.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

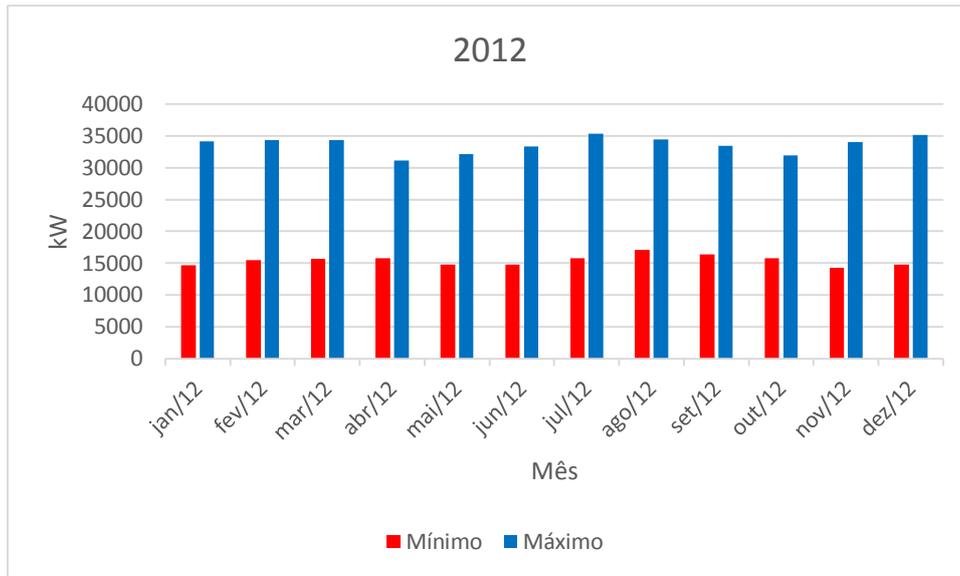


Gráfico 2 - Ponta máxima e vazio mínimo, registados em cada mês do ano de 2012

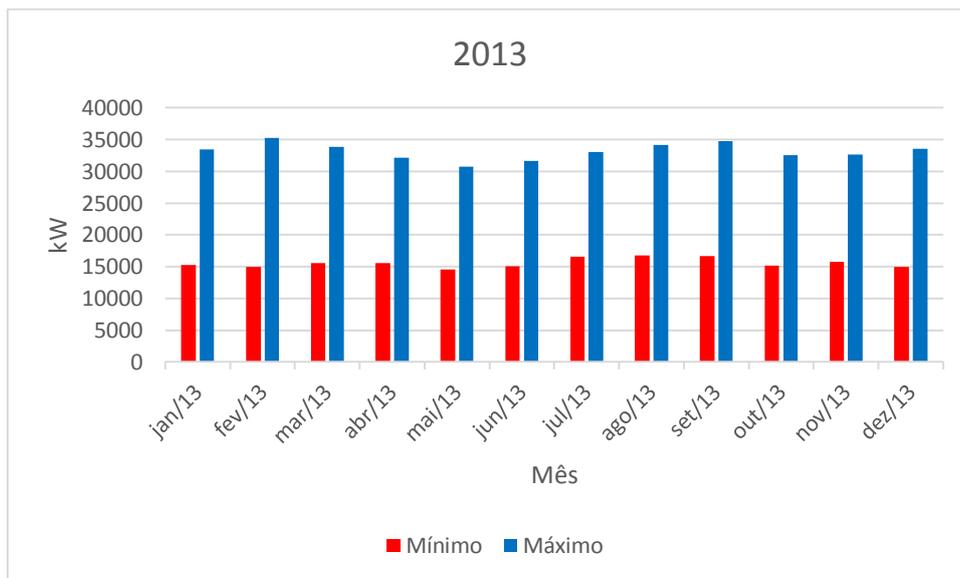


Gráfico 3 - Ponta máxima e vazio mínimo, registados em cada mês do ano de 2013

Há uma grande variação do consumo de eletricidade entre os períodos de vazio e os períodos de ponta.

O valor mínimo de produção corresponde em muitos dos casos (meses) a menos de metade do valor máximo de produção registado.

De uma forma genérica pode-se considerar que a ponta máxima anda por volta dos 35 MW e o vazio mínimo é de cerca 15 MW, nos anos de 2012 e 2013.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

Através da avaliação dos diagramas de carga da ilha Terceira, consegue-se verificar que os picos de maior consumo ocorrem durante o dia e os períodos de pouco consumo acontecem durante a noite. Este padrão mantém-se ao longo do ano, no entanto, os diagramas de carga não se comportam de forma igual todos os dias, havendo variações que ocorrem por diversos motivos. Verificam-se comportamentos diferentes entre dias da semana, dias de fim-de-semana e feriados e entre as estações do ano.

Abaixo são apresentados alguns diagramas de carga das quatro estações do ano, dos anos 2012 e 2013. Os dias feriados foram escolhidos conforme existem nas estações do ano respetivas, todavia, os restantes dias representados, quarta-feira, sábado, domingo e segunda-feira (só nos diagramas de outono), foram escolhidos aleatoriamente.

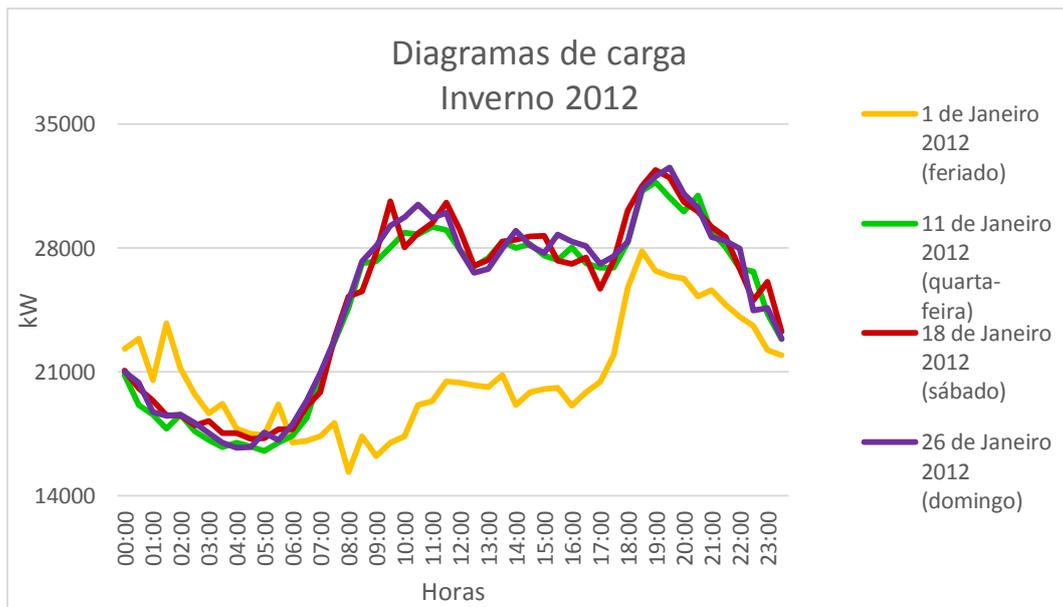


Gráfico 4 - Diagramas de carga - Inverno 2012, representados pelos dias 1, 11, 18 e 26 de Janeiro

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

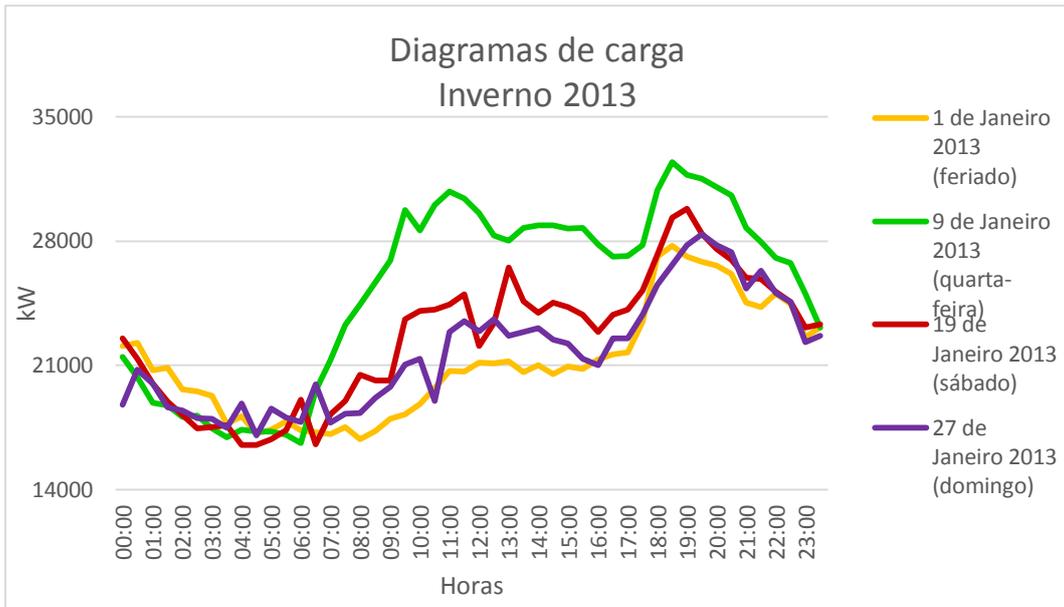


Gráfico 5 - Diagramas de carga - Inverno 2013, representados pelos dias 1, 9, 19 e de Janeiro

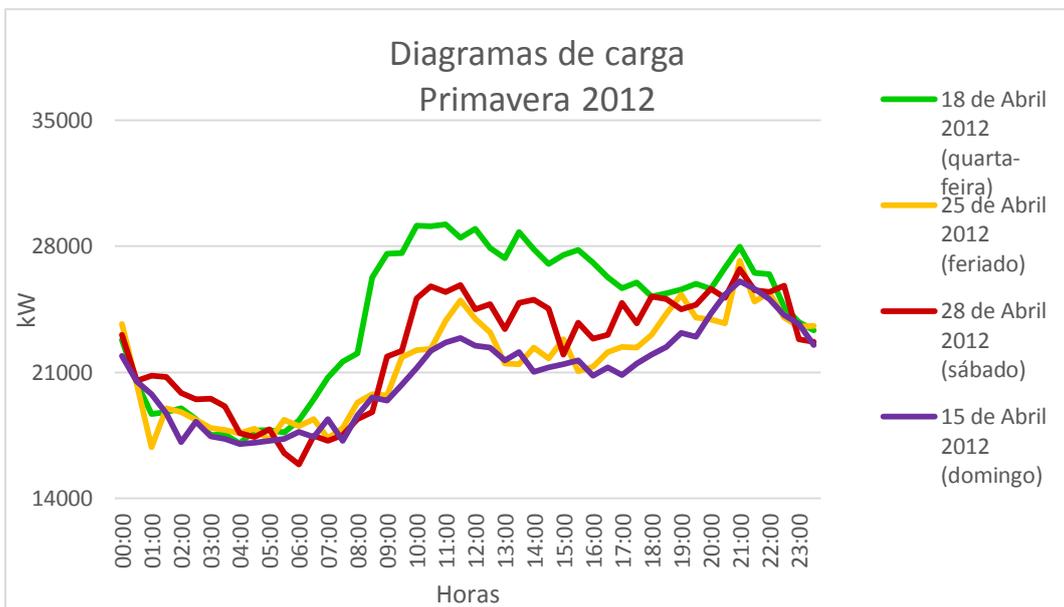


Gráfico 6 - Diagramas de carga - Primavera 2012, representados pelos dias 15, 18, 25 e 28 de Abril

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

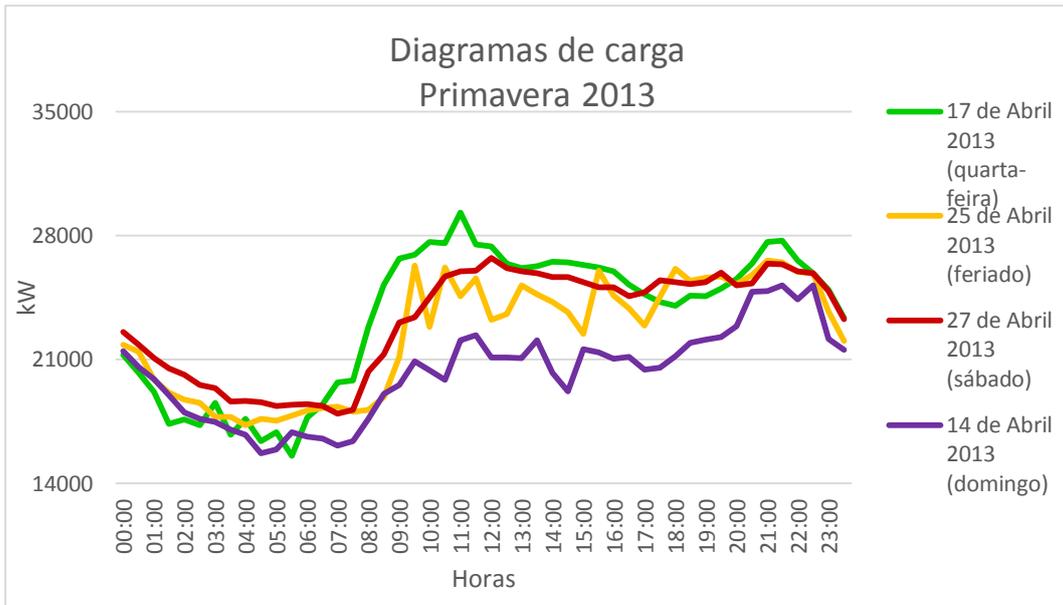


Gráfico 7 - Diagramas de carga - Primavera 2013, representados pelos dias 14, 17, 25 e 27 de Abril

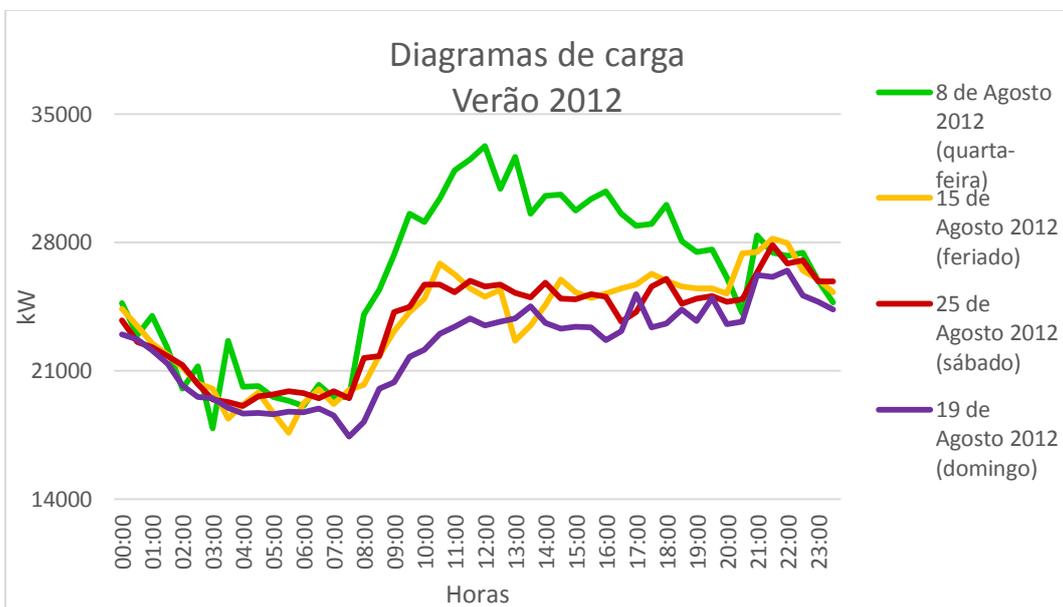


Gráfico 8 - Diagramas de carga - Verão 2012, representados pelos dias 8, 15, 19 e 25 de Agosto

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

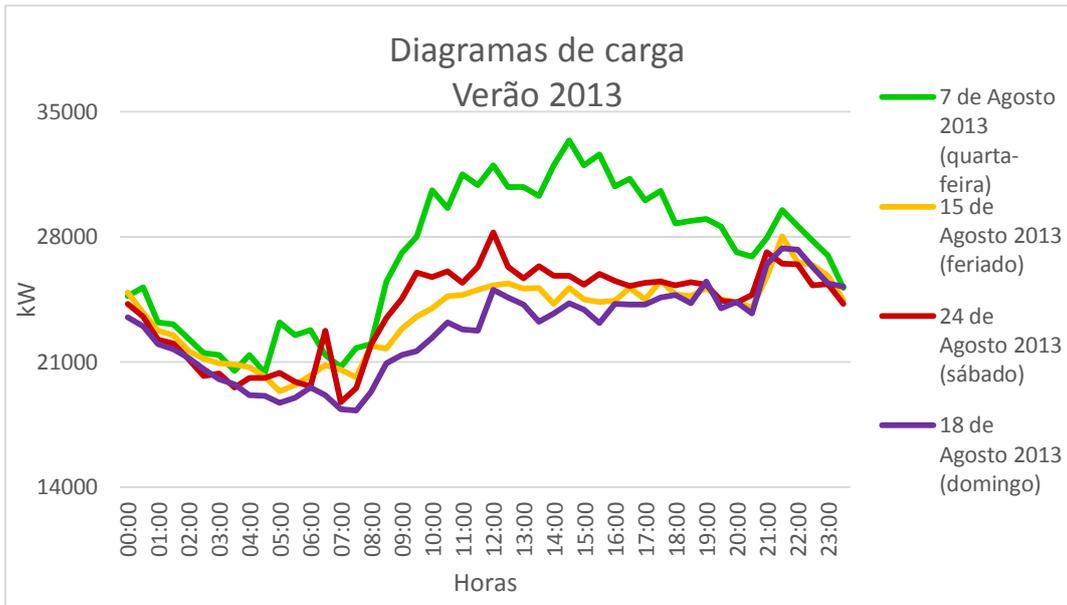


Gráfico 9 - Diagramas de carga - Verão 2013, representados pelos dias 7, 15, 18 e 24 de Agosto

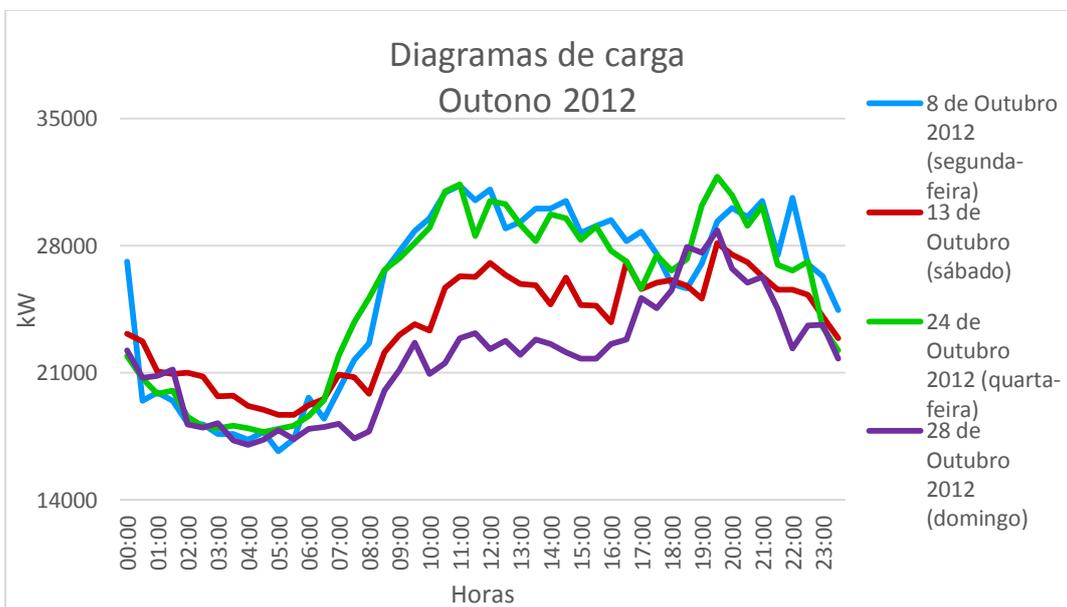


Gráfico 10 - Diagramas de carga - Outono 2012, representados pelos dias 8, 13, 24 e 28 de Outubro (EDA, 2014)

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

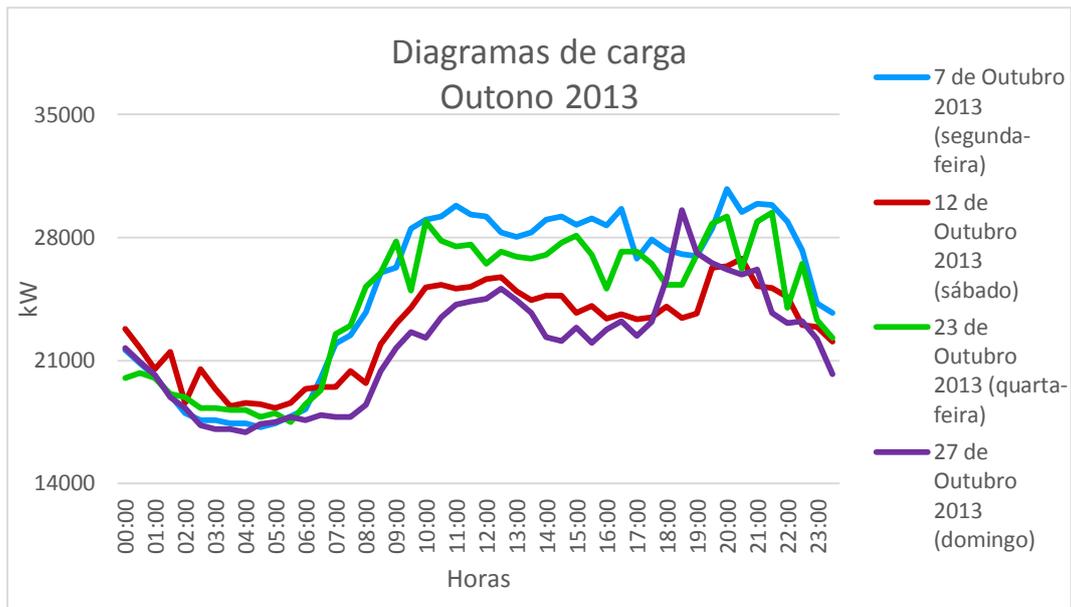


Gráfico 11 - Diagramas de carga - Outono 2013, representados pelos dias 7, 12, 23 e 27 de Outubro (EDA, 2014)

Para uma correta análise do comportamento do consumo de eletricidade (refletido diretamente na produção) seria necessário avaliar mais diagramas de carga, no entanto, a avaliar pelos gráficos acima, pode-se concluir de forma geral que os dias da semana apresentam maiores consumos durante o período diurno e que os dias feriados têm um comportamento idêntico aos sábados e domingos. Há a exceção do dia 1 de Janeiro de 2012 que apresentou um comportamento muito anormal.

### 6.4. Previsões da produção de eletricidade no futuro

Nesta secção são elaborados vários cenários possíveis, tendo em conta os investimentos previstos na criação de novos centros produtores de eletricidade, e considerando também uma ampliação do Parque Eólico da Serra do Cume.

São extrapolados os diagramas de carga para os cenários previstos, tendo por base os diagramas de carga de alguns dias selecionados dos anos de 2012 e 2013.

O primeiro cenário considerado prevê a ampliação do Parque Eólico da Serra do Cume em mais 6 aerogeradores com iguais características aos já existentes, perfazendo um total

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

de 20 aerogeradores e 18 MW de potência instalada. Os restantes centros produtores mantêm-se com as mesmas características, não havendo a introdução de outras novas centrais.

O segundo cenário prevê a entrada em funcionamento da central geotérmica do Pico Alto e da central de valorização energética da TERAMB, com as potências instaladas de 3 MW e 1,7 MW respetivamente, mantendo-se o parque eólico nos atuais 12,6 MW. Este cenário vai de encontro ao que está previsto ocorrer no ano de 2015, com a entrada em funcionamento destes dois novos centros produtores.

O terceiro cenário é idêntico ao segundo, mudando apenas a configuração do parque eólico, onde se prevê que este esteja a funcionar com 20 aerogeradores, 18 MW instalados.

No quarto cenário pressupõe-se o aumento da central geotérmica do Pico Alto para 10 MW, valor previsto para o ano de 2018, mantendo-se a central de valorização energética nos 1,7 MW, e o parque eólico nos 12,6 MW.

O quinto cenário é análogo ao quarto, mas neste caso prevê-se uma potência instalada de 18 MW para o parque eólico.

Cenário 1 – Parque eólico 18 MW

Cenário 2 – Parque eólico 12,6 MW; Central geotérmica 3 MW; Central biomassa (TERAMB) 1,7 MW

Cenário 3 – Parque eólico 18 MW; Central geotérmica 3 MW; Central biomassa (TERAMB) 1,7 MW

Cenário 4 - Parque eólico 12,6 MW; Central geotérmica 10 MW; Central biomassa (TERAMB) 1,7 MW

Cenário 5 - Parque eólico 18 MW; Central geotérmica 10 MW; Central biomassa (TERAMB) 1,7 MW

As configurações dos diagramas de carga no futuro, tendo por base dados de alguns dias dos anos 2012 e 2013, tiveram em conta os seguintes pressupostos:

- Considerou-se os valores de consumo iguais aos valores da produção, por falta dos dados reais de consumo de 30 em 30 minutos.
- Considerou-se que no futuro o consumo se mantinha igual ao do dia em estudo (de 2012 ou 2013).

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

- Utilizou-se os valores de produção de energia hídrica e eólicos registados no dia em análise.
- Para a configuração do parque eólico de 12,6 MW, multiplicaram-se os valores de produção eólica por 1,4 (aumento de 4 aerogeradores em 10 já existentes) até 18 de Agosto de 2013. Após essa data o parque eólico da Serra do Cume passou a funcionar com os 14 aerogeradores e uma potência instalada de 12,6 MW.
- Para a configuração do parque eólico de 18 MW, multiplicaram-se os valores de produção eólica por 2 (aumento de 10 aerogeradores em 10 já existentes) até 18 de Agosto de 2013. Após esse período o parque eólico passou a funcionar com 14 aerogeradores e daí resulta o aumento de  $\frac{10}{7}$ , sendo este o fator de multiplicação a partir dessa data.
- Limitou-se a entrada da energia eólica instantânea na rede em 20 % do consumo, tendo em conta as recomendações de Castro (2009), para um operação segura da rede.
- Limitou-se o mínimo de produção térmica a 12 MW para os cenários 1, 2 e 3 e a 6 MW para os cenário 4 e 5, tendo em conta que a Central do Belo Jardim deve garantir em permanência uma reserva girante que permita acompanhar as variações de carga e que os limites mínimos técnicos de funcionamento dos grupos IX e X da central térmica do Belo Jardim (cerca de 50% da potência nominal) são de 12 MW para os dois grupos a funcionar e de 6 MW para apenas um dos grupos a funcionar. A escolha destes dois grupos para reserva girante recaiu sobre o facto de serem os mais recentes, com melhor rendimento e os seus sistemas de auxiliares serem os que representam menor peso no consumo interno da central (EDA, 2012).

Nos cenários 4 e 5 é possível operar apenas com 6 MW térmicos de reserva girante, uma vez que a Central Geotérmica encontra-se a operar com 10 MW, cobrindo a maior parte do consumo elétrico no vazio.

- A ordem das fontes de energia no diagrama de carga teve em consideração o Despacho normativo nº 65/2011 de 17 de Agosto, que decreta que a concessionária do transporte e distribuição deve maximizar a injeção na rede da produção de energia elétrica com origem renovável, dando prioridade à colocação no diagrama de carga da potência dos centros produtores renováveis com data de entrada em exploração mais antiga e que permitam uma maior integração da

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

componente renovável. Desta forma, embora de origem térmica surge em primeiro lugar a energia proveniente da Central do Belo Jardim, por ser a reserva girante do sistema, limitada ao mínimo técnico sempre que possível, de seguida surge a energia hídrica, depois a energia da Central de Valorização de Resíduos (que já iniciou obras), depois a energia geotérmica (que ainda não iniciou obras) e por fim a energia eólica por ser a mais instável.

- Não se teve em consideração as interrupções das centrais geotérmica e de valorização energética de resíduos para manutenções e outras finalidades.

Os diagramas de carga abaixo apresentados têm por base o dia 1 de Janeiro de 2012, projetados para os cinco cenários, por ser esse dia o mais atípico dos analisados anteriormente, em termos de variabilidade do diagrama de carga.



Gráfico 12 - Diagrama de carga do dia 1 de Janeiro de 2012

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

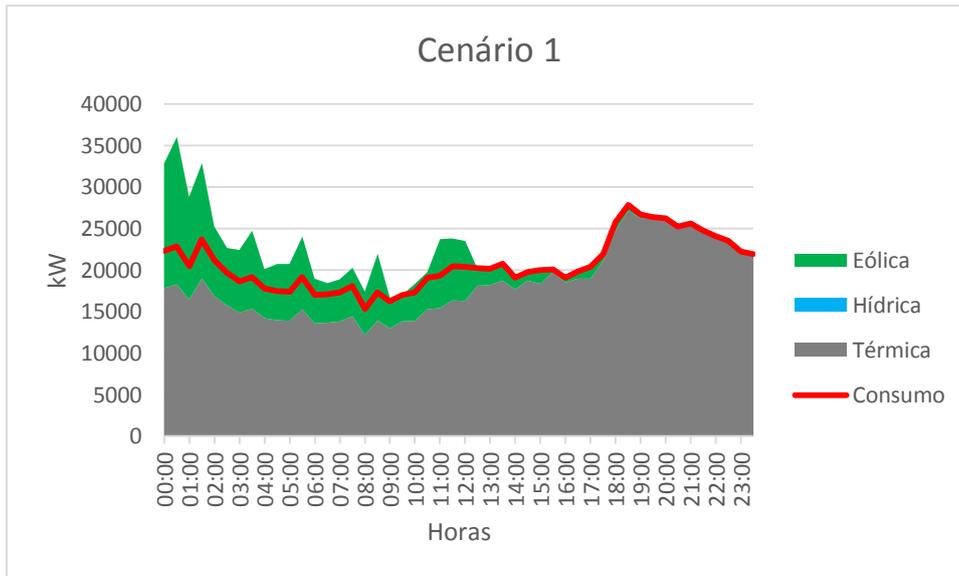


Gráfico 13 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 1 de Janeiro de 2012

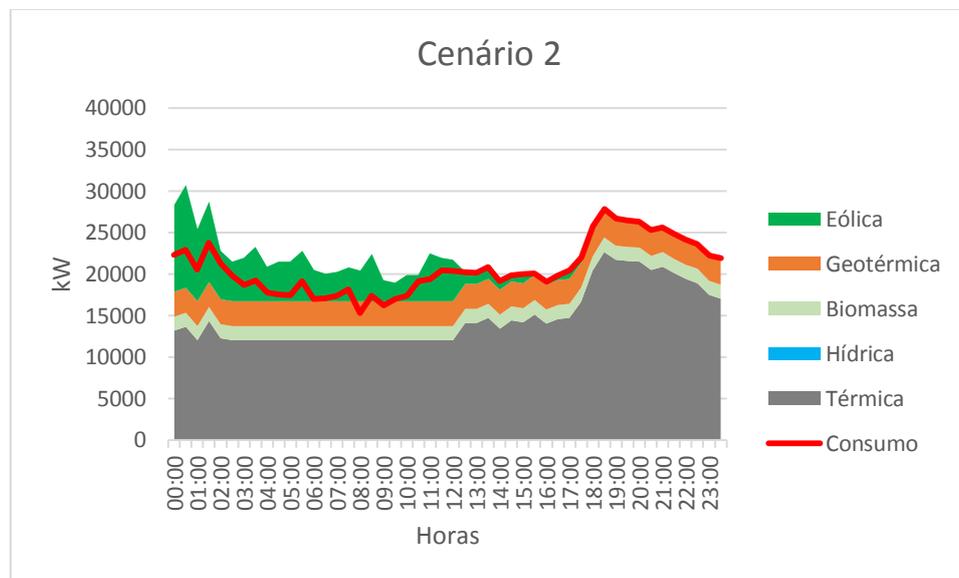


Gráfico 14 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 1 de Janeiro de 2012

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

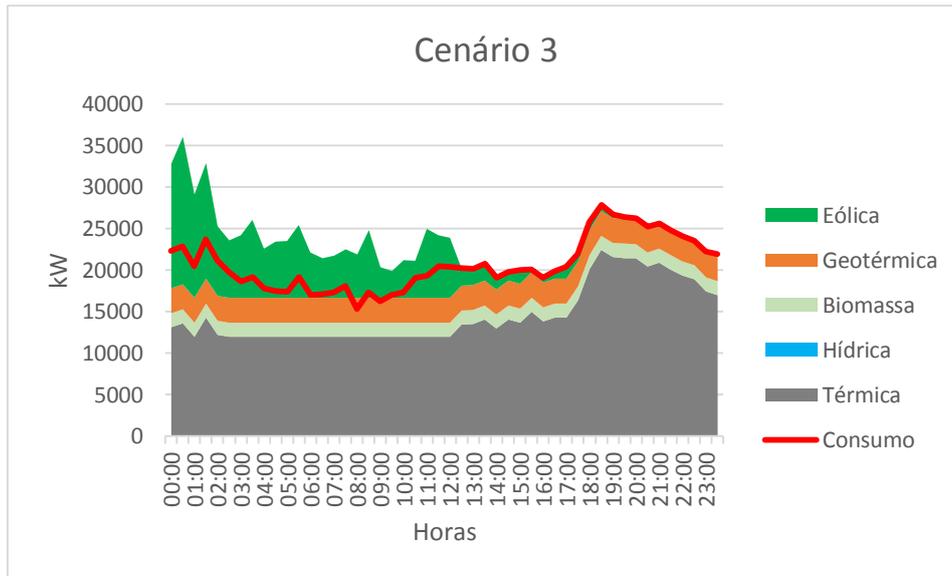


Gráfico 15 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 1 de Janeiro de 2012

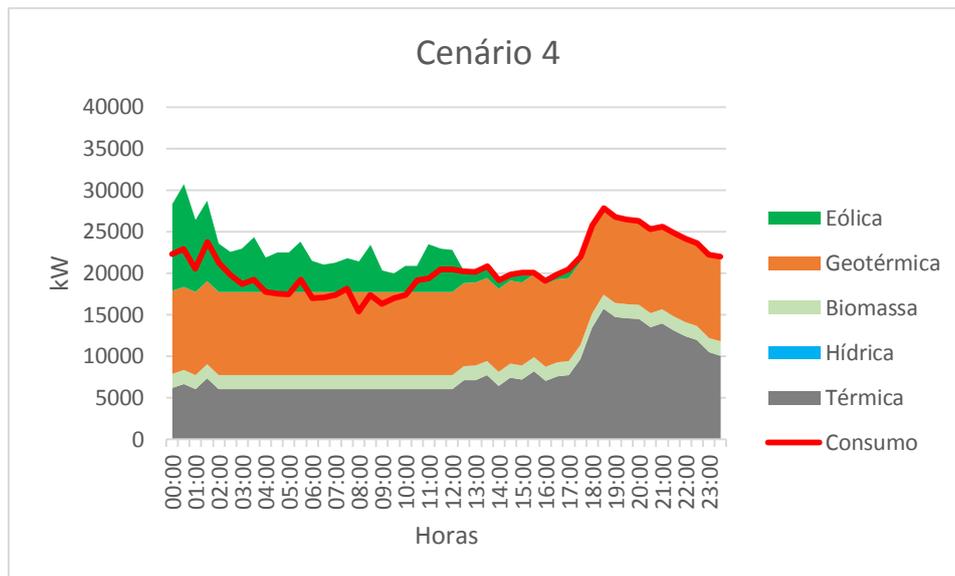


Gráfico 16 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 1 de Janeiro de 2012

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

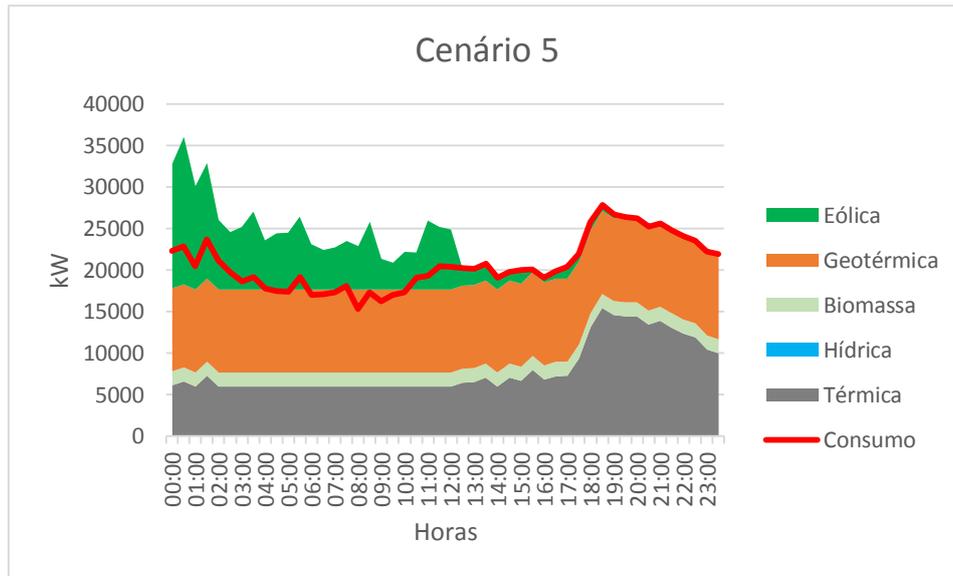


Gráfico 17 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 1 de Janeiro de 2012

A tabela 2 apresenta os valores de energia em excesso resultantes das modelações efetuadas com os vários cenários, tendo por base o diagrama de carga do dia 1 de Janeiro de 2012.

Tabela 2 - Energia em excesso num dia crítico, para os cenários 1 a 5 com base no dia 1 de Janeiro de 2012

	<b>Excesso (kWh)</b>
<b>Cenário 1</b>	49258
<b>Cenário 2</b>	42759
<b>Cenário 3</b>	143337
<b>Cenário 4</b>	53639
<b>Cenário 5</b>	82560

Os diagramas de carga abaixo apresentados baseiam-se nas produções possíveis e consumos prováveis para o dia 17 de Abril de 2013, tendo em conta os cinco cenários projetados.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

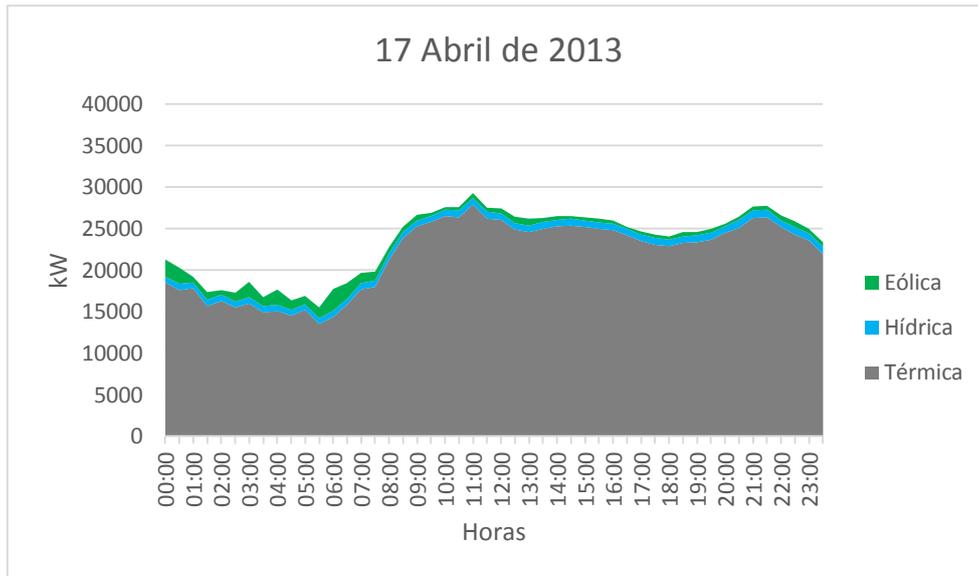


Gráfico 18 - Diagrama do dia 17 de Abril de 2013

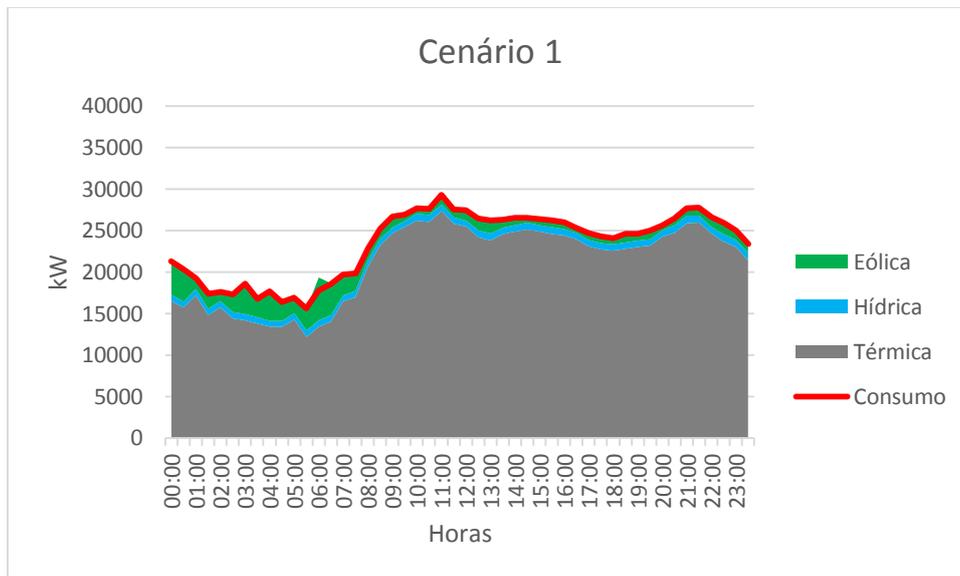


Gráfico 19 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 17 de Abril de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

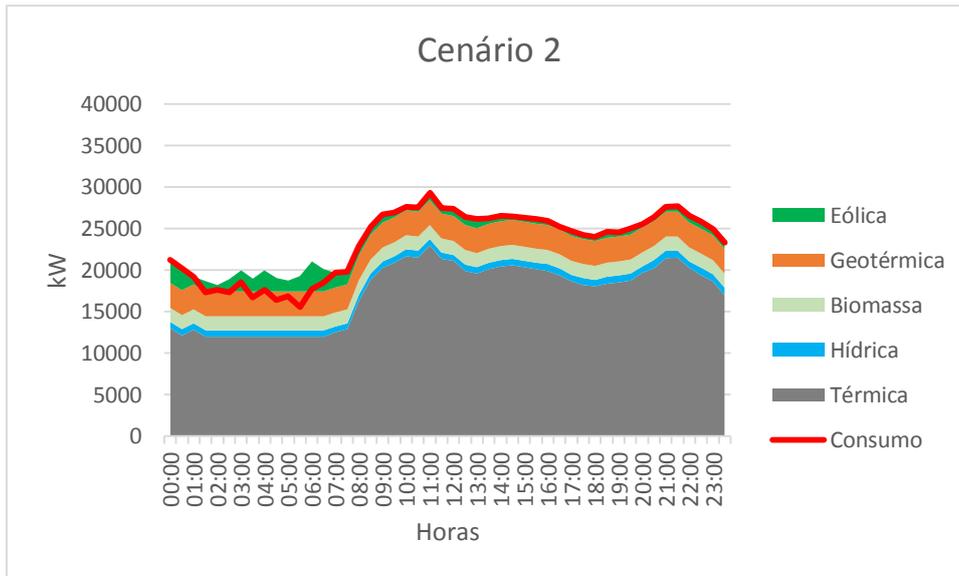


Gráfico 20 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 17 de Abril de 2013

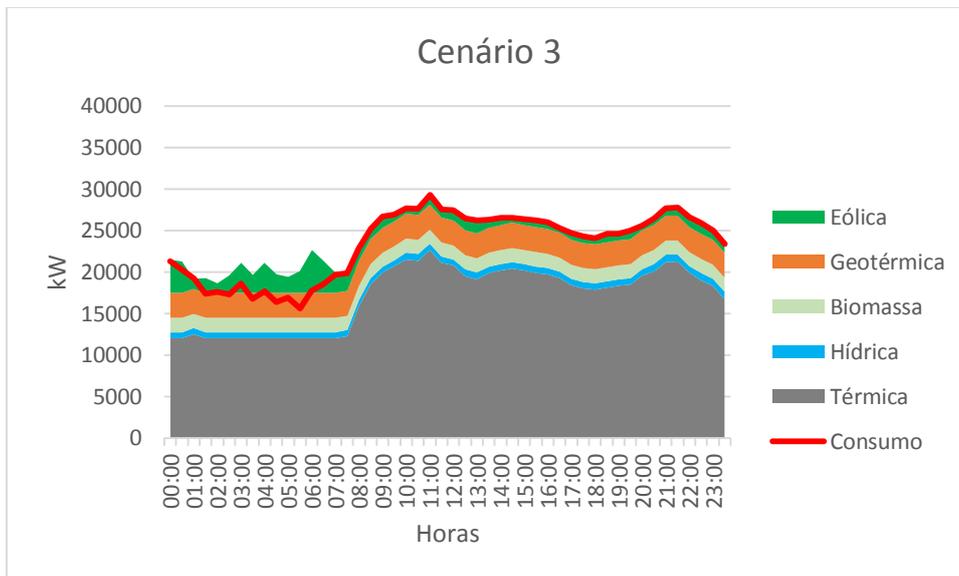


Gráfico 21 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 17 de Abril de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

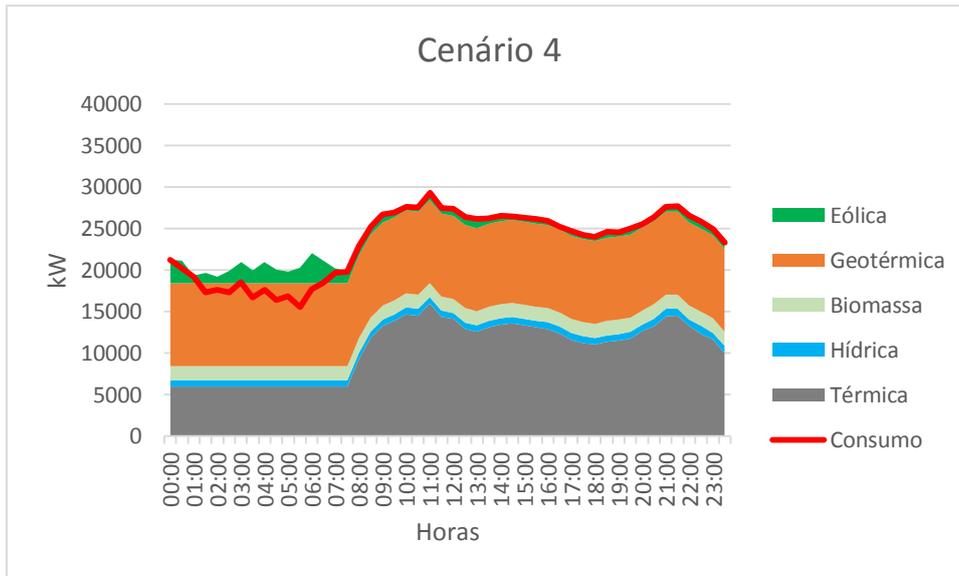


Gráfico 22 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 17 de Abril de 2013

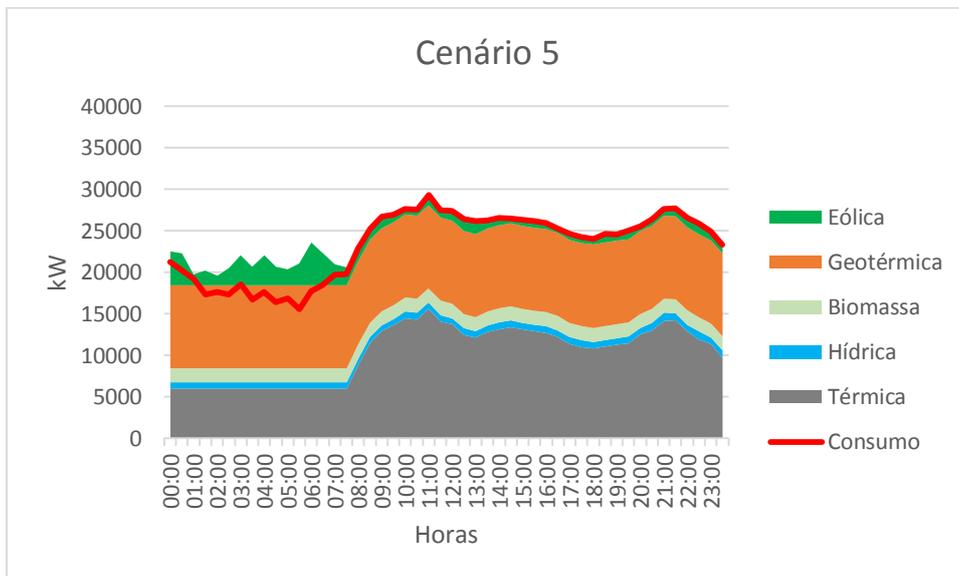


Gráfico 23 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 17 de Abril de 2013

A tabela 3 apresenta os valores de energia em excesso resultantes das modelações realizadas com os vários cenários, tendo por base o diagrama de carga do dia 17 de Abril de 2013.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

Tabela 3 - Energia em excesso num dia, para os cenários 1 a 5 com base no dia 17 de Abril de 2013

Excesso (kWh)	
<b>Cenário 1</b>	941
<b>Cenário 2</b>	11439
<b>Cenário 3</b>	33493
<b>Cenário 4</b>	17768
<b>Cenário 5</b>	24395

Os diagramas de carga abaixo apresentados têm por base o dia 18 de Janeiro de 2013, a que se associaram os cinco cenários previamente estabelecidos.

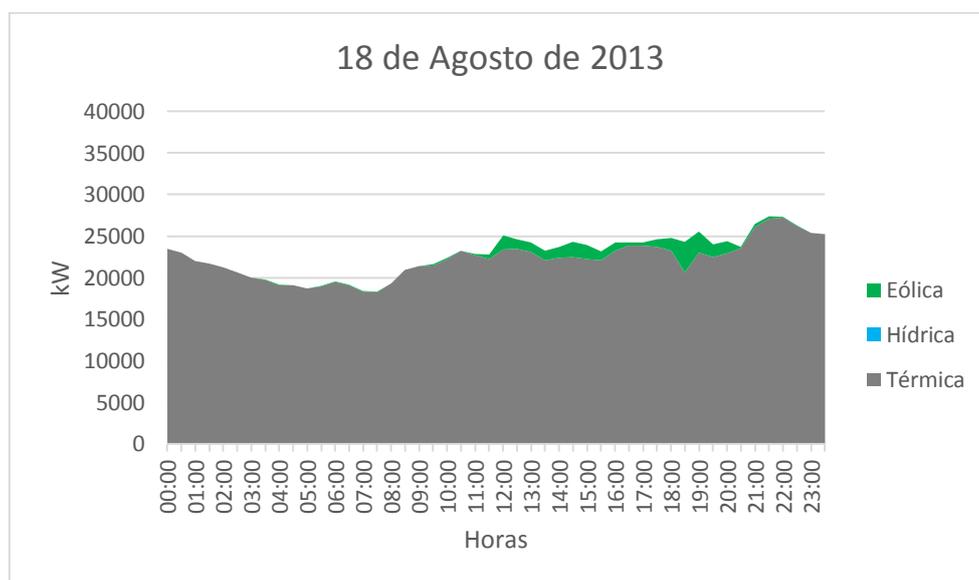


Gráfico 24 - Diagrama de carga do dia 18 de Agosto de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

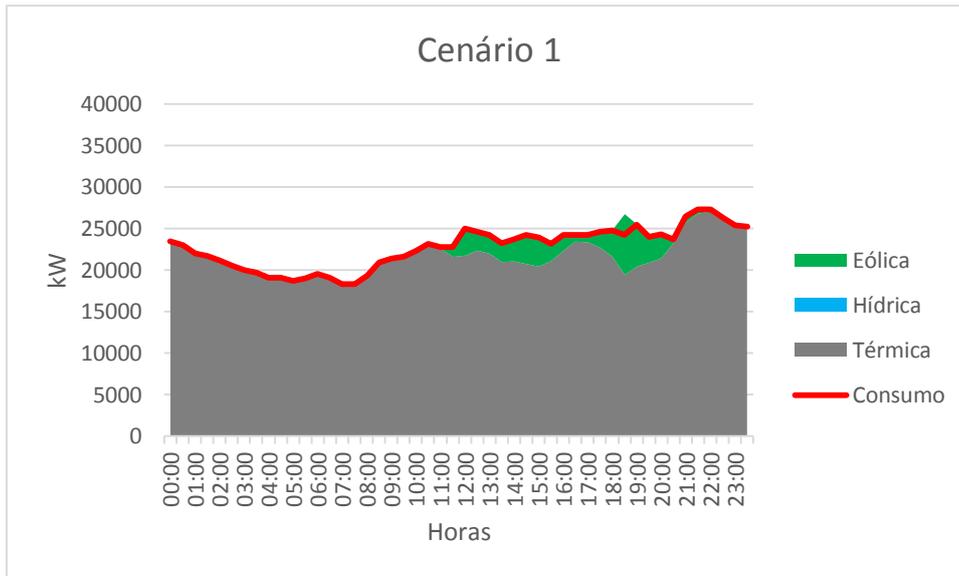


Gráfico 25 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 18 de Agosto de 2013

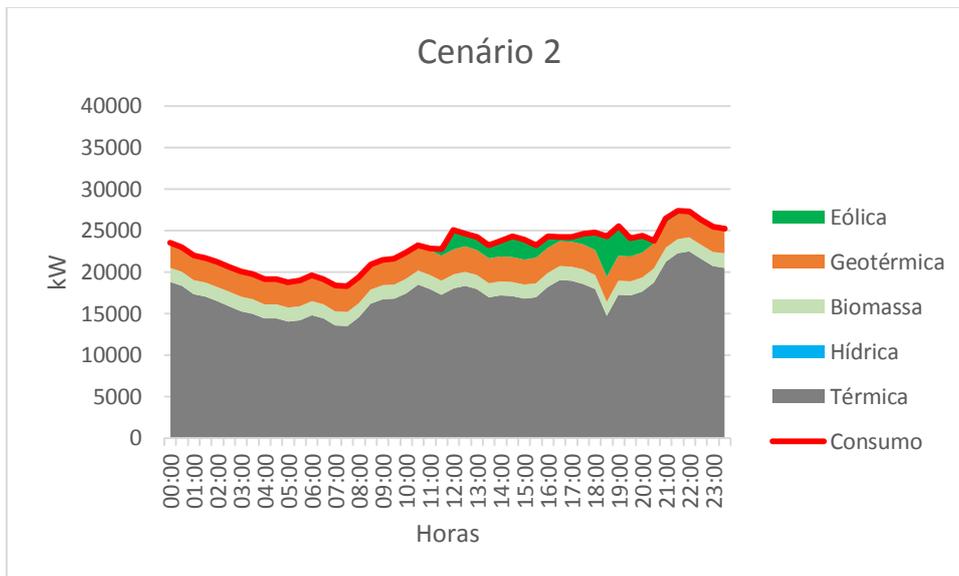


Gráfico 26 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 18 de Agosto de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

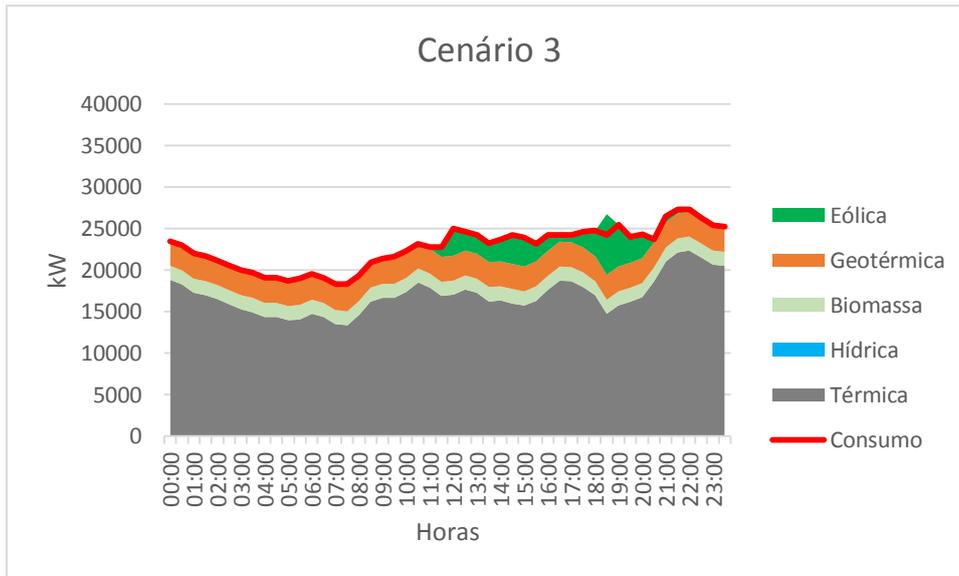


Gráfico 27 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 18 de Agosto de 2013

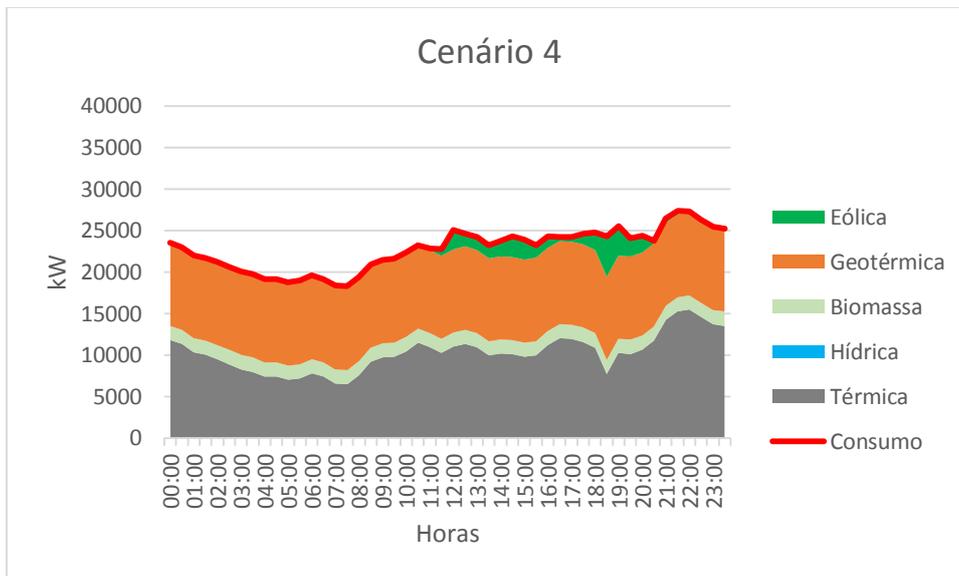


Gráfico 28 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 18 de Agosto de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

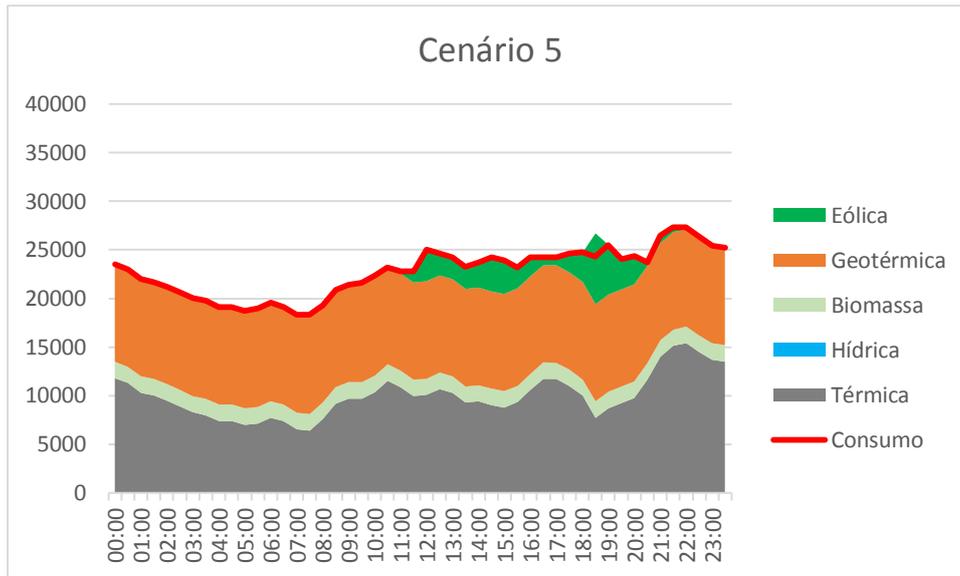


Gráfico 29 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 18 de Agosto de 2013

A tabela 4 apresenta os valores totais de energia em excesso resultantes das modelações efetuadas com os vários cenários, tendo por base no diagrama de carga do dia 18 de Agosto de 2013.

Tabela 4 - Energia em excesso num dia, para os cenários 1 a 5 com base no dia 18 de Agosto de 2013

	<b>Excesso (kWh)</b>
<b>Cenário 1</b>	1221
<b>Cenário 2</b>	126
<b>Cenário 3</b>	2442
<b>Cenário 4</b>	126
<b>Cenário 5</b>	1221

Os diagramas de carga abaixo apresentados têm por base o dia 13 de Outubro de 2013, e sobre o que sobrepuseram-se os vários cenários previamente estabelecidos.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

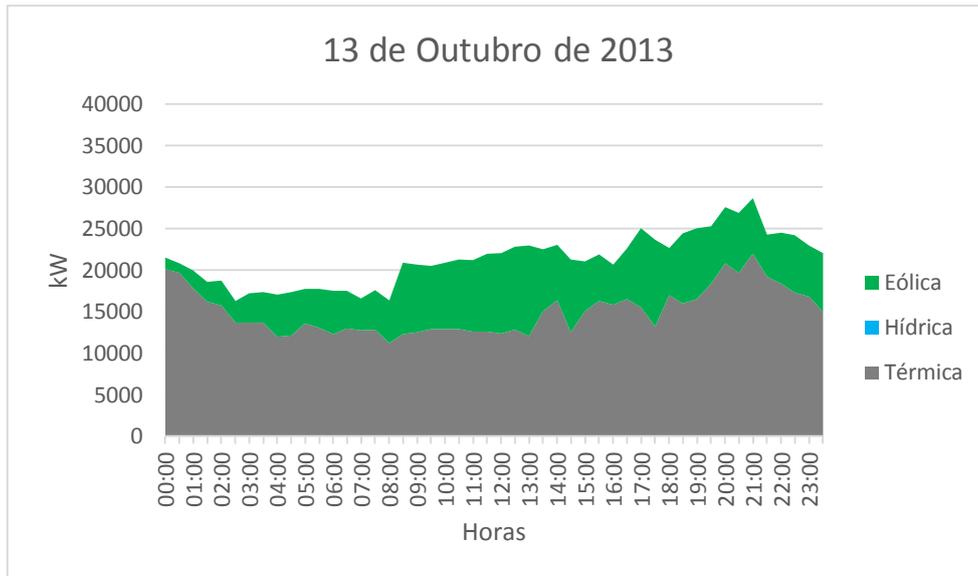


Gráfico 30 - Diagrama de carga do dia 13 de Outubro de 2013

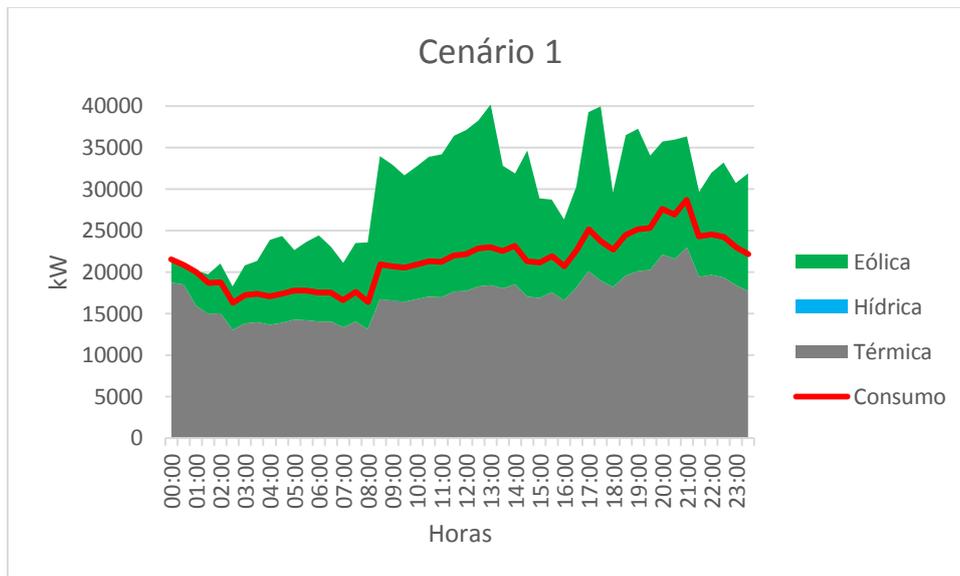


Gráfico 31 - Diagrama de carga previsto para o cenário 1 com base no dia 13 de Outubro de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

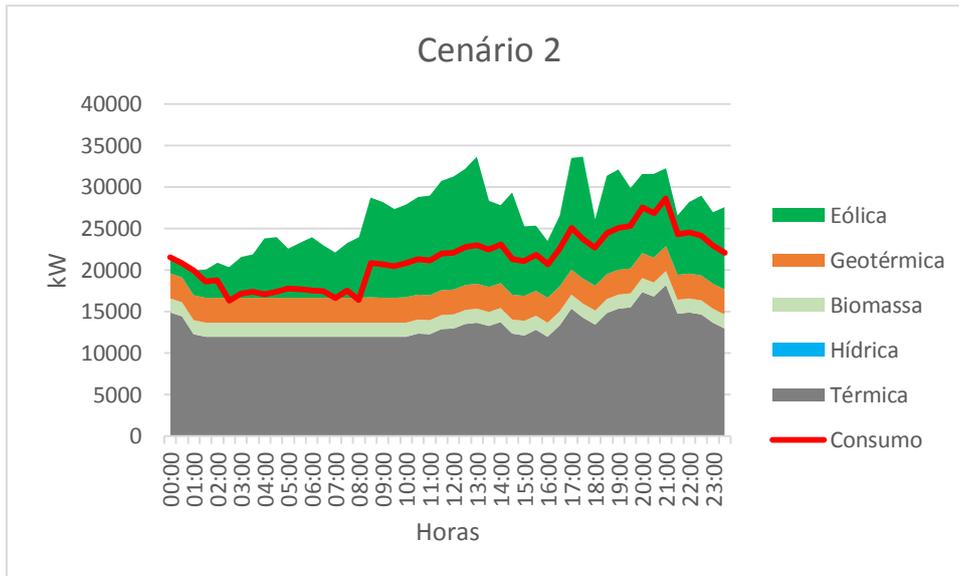


Gráfico 32 - Diagrama de carga previsto para o cenário 2 com base no dia 13 de Outubro de 2013

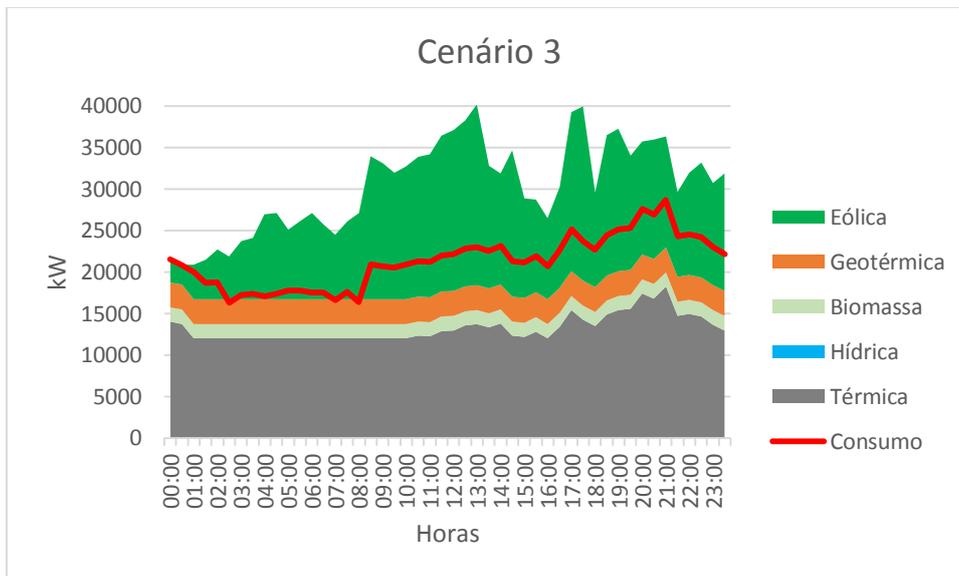


Gráfico 33 - Diagrama de carga previsto para o cenário 3 com base no dia 13 de Outubro de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

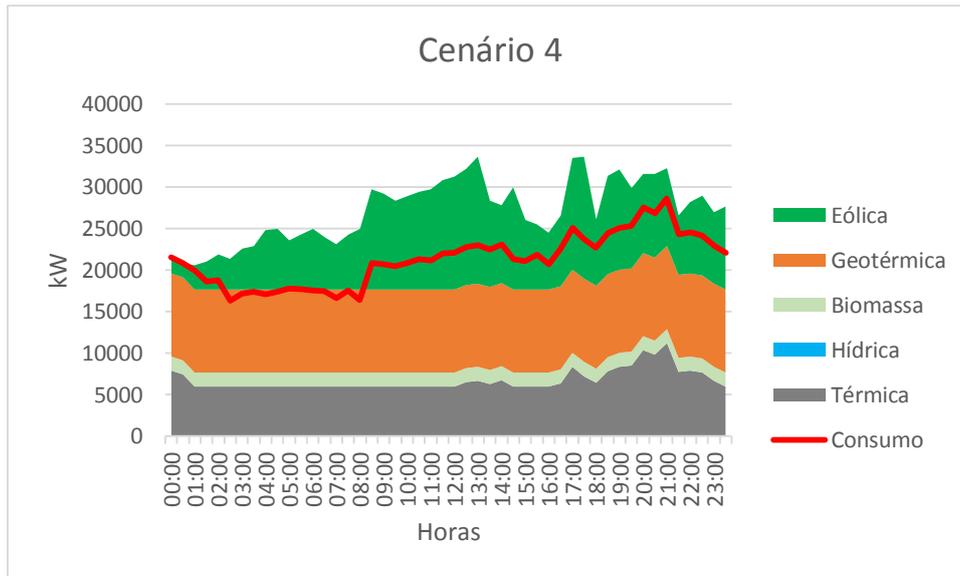


Gráfico 34 - Diagrama de carga previsto para o cenário 4 com base no dia 13 de Outubro de 2013

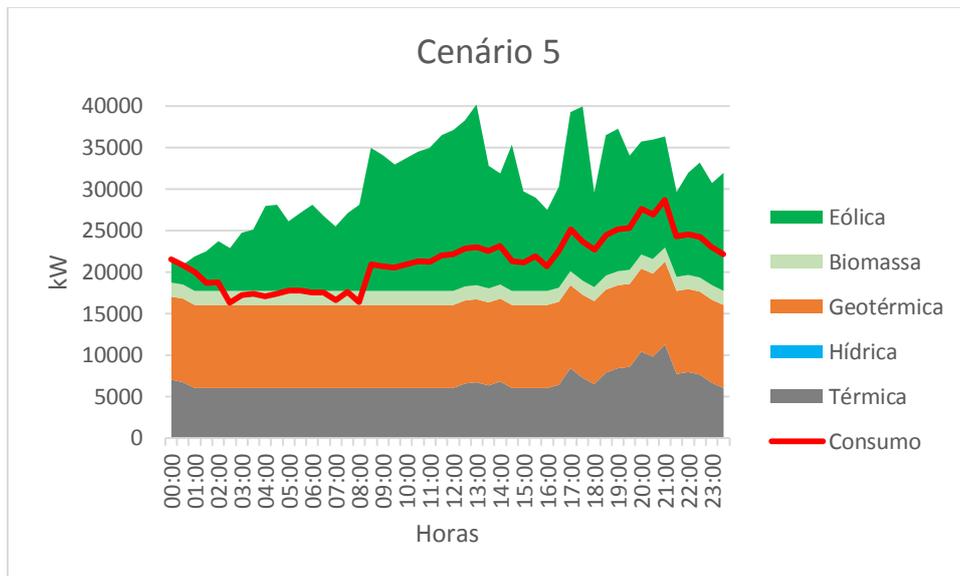


Gráfico 35 - Diagrama de carga previsto para o cenário 5 com base no dia 13 de Outubro de 2013

A tabela 5 apresenta os valores de energia em excesso resultantes das modelações efetuadas com os vários cenários, tendo por base no diagrama de carga do dia 13 de Outubro de 2013.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

Tabela 5 - Energia em excesso num dia, para os cenários 1 a 5 com base no dia 13 de Outubro de 2013

	Excesso (kWh)
<b>Cenário 1</b>	198750
<b>Cenário 2</b>	129861
<b>Cenário 3</b>	437468
<b>Cenário 4</b>	141286
<b>Cenário 5</b>	230314

Os gráficos 36 e 37 mostram os totais de energia em excesso por mês para os diversos cenários considerados, tendo por base os dados de 2012 e de 2013 respetivamente.

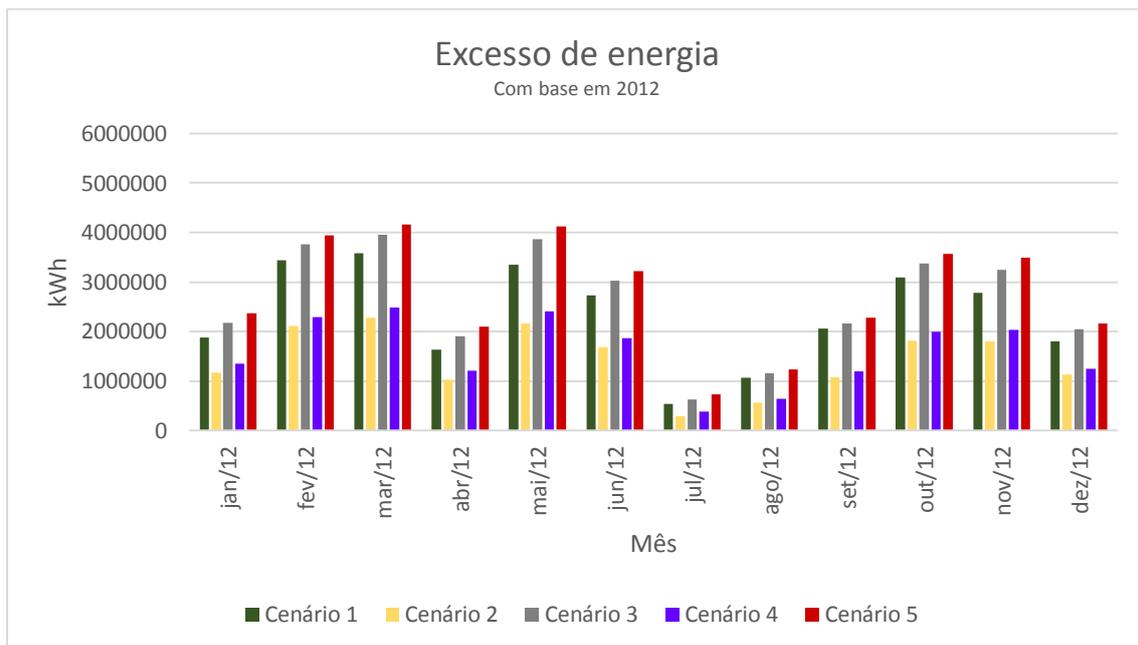


Gráfico 36 - Excesso de energia por mês e por cenário, com base nos diagramas de carga do ano de 2012

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

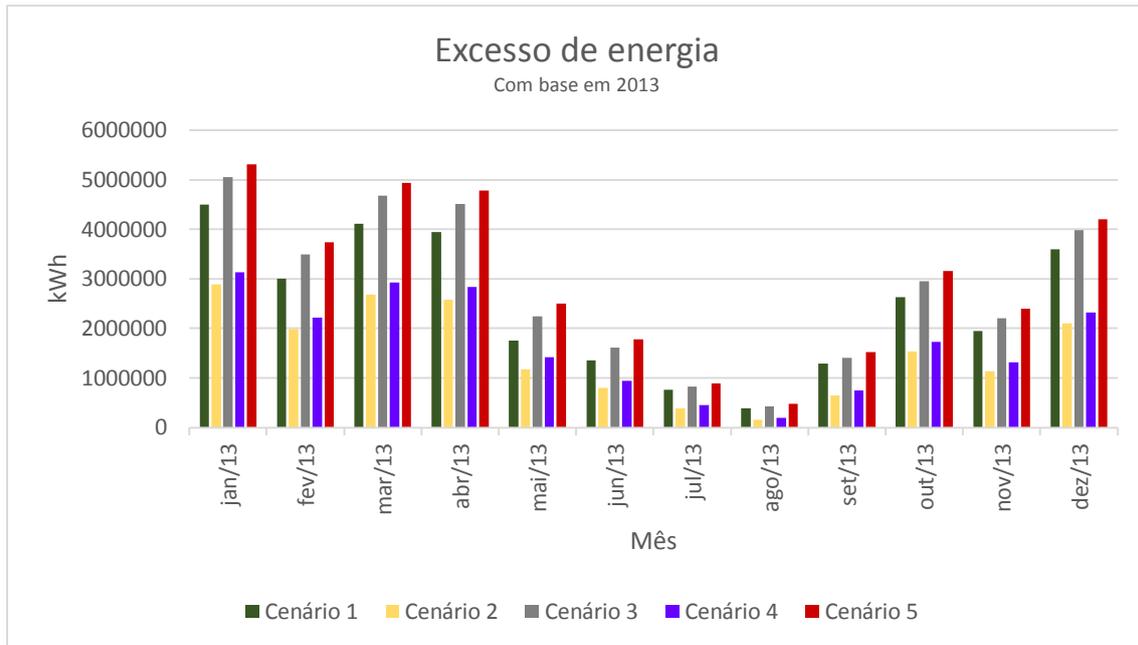


Gráfico 37 - Excesso de energia por mês e por cenário, com base nos diagramas de carga do ano de 2013

Verifica-se que os cenários 1, 3 e 5 são os que apresentam maior excesso de energia, e correspondem a um aumento do Parque Eólico.

Verifica-se também que nos meses de Inverno há um maior excedente de produção, comparativamente ao período do Verão.

O gráfico seguinte apresenta as percentagens do número de horas em que há excesso de produção e do número de horas em que não há excesso, para cada cenário. A elaboração deste gráfico teve por base todos os dias dos anos de 2012 e 2013.

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

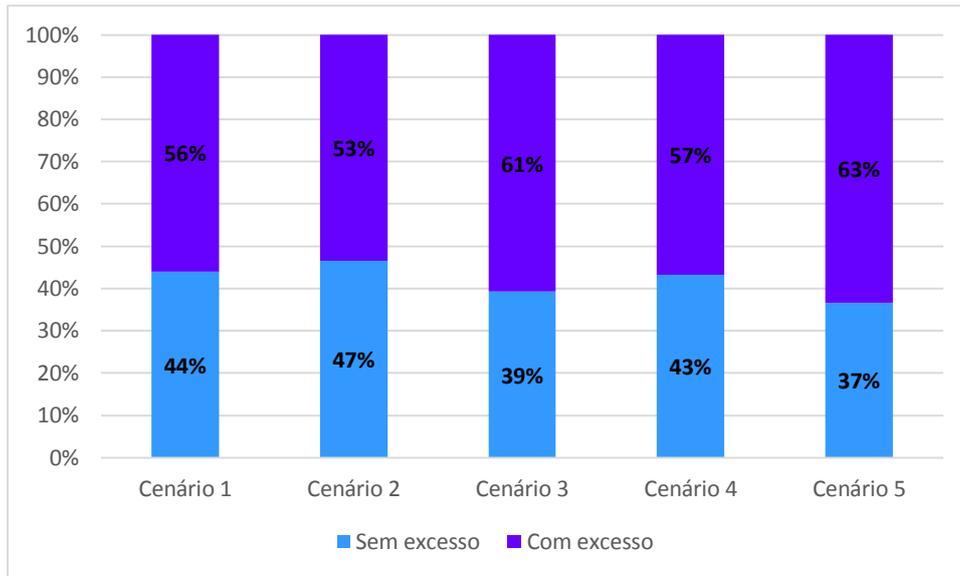


Gráfico 38 - Percentagens do número de horas em que há excesso de produção de energia e do número de horas em que não há excesso para os 5 cenários, com base nos anos 2012 e 2013

Em qualquer um dos cenários, em mais de metade do tempo há excesso de energia produzida.

### 6.5. Previsões considerando a introdução de energia hídrica reversível

Dos gráficos acima analisados, selecionou-se os que apresentavam excesso de energia superior a 10000 kWh por dia e criaram-se novos gráficos (cenários), desta vez introduzindo a energia produzida por turbinagem, considerando a instalação na ilha Terceira de uma central hídrica reversível.

Os cenários 1 e 2 com base no dia 1 de Janeiro de 2012 e todos os cenários baseados no dia 18 de Agosto de 2013 foram excluídos por não apresentarem excesso superior a 10000 kWh.

A energia turbinada pela hipotética central de energia reversível foi calculada a partir da energia em excesso do próprio dia, admitindo que as perdas totais do sistema são de 75%. O valor das perdas totais do sistema foi ponderado tendo em conta o intervalo de 65% a 80% para o rendimento global das centrais hídricas reversíveis, apresentado por Teixeira, (2012).

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

Os principais objetivos na conceção dos cenários foram de substituir parte da energia térmica pela nova energia da central hídrica reversível, e estabilizar, dentro do possível, a produção térmica, servindo a energia hídrica reversível para responder às flutuações do consumo.

Esses cenários são explicitados nos gráficos 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 e 52.

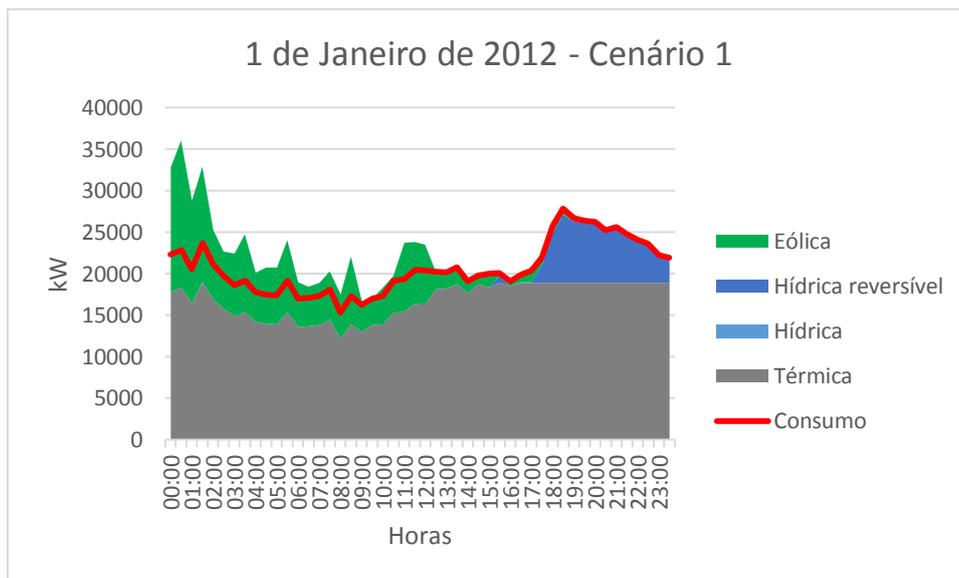


Gráfico 39 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 1, com base no dia 1 de Janeiro de 2012

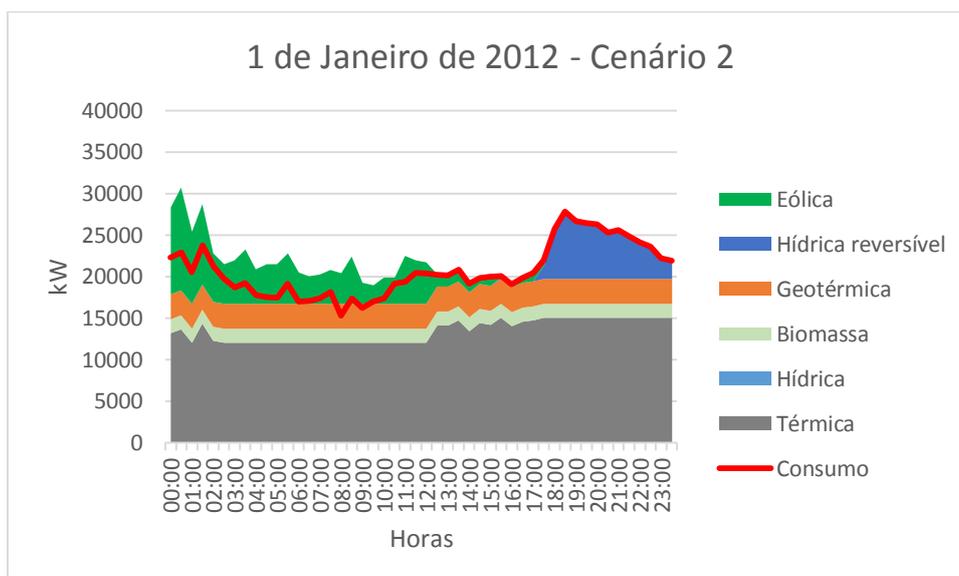


Gráfico 40 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 2, com base no dia 1 de Janeiro de 2012

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

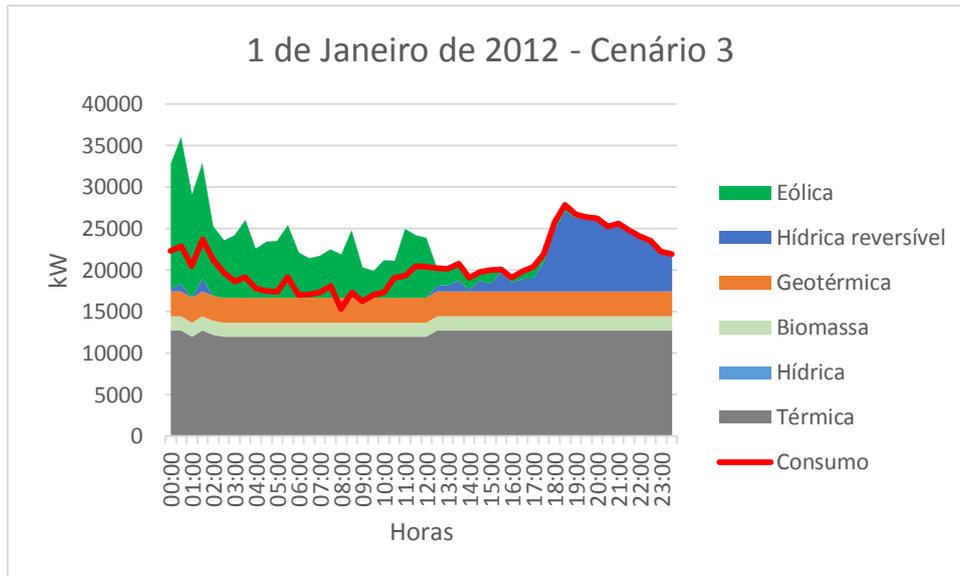


Gráfico 41 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 3, com base no dia 1 de Janeiro de 2012

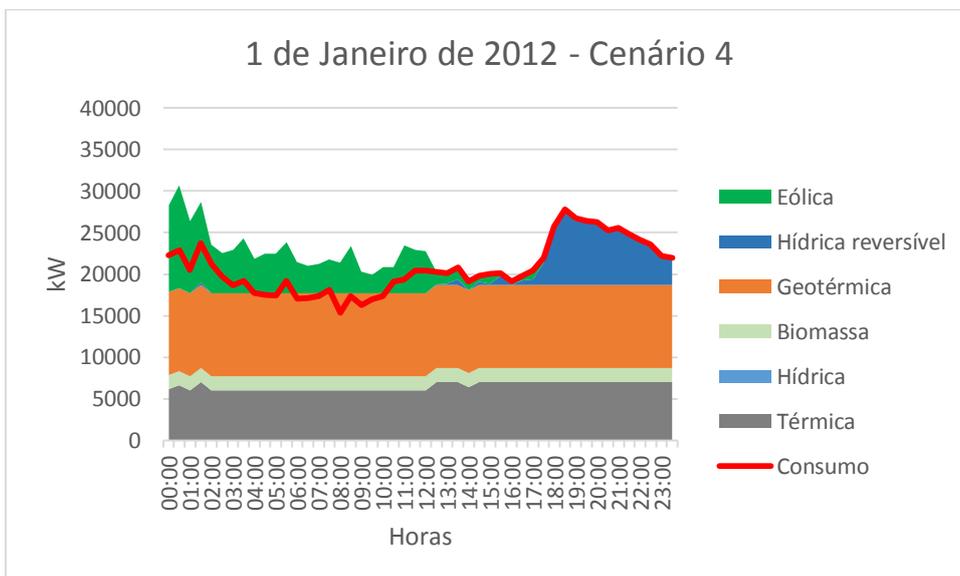


Gráfico 42 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 4, com base no dia 1 de Janeiro de 2012

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

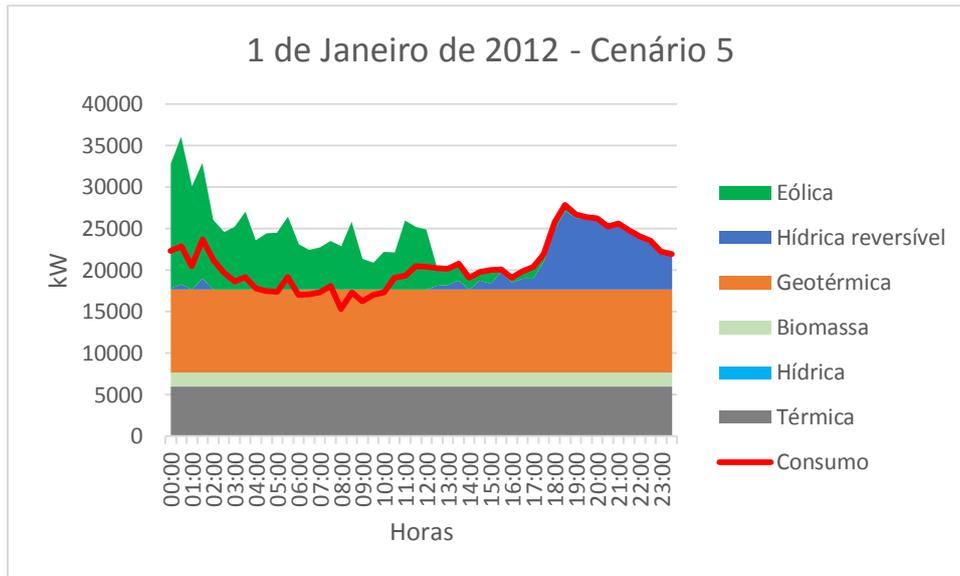


Gráfico 43 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 5, com base no dia 1 de Janeiro de 2012

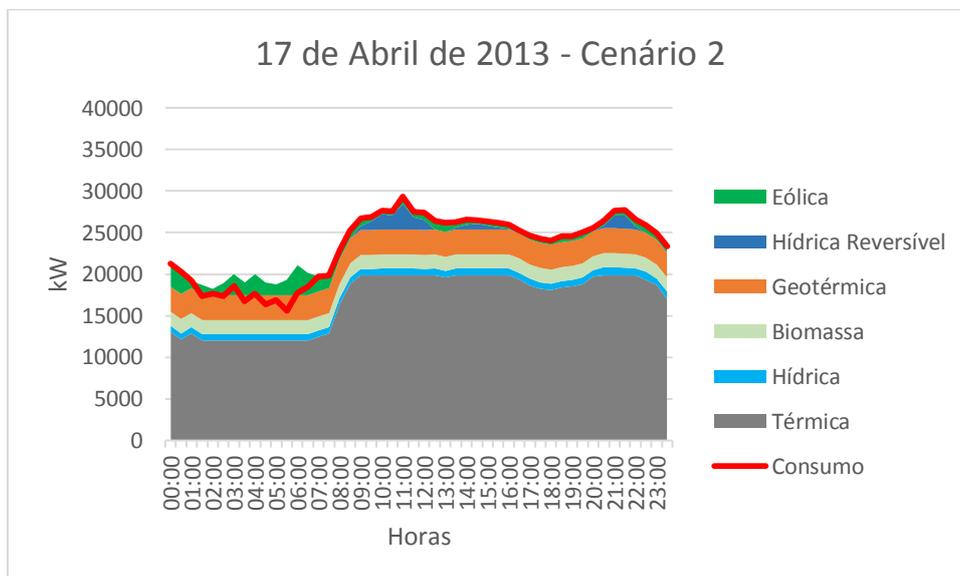


Gráfico 44 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 2, com base no dia 17 de Abril de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

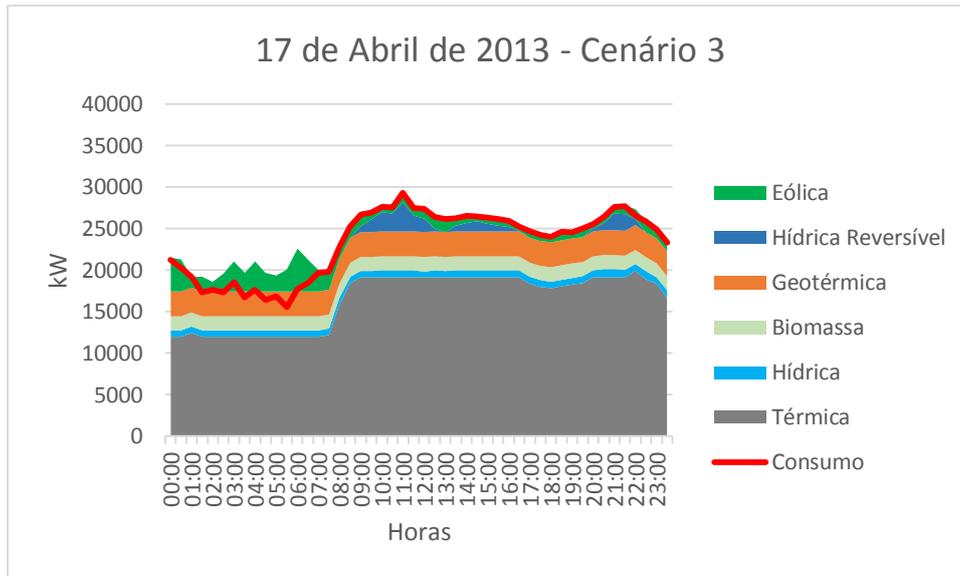


Gráfico 45 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 3, com base no dia 17 de Abril de 2013

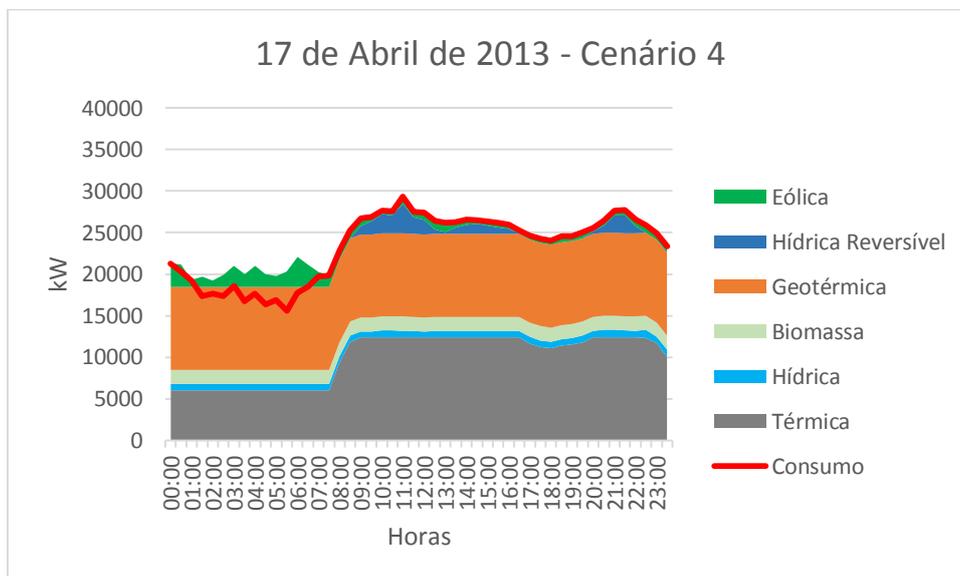


Gráfico 46 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 4, com base no dia 17 de Abril de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

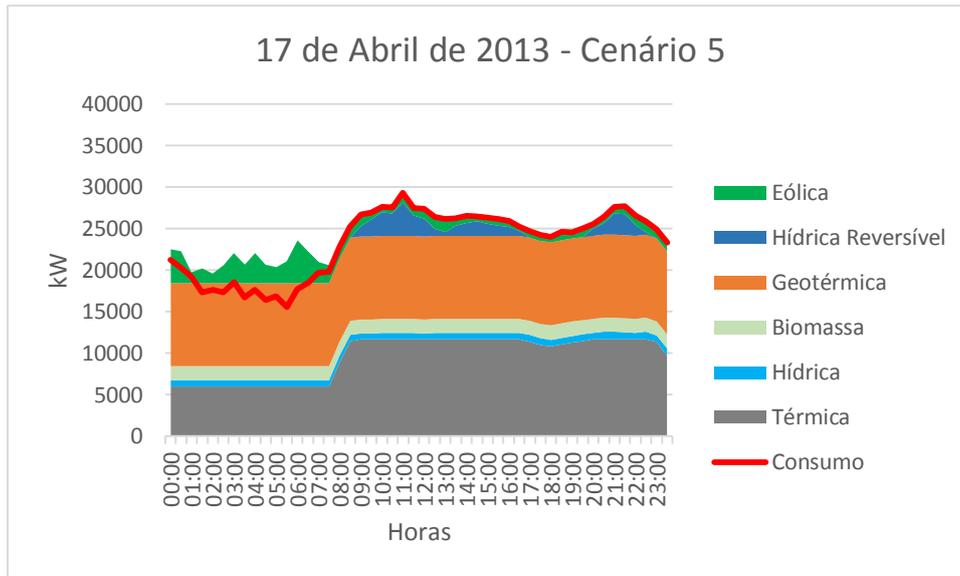


Gráfico 47 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 5, com base no dia 17 de Abril de 2013

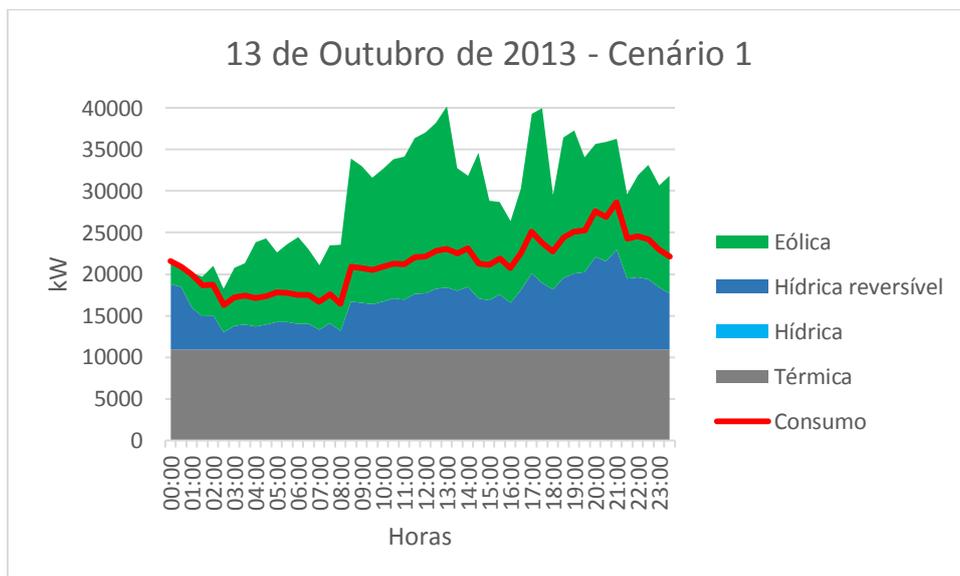


Gráfico 48 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 1, com base no dia 13 de Outubro de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

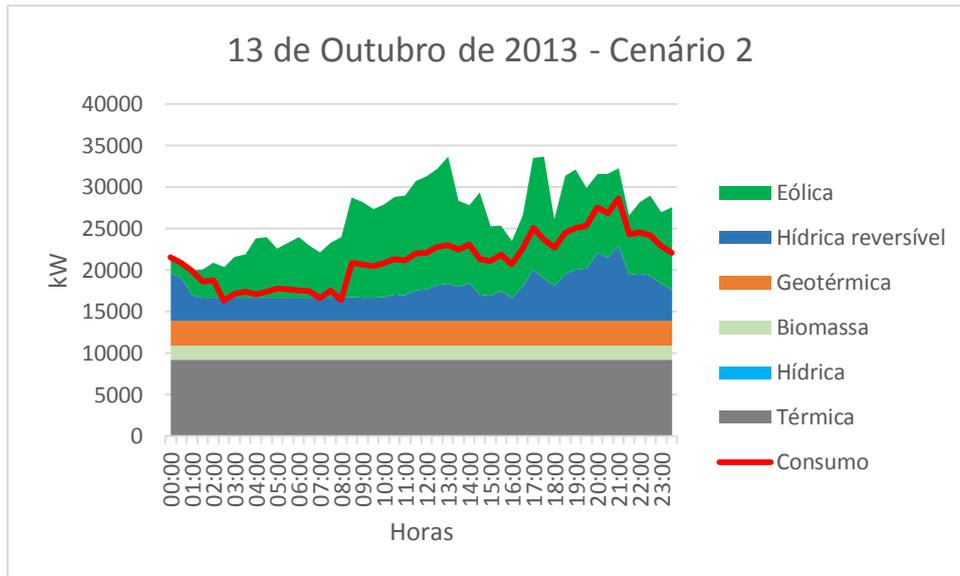


Gráfico 49 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 2, com base no dia 13 de Outubro de 2013

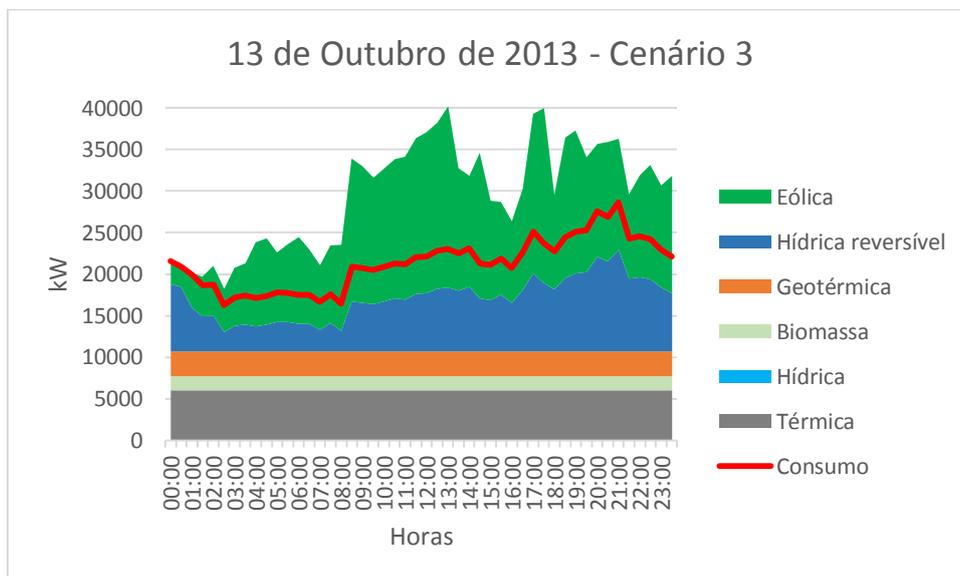


Gráfico 50 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 3, com base no dia 13 de Outubro de 2013

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

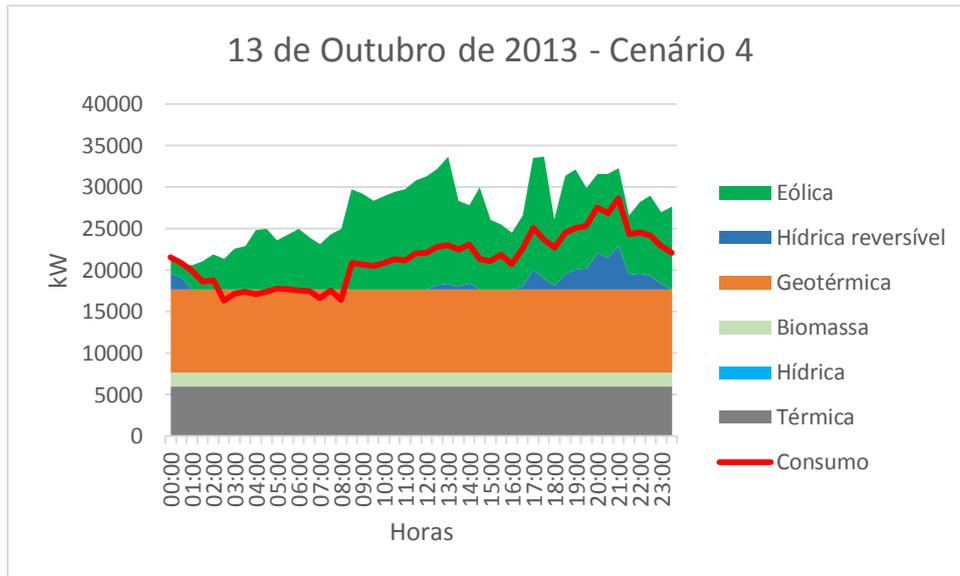


Gráfico 51 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 4, com base no dia 13 de Outubro de 2013

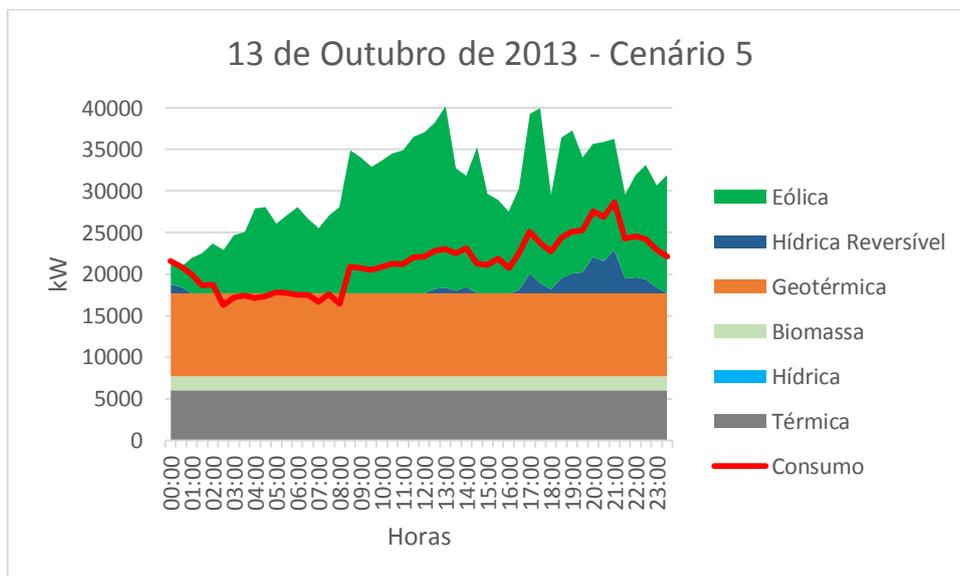


Gráfico 52 - Diagrama de carga com introdução da energia hídrica reversível, para o cenário 5, com base no dia 13 de Outubro de 2013

Nos cenários 3, 4 e 5 tendo por base o dia 13 de Outubro, a energia excedente não pode ser toda introduzida através da turbinagem porque há uma elevada potência em excesso

## Capítulo 6 – Setor elétrico da ilha Terceira

e mesmo sendo reduzida ao mínimo possível, a energia térmica, não há consumo suficiente para usar toda a energia produzida na ilha.

Na tabela 6 apresentam-se as quantidades de energia térmica poupadas com a introdução de energia hídrica proveniente de uma central hídrica reversível, face à energia térmica utilizada no respetivo dia de base (em 2012 ou 2013).

*Tabela 6 – Energia de origem térmica poupada num dia, por cenário*

<b>Energia térmica poupada (kWh)</b>	
<b>1 de Janeiro de 2012</b>	
<b>Cenário 1</b>	40116
<b>Cenário 2</b>	123035
<b>Cenário 3</b>	146780
<b>Cenário 4</b>	285166
<b>Cenário 5</b>	601300
<b>17 de Abril de 2013</b>	
<b>Cenário 2</b>	117378
<b>Cenário 3</b>	127026
<b>Cenário 4</b>	283814
<b>Cenário 5</b>	293325
<b>13 de Outubro de 2013</b>	
<b>Cenário 1</b>	99965
<b>Cenário 2</b>	140189
<b>Cenário 3</b>	197581
<b>Cenário 4</b>	217565
<b>Cenário 5</b>	217565

## **7. Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira**

As considerações iniciais para a localização de uma central hídrica reversível na ilha Terceira tiveram como principais pontos de focagem a existência de um reservatório (natural ou construído) e/ou declive acentuado. Na publicação “Aproveitamentos hidroelétricos reversíveis nas ilhas de São Miguel e Terceira – Avaliação técnica preliminar de potencialidades”, que serviu de base para a escolha dos locais mais apropriados considerados neste trabalho, são referidas as lagoas artificiais do Cabrito e das Cinco Ribeiras como potenciais reservatórios para centrais hídricas reversíveis, sendo também considerada de grande potencial a zona da Nasce Água – Serra do Morião pelo grande desnível topográfico obtido. Foi também avaliada a opção da utilização do mar como reservatório inferior dadas as circunstâncias geográficas da ilha, com uma linha de costa de cerca de 127 km (SIARAM, 2014) e o sucesso da central hídrica reversível que utiliza água do mar no Japão, tendo sido analisado no programa Google Earth os locais mais propícios junto à costa para um projeto desta natureza.

Os locais sugeridos, tendo em conta vários critérios técnicos, como os referidos anteriormente, para uma possível implementação do projeto na ilha Terceira foram:

Zona do Cabrito – utilizando a lagoa artificial do Cabrito

Zona das Cinco Ribeiras – utilizando a lagoa artificial das Cinco Ribeiras

Zona da Nasce Água – Serra do Morião

Zona do Farol da Serreta – utilizando o mar como reservatório inferior

### **7.1. Zona do Cabrito**

A lagoa artificial do Cabrito foi construída em 1995 para abastecimento de água à lavoura e tem uma capacidade de 200000 m<sup>3</sup>. Situa-se à cota aproximada de 400 m, na freguesia do Porto Judeu, junto das captações de água da Furna do Cabrito e da Furna de Água e da estação de tratamento de água do Cabrito (EDP, 2008).

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira

A figura 8 apresenta a zona de implementação da hipotética central hídrica reversível na zona do Cabrito, no contexto da ilha Terceira.



*Figura 8 - Área de implementação do projeto na Zona do Cabrito (Google Earth, 2014)*

Na figura 9 apresenta-se uma imagem aérea da lagoa do Cabrito.



*Figura 9 - Imagem aérea da lagoa artificial do Cabrito (Na minha ilha, 2014)*

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira

A implementação de uma central hídrica reversível nesse local visaria aproveitar a lagoa artificial do Cabrito já existente como reservatório inferior, a construção da central com os equipamentos eletromecânicos ligeiramente acima da lagoa, e a construção de um reservatório superior numa zona de coordenadas médias  $38^{\circ}43'37''\text{N}$  e  $27^{\circ}11'37''\text{O}$  a uma cota de cerca de 650 m, produzindo uma queda bruta (desnível entre as linhas de energia a montante da tomada de água e a jusante da restituição do aproveitamento) de cerca de 250 m.

A(s) conduta(s) forçada(s), em linha reta, do reservatório superior ao reservatório inferior tem o comprimento de aproximadamente 2490 m (figura 10).

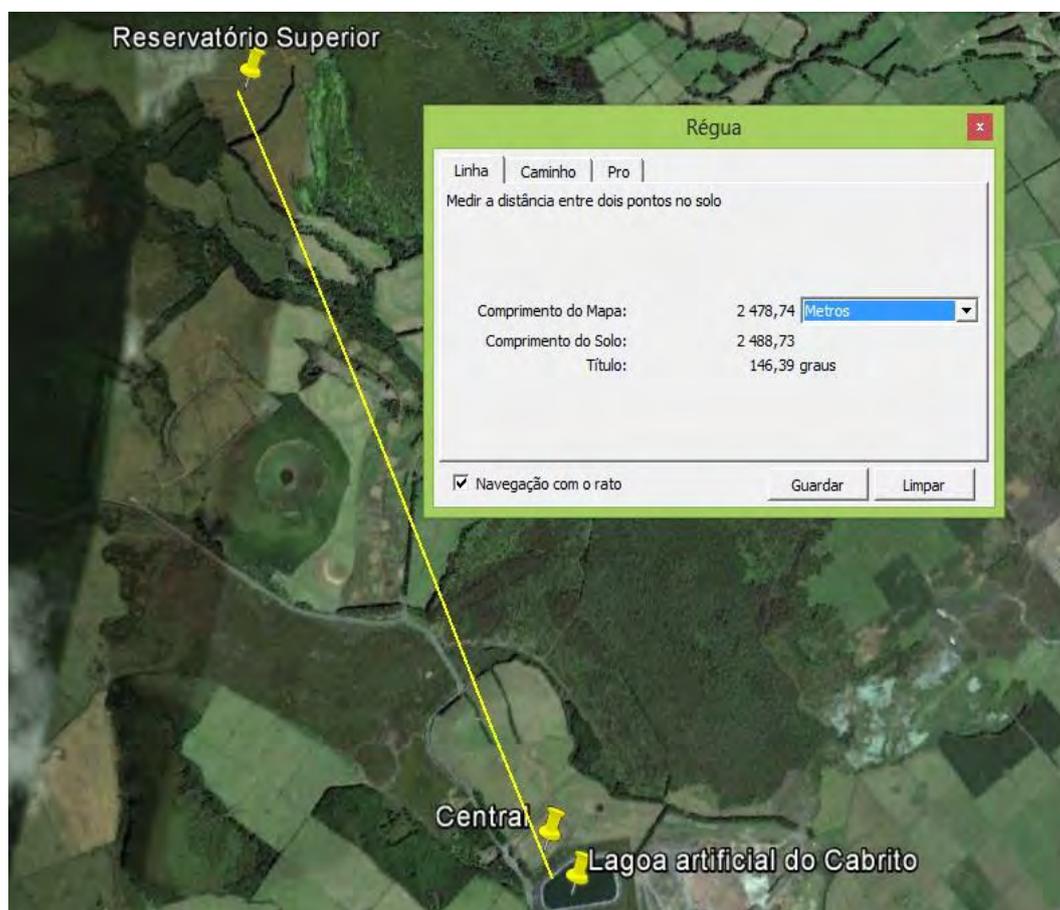


Figura 10 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona do Cabrito e comprimento da(s) conduta(s) forçada(s) em linha reta (Google Earth, 2014)

## **7.2. Zona das Cinco Ribeiras**

A lagoa artificial das Cinco Ribeiras foi construída em 1999 para abastecimento de água à lavoura e tem uma capacidade de 100000 m<sup>3</sup>. Situa-se à cota aproximada de 520 m, na freguesia das Cinco Ribeiras, perto da Lagoa da Falca (EDP, 2008).

Os recursos hídricos que alimentam a lagoa provêm de linhas de água próximas (EDP, 2008).

A figura 11 apresenta a zona de implementação da hipotética central hídrica reversível na zona das Cinco Ribeiras, no contexto da ilha Terceira.



*Figura 11 - Área de implementação do projeto na Zona das Cinco Ribeiras (Google Earth, 2014)*

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira

Na figura 12 apresenta-se uma imagem aérea da lagoa das Cinco Ribeiras.



*Figura 12 - Imagem aérea da lagoa artificial das cinco Ribeiras (Na minha ilha, 2014)*

A implementação de uma central hídrica reversível neste local visaria aproveitar a lagoa artificial das Cinco Ribeiras já existente como reservatório inferior, a construção da central com os equipamentos eletromecânicos ligeiramente acima da lagoa, e a construção do reservatório superior numa zona de coordenadas médias  $38^{\circ}43'29''\text{N}$  e  $27^{\circ}18'24''\text{O}$ , a uma cota de cerca de 695 m, produzindo uma queda bruta de cerca de 175 m. A seleção dos locais foi feita apenas com base na análise cartográfica.

A(s) conduta(s) forçada(s), em linha reta, do reservatório superior ao reservatório inferior tem o comprimento de aproximadamente 1104 m (figura 13).



Figura 13 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona das Cinco Ribeiras e comprimento da(s) conduta(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014)

### 7.3. Zona da Nasce Água – Serra do Morião

Embora não haja lagoas artificiais ou naturais na zona da Nasce Água e Serra do Morião, há exceção do reservatório da Custaneira que não foi considerado para este projeto por apresentar um volume pequeno de armazenamento ( $6000 \text{ m}^3$ ), esta zona apresenta um grande potencial devido ao desnível topográfico que se obtém entre o topo da Serra do Morião e a zona da Nasce Água.

A figura 14 apresenta a zona de implementação da hipotética central hídrica reversível na zona da Nasce Água – Serra do Morião, no contexto da ilha Terceira.



Figura 14 - Área de implementação do projeto na Zona da Nasce Água – Serra do Morião (Google Earth, 2014)

A implementação de uma central hídrica reversível neste local visaria a construção de uma lagoa artificial na Nasce Água, numa zona de coordenadas médias  $38^{\circ}40'42''$  N e  $27^{\circ}12'48''$  O a uma cota média de 191 m (figura 15) que serviria de reservatório inferior, a construção da central com os equipamentos eletromecânicos ligeiramente acima da zona da lagoa, e a construção do reservatório superior no topo da Serra do Morião em zona de coordenadas médias  $38^{\circ}41'36''$  N e  $27^{\circ}12'24''$  O a uma cota de cerca de 695 m (figura 16), produzindo uma queda bruta de cerca de 396 m.

A seleção dos locais foi feita apenas com base na análise cartográfica.

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 15 - Imagem aérea do local a implementar o reservatório inferior (Na minha ilha, 2014)



Figura 16 - Imagem aérea do local a implementar o reservatório superior (Na minha ilha, 2014)

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira

A(s) conduta(s) forçada(s), em linha reta, do reservatório superior ao reservatório inferior tem o comprimento de aproximadamente 1770 m (figura 17).

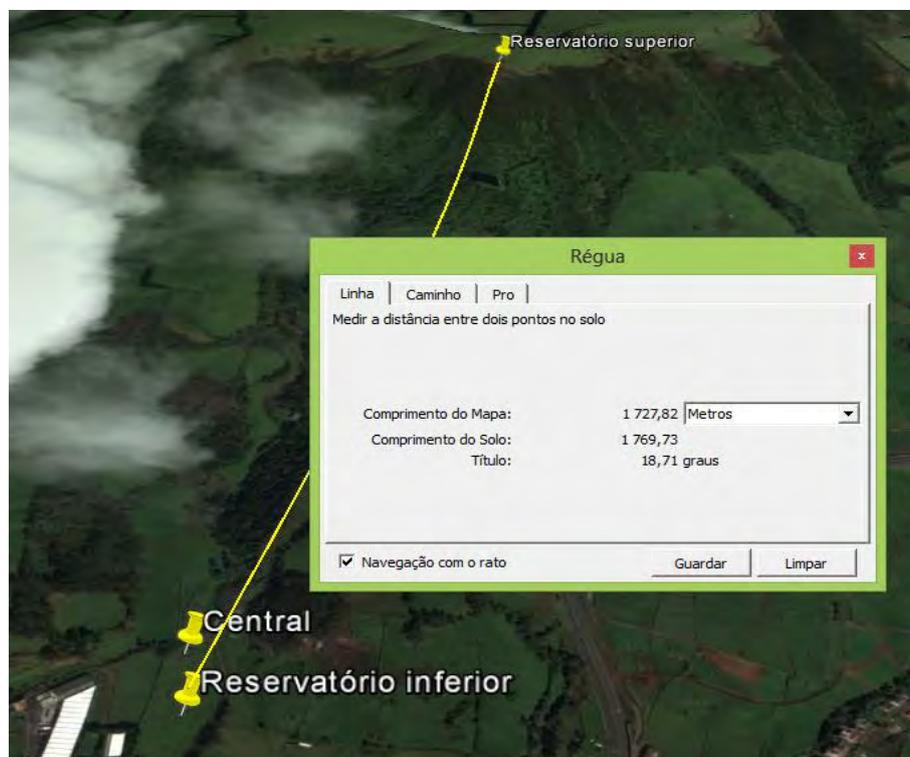


Figura 17 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona da Nasce Água e comprimento da(s) conduta(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014)

Para além de exercer a função prevista no projeto hídrico reversível, a lagoa construída na zona da Nasce Água poderia ser estratégica no sentido fornecimento de água à rede de abastecimento público do concelho de angra do Heroísmo, em caso de falta de água. A sua localização junto de um importante ponto de distribuição de água e da ETA da Nasce Água permitiria criar-se uma reserva estratégia com poucas alterações e obras de adaptação.

### 7.4. Zona da Serreta

A construção de uma central hídrica reversível na Ponta da Serreta, na costa noroeste da ilha, visaria o aproveitamento do mar como reservatório inferior.

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira

A escolha deste local recaiu sobre o facto de a inclinação desde o mar até uma zona superior para construção do reservatório superior ser elevada e ao mesmo tempo permitir facilmente a execução de obras ao contrário das elevadas escarpas ao longo da costa da ilha.

Segundo Christakis *et al.*, (2013), a sucção da água do mar para a estação de bombagem é realizada através de uma conduta submarina que deve atingir o mar até uma profundidade de cerca de 15 m para evitar quaisquer efeitos das ondas na estrutura de sucção.

A figura 18 apresenta a zona de implementação da hipotética central hídrica reversível na zona da Serreta, no contexto da ilha Terceira.



Figura 18 - Área de implementação do projeto na Zona da Ponta da Serreta (Google Earth, 2014)

A figura 19 mostra a zona junto ao mar para possível implementação das estruturas de captação de água do mar, servindo de reservatório inferior do projeto.

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 19 - Imagem aérea do local a implementar a captação de água do mar, que serve como reservatório inferior do projeto (Google Earth, 2014)

A construção da central com os equipamentos eletromecânicos seria realizada perto da zona de captação da água mas em local protegido das vagas do mar, tendo em conta Christakis *et al.*, (2013).

O reservatório superior seria construído numa zona de coordenadas médias 38°45'40'' N e 27°21'54'' O a uma cota de cerca de 225 m (figura 20), produzindo uma queda bruta de cerca de 225 m. A seleção destes locais foi feita apenas com base na análise cartográfica.

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 20 - Imagem aérea do local a implementar o reservatório superior (Google Earth, 2014)

A(s) conduta(s) forçada(s), em linha reta, do nível do mar ao reservatório superior tem o comprimento de aproximadamente 1286 m (figura 21).

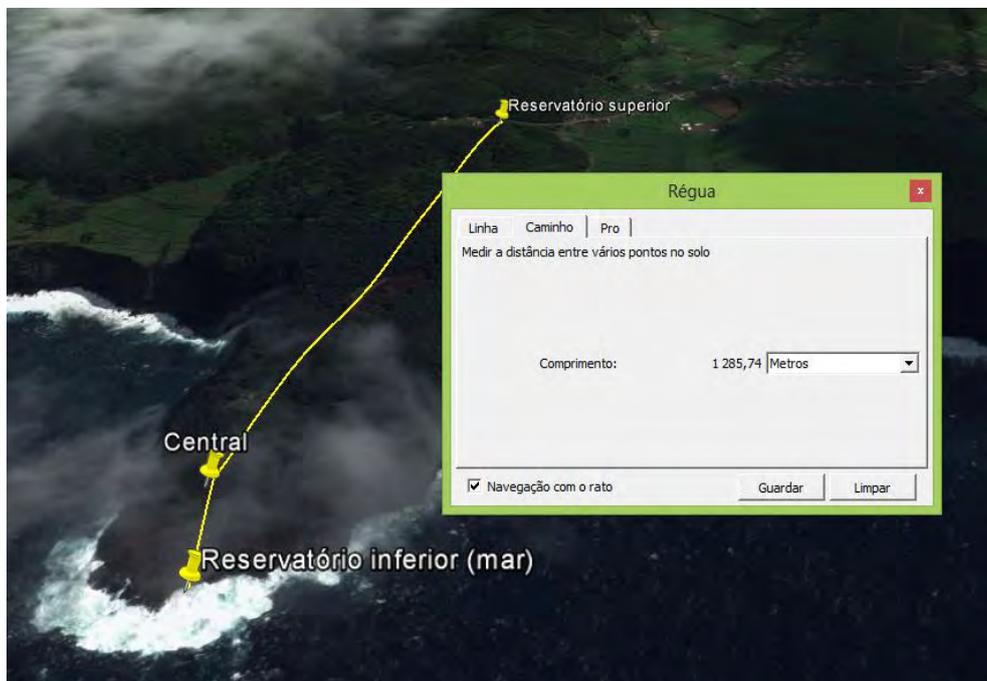


Figura 21 - Localização dos principais componentes do sistema hídrico reversível na zona da Serreta e comprimento da(s) condutas(s) forçadas em linha reta (Google Earth, 2014)

### **7.5. Enquadramento dos locais escolhidos nos planos de gestão territorial**

Nos Açores existem vários instrumentos de gestão territorial, como por exemplo planos diretores municipais, planos sectoriais, planos de ordenamento de orla costeira, planos de ordenamento de áreas protegidas e planos de ordenamento de bacias hidrográficas de lagoas.

Para este projeto foram consultados o regime jurídico da conservação da natureza e da proteção da biodiversidade, o diploma de criação do Parque Natural da Ilha Terceira, o Plano Sectorial para a Rede Natura 2000 da Região Autónoma dos Açores e o Plano de medidas preventivas aplicáveis na área abrangida pela bacia hidrogeológica da Caldeira Guilherme Moniz/Pico Alto, na ilha Terceira.

- O Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade, estabelecido pelo Decreto Legislativo Regional n.º 15/2012/A de 2 de Abril, visa contribuir para assegurar a biodiversidade, através da conservação ou do restabelecimento dos habitats naturais e da flora e da fauna selvagens num estado de conservação favorável, da proteção, gestão e controlo das espécies selvagens, e da regulamentação da sua exploração.
- O Parque Natural da Ilha Terceira, criado ao abrigo do Decreto Legislativo Regional n.º 11/2011/A de 20 de Abril, integra todas as áreas protegidas da ilha Terceira, qualquer que seja a sua categoria. Constitui também a unidade de gestão das áreas protegidas da ilha Terceira e insere -se no âmbito da Rede Regional de Áreas Protegidas dos Açores.
- O Plano Sectorial da Rede Natura 2000, na Região Autónoma dos Açores, criado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 20/2006/A de 6 de Junho define o âmbito e o enquadramento legal das medidas de conservação dos habitats e das espécies da fauna e flora selvagens, necessárias à prossecução dos objetivos de conservação dos valores naturais existentes, tendo igualmente em linha de conta o desenvolvimento económico e social das áreas abrangidas. O Plano é constituído por fichas de identificação de cada ilha com medidas e ações inibidoras de impactes negativos, preventivas e minimizadoras de ameaças, identificadas por sector de atividade. Também constam recomendações sectoriais a ser consideradas e integradas em todos os instrumentos de gestão territorial ou de

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira

política sectorial e medidas reguladoras que condicionam e interditam diversas atividades.

- O Regime Jurídico de Medidas Preventivas Aplicáveis na Área Abrangida pela Bacia Hidrogeológica da Caldeira Guilherme Moniz/Pico Alto, na ilha Terceira, criado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 15/2010/A de 9 de Abril, estabelece medidas preventivas para a área da bacia hidrogeológica da Caldeira de Guilherme Moniz/Pico Alto, na ilha Terceira, com o objetivo de salvaguardar a biodiversidade e promover a proteção dos recursos naturais, com impacto na recarga dos aquíferos daquele território.

Através do Sistema Regional de Informação Territorial, (2014) disponibilizado em <http://sig-sraa.azores.gov.pt/>, foram confrontadas as localizações escolhidas para implementação do projeto, com as áreas classificadas pelo regime jurídico da conservação da natureza e da proteção da biodiversidade (figuras 22, 23, 24 e 25) e pelo Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (figuras 22, 24 e 25), na Região Autónoma dos Açores. A partir do mapa presente no anexo I do Decreto Legislativo Regional n.º 15/2010/A, que delimita a área de incidência das medidas preventivas da bacia hidrogeológica da Caldeira de Guilherme Moniz/Pico Alto, na ilha Terceira, foram também confrontadas as localizações escolhidas com o referido mapa (figuras 26, 27 e 28).

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 22 - Áreas classificadas pelo Plano Sectorial das Rede Natura 2000 e Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona da Ponta da Serreta (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)

Legenda:

- Área protegida de Gestão de Recursos
- ▨ Zona de Especial Conservação (ZEC)

Na zona de implementação do projeto na Serreta, parte do sistema localiza-se na Zona de Especial Conservação da Serra de Santa Bárbara – Pico Alto. Desta forma, a instalação de infraestruturas de produção e transporte de energia fica obrigada a uma Avaliação de Impacte Ambiental.

No diploma do Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade e no Parque Natural da Ilha Terceira, para as áreas protegidas de gestão de recursos não são mencionadas condicionantes específicas, no entanto, estas áreas têm como objetivos preferenciais a gestão e preservação de habitats naturais e seminaturais e de espécies da flora e da fauna e a adoção de medidas de gestão que compatibilizem o uso sustentável dos recursos e a manutenção da qualidade ecológica dos mesmos.

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 23 - Figura 20 - Área classificada pelo Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona da Serra do Morião (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)

Legenda:

- Área protegida de Gestão de Recursos

A zona da Serra do Morião encontra-se sobre proteção para a gestão de recursos, onde se aplica o mencionado anteriormente para as áreas protegidas de Gestão de Recursos.

## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 24 - Áreas classificadas pelo Plano Sectorial das Rede Natura 2000 e Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona do Cabrito (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)

Legenda:

- Área protegida de Gestão de Recursos
- Área protegida para a Gestão de Habitats
- Reserva natural
- ▨ Zona de Especial Conservação (ZEC)

A localização prevista do reservatório superior do projeto na zona do Cabrito encontra-se em zona protegida para a Gestão de Habitats e em Zona de Especial Conservação da Serra de Santa Bárbara – Pico Alto.

Segundo o regime jurídico da conservação da natureza e da proteção da biodiversidade, nas áreas protegidas para a Gestão de Habitats, sempre que os regulamentos dos planos municipais de ordenamento do território aplicáveis não contenham normas específicas sobre a gestão das áreas protegidas e nas áreas não abrangidas pelos planos, algumas atividades dependem de parecer da autoridade ambiental.

## **Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira**

Neste caso, atividades que podem estar relacionadas com o projeto hídrico reversível e que necessitam de parecer são por exemplo:

- A realização de obras de construção civil, com exceção das obras de reconstrução, demolição, conservação de edifícios e ampliação desde que esta não envolva aumento de área de implantação superior a 50% da área inicial e a área total de implantação, depois de realizada a ampliação, não seja superior a 100 m<sup>2</sup>.
- A alteração do uso do solo que abranja áreas contínuas superiores a 1 ha;
- As alterações à morfologia do solo, com exceção das decorrentes das normais atividades agrícolas e florestais;
- A abertura de novas vias de comunicação ou acesso, bem como o alargamento, a pavimentação e a repavimentação das existentes;
- A instalação de infraestruturas de eletricidade e telecomunicações, aéreas ou subterrâneas, de transporte de combustíveis líquidos ou gasosos, de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais, e de aproveitamento de energias renováveis ou similares;

De acordo com o Plano Sectorial da Rede Natura 2000, a instalação de infraestruturas de produção e transporte de energia em Zonas de Especial Conservação fica obrigada a uma Avaliação de Impacte Ambiental.

As áreas de reserva natural acarretam condicionantes mais restritivas, no entanto, nenhum elemento do projeto se encontra dentro deste tipo de área, embora o reservatório superior se localize muito próximo da Reserva natural da Terra Brava e Criação das Lagoas.



Figura 25 - Áreas classificadas pelo Plano Sectorial das Rede Natura 2000 e Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade na zona junto da lagoa das Cinco Ribeiras (Sistema Regional de Informação Territorial, 2014)

Legenda:

- Área protegida para a Gestão de Habitats
- ▨ Zona de Especial Conservação (ZEC)

Na zona de implementação do projeto nas Cinco Ribeiras, parte do terreno escolhido para implementação do reservatório superior encontra-se na Zona de Especial Conservação da Serra de Santa Bárbara – Pico Alto e em área protegida para a Gestão de Habitats.

Na Zona de Especial Conservação, como já referido anteriormente, a instalação de infraestruturas de produção e transporte de energia fica obrigada a uma Avaliação de Impacte Ambiental.

Nas áreas protegidas para a Gestão de Habitats aplica-se o já mencionado na zona do Cabrito para as áreas protegidas para a Gestão de Habitats.



## Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira



Figura 27 - Ampliação da figura 24 na zona do Cabrito



Figura 28 - Ampliação da figura 24 na zona da Serra do Morião

## **Capítulo 7 – Localização de uma hipotética central hídrica reversível na ilha Terceira**

Na área da bacia hidrogeológica da Caldeira de Guilherme Moniz/Pico Alto, algumas das práticas que podem vir a estar relacionadas com a construção de uma central hídrica reversível e que são proibidas segundo o Decreto Legislativo Regional n.º 15/2010/A são:

- Construção de edifícios ou outras instalações;
- Realização de arroteias.

Segundo o mesmo diploma, e na mesma área, dependem de autorização do membro do Governo Regional com competência em matéria de recursos hídricos, as seguintes atividades que poderão estar relacionados com um projeto hídrico reversível.

- Alterações, por meio de aterros ou escavações, da configuração geral do terreno;
- Alteração do coberto vegetal;
- Destruição do solo vivo e do coberto vegetal;
- Derrube de árvores em maciço, qualquer que seja a área;
- Abertura de novas vias de comunicação e alteração das existentes, nomeadamente por correção ou pavimentação;
- Passagem de linhas elétricas ou telefónicas;
- Quaisquer outros atos ou atividades suscetíveis de afetarem de forma relevante a integridade ou características da área delimitada.

### **7.6. Imóveis e conjuntos de interesse municipal nas localizações escolhidas**

Das localizações escolhidas para o projeto, a zona da Nasce Água detém dois conjuntos que integram a lista de Imóveis e conjuntos de interesse municipal da Região autónoma dos Açores. São eles:

- Moinho de Água da Nasce-Água. Classificado pela Resolução n.º 79/97 de 03 de 10 ab. I—1997 e reclassificado pelo n.º 7 do artigo 58.º do Decreto Legislativo Regional n.º 43/2008/A, de 8 de Outubro
- Remanescente da Levada da Ribeira dos Moinhos e do Aqueduto de Santa Luzia. Classificada pelo Edital n.º 5/2013, de 30 de setembro

### **7.7. Património cultural não classificado nas localizações escolhidas**

Tem surgido nos últimos tempos uma polémica em torno de património cultural não classificado nem assumido oficialmente na ilha Terceira.

Recentemente foram realizados testes ao material que soldou uma fratura numa pia localizada na Grotta do Medo, freguesia do Posto Santo, que apontam para a peça ter sido feita em data anterior a 950 anos atrás, uma vez a datação se refere à idade da fracturação e não da construção.

Em visita à ilha Terceira entre 12 e 16 de Outubro do corrente ano, Sir Barrington Windsor Cunliffe, reconhecido arqueólogo e académico britânico, em entrevista ao Jornal Diário Insular, publicada a 17 de Outubro de 2014, disse que na breve visita que fez à Grotta do Medo constatou que houve muita presença humana de construção no local e que há construções que se sabem serem recentes, mas que há outras que não se consegue perceber a que tempo remontam. Afirmou que neste momento, existe ali um complexo que merece ser estudado. Em relação à datação feita, disse que é um início muito interessante, mas que são necessárias mais datações, em mais coisas, antes de poderem ser utilizadas como provas sólidas e tangíveis.

Nas zonas da Nasce Água e da Serra do Morião, localizadas perto da Grotta do Medo, foram analisadas algumas rochas no âmbito deste projeto e constatou-se algumas inscrições, à partida realizadas por mão humana, tanto na Nasce Água como na Serra do Morião.

De seguida são apresentadas algumas imagens (figuras 29, 30, 31, 32 e 33) de inscrições encontradas, não se sabendo de que se tratar, podendo no entanto estar relacionadas com as mesmas inscrições encontradas no complexo megalítico da Grotta do Medo.



*Figura 29 - Rocha na zona da Nasce Água, relativamente afastada da zona de construção do reservatório inferior, com possíveis inscrições humanas*



*Figura 30 - Rocha na zona da Nasce Água, relativamente próxima da zona de construção do reservatório inferior, com possíveis inscrições humanas*



*Figura 31 - Rocha na zona da Serra do Morião, relativamente afastada da zona de construção do reservatório superior, com possíveis inscrições humanas*



*Figura 32 - Rocha na zona da Serra do Morião, relativamente afastada da zona de construção do reservatório superior, com possíveis inscrições humanas*



*Figura 33 - Rocha na zona da Serra do Morião, relativamente afastada da zona de construção do reservatório superior, com possíveis inscrições humanas*

## 8. Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

### 8.1. Dimensionamento da(s) conduta(s) forçada(s)

Sempre que um líquido escoar no interior de um tubo de um ponto para outro, haverá uma certa perda de energia denominada perda de pressão ou perda de carga. Esta perda de energia deve-se ao atrito com as paredes do tubo e à viscosidade do líquido em escoamento. Quanto maior for a rugosidade da parede da tubagem, maior será a turbulência do escoamento e, logo, maior será a perda de carga.

As condutas devem ser dimensionadas de maneira a que a perda de carga não seja superior a 10% a 15% da queda bruta (Félix, 2011).

O comprimento das condutas já foi anteriormente calculado no capítulo das localizações, sendo neste capítulo estudadas as perdas de carga ao longo das tubagens, com diferentes diâmetros internos.

Esta análise foi feita seguindo os seguintes passos:

- Os diâmetros utilizados foram de 0,6 m, 0,8 m, 1 m e 1,2 m.
- Utilizou-se o caudal médio e máximo dos dias anteriormente analisados, para os vários cenários, nas várias localizações.
- Para o cálculo das perdas de carga unitárias utilizou-se a equação de *Manning-Strickler*.

$$\text{Strickler. } i = \frac{v^2}{Ks^2 R(h)^{4/3}}$$

Onde:

$i$  – perda de carga unitária (m/m)

$v$  – velocidade do escoamento (m/s)

$Ks$  – coeficiente de rugosidade de *Manning-Strickler* ( $m^{1/3}/s$ )

$R(h)$  - raio hidráulico (m)

Em que:

$$v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

$Q$  – caudal ( $m^3/s$ )

$A$  – secção da conduta ( $m^2$ )

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

- O valor do coeficiente  $K_s$  utilizado na fórmula é um valor tabelado e depende do material da conduta. Foi utilizado o valor de  $125 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , correspondente a tubos de cobre, latão ou polietileno, conforme consta na tabela nº 7 disponibilizada nas aulas de Hidráulica Aplicada, do Mestrado em Engenharia de Gestão de Sistemas de Água.
- As perdas de carga totais ao longo da(s) condutas(s) foram calculadas a partir das perdas de carga unitárias e do comprimento total da(s) condutas(s).

$$h = i \times L$$

Onde:

$h$  – perda de carga total ao longo da conduta

$L$  – comprimento da conduta

- A percentagem de perda de carga em relação à queda bruta foi calculada da seguinte forma:  $100 - \frac{H'}{H}$  (%)

Onde:

$H'$  – queda útil (corresponde à diferença entre a queda bruta e as perdas de carga no circuito hidráulico)

$H$  – queda bruta

Em que:

$$H' = H - h$$

As seguintes tabelas apresentam os resultados das perdas de carga ao longo da tubagem ( $h$ ) e das percentagens de perda de carga em relação à queda bruta ( $100 - \frac{H'}{H}$ ), para os diâmetros internos das tubagens (DI) de 0,6 m, 0,8 m, 1 m e 1,2 m.

As tabelas 7, 8, 9 e 10 têm por base os dias 1 de Janeiro de 2012, 17 de Abril de 2013, 18 de Agosto de 2013 e 13 de Outubro de 2013, respetivamente, e as correspondentes modelações efetuadas com os vários cenários e as várias localizações.

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Tabela 7 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 1 de Janeiro de 2012

1 de Janeiro de 2012			DI 0,6 m		DI 0,8 m		DI 1 m		DI 1,2 m	
			h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$
Cenário 1	Localização 1	Qméd	11,5	5%	3,6	1%	0,6	0%	0,3	0%
		Qmáx	474,3	190%	61,5	25%	24,4	10%	11,8	5%
	Localização 2	Qméd	5,6	3%	1,8	1%	0,3	0%	0,1	0%
		Qmáx	274,7	157%	35,6	20%	24,4	8%	11,8	4%
	Localização 3	Qméd	3,3	1%	1,0	0%	0,2	0%	0,1	0%
		Qmáx	134,4	34%	42,5	11%	6,9	2%	3,3	1%
	Localização 4	Qméd	7,3	3%	2,3	1%	0,4	0%	0,2	0%
		Qmáx	302,4	134%	95,7	43%	15,6	7%	7,5	3%
Cenário 2	Localização 1	Qméd	8,7	3%	2,7	1%	0,4	0%	0,2	0%
		Qmáx	168,4	67%	53,3	21%	8,7	3%	4,2	2%
	Localização 2	Qméd	7,9	4%	2,5	1%	0,4	0%	0,2	0%
		Qmáx	152,3	87%	48,2	28%	8,7	4%	4,2	2%
	Localização 3	Qméd	2,5	1%	0,8	0%	0,1	0%	0,1	0%
		Qmáx	47,7	12%	15,1	4%	2,5	1%	1,2	0%
	Localização 4	Qméd	5,5	2%	1,8	1%	0,3	0%	0,1	0%
		Qmáx	107,4	48%	34,0	15%	5,5	2%	2,7	1%
Cenário 3	Localização 1	Qméd	24,4	10%	7,7	3%	1,3	1%	0,6	0%
		Qmáx	474,3	190%	150,1	60%	24,4	10%	11,8	5%
	Localização 2	Qméd	22,1	13%	7,0	4%	1,1	1%	0,5	0%
		Qmáx	429,2	245%	135,8	78%	24,4	13%	11,8	6%
	Localização 3	Qméd	6,9	2%	2,2	1%	0,4	0%	0,2	0%
		Qmáx	134,4	34%	42,5	11%	6,9	2%	3,3	1%
	Localização 4	Qméd	15,5	7%	4,9	2%	0,8	0%	0,4	0%
		Qmáx	302,4	134%	95,7	43%	15,6	7%	7,5	3%
Cenário 4	Localização 1	Qméd	13,7	5%	4,3	2%	0,7	0%	0,3	0%
		Qmáx	168,4	67%	21,8	9%	8,7	3%	4,2	2%
	Localização 2	Qméd	12,4	7%	3,9	2%	0,6	0%	0,3	0%
		Qmáx	152,3	87%	19,7	11%	8,7	4%	4,2	2%
	Localização 3	Qméd	3,9	1%	1,2	0%	0,2	0%	0,1	0%
		Qmáx	47,7	12%	15,1	4%	2,5	1%	1,2	0%
	Localização 4	Qméd	8,7	4%	2,8	1%	0,4	0%	0,2	0%
		Qmáx	107,4	48%	34,0	15%	5,5	2%	2,7	1%
Cenário 5	Localização 1	Qméd	32,4	13%	10,2	4%	1,7	1%	0,8	0%
		Qmáx	474,3	190%	150,1	60%	24,4	10%	11,8	5%
	Localização 2	Qméd	29,3	17%	9,3	5%	1,5	1%	0,7	0%
		Qmáx	429,2	245%	135,8	78%	24,4	13%	11,8	6%
	Localização 3	Qméd	9,2	2%	2,9	1%	0,5	0%	0,2	0%
		Qmáx	134,4	34%	42,5	11%	6,9	2%	3,3	1%
	Localização 4	Qméd	20,6	9%	6,5	3%	1,1	0%	0,5	0%
		Qmáx	302,4	134%	95,7	43%	15,6	7%	7,5	3%

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Tabela 8 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 17 de Abril de 2013

17 de Abril de 2013			DI 0,6 m		DI 0,8 m		DI 1 m		DI 1,2 m	
			h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$
Cenário 1	Localização 1	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	7,2	3%	2,3	1%	0,4	0%	0,2	0%
	Localização 2	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	6,5	4%	2,1	1%	0,4	0%	0,2	0%
	Localização 3	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	2,0	1%	0,6	0%	0,1	0%	0,1	0%
	Localização 4	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	4,6	2%	1,5	1%	0,2	0%	0,1	0%
Cenário 2	Localização 1	Qméd	0,6	0%	0,2	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	37,9	15%	12,0	5%	1,9	1%	0,9	0%
	Localização 2	Qméd	0,6	0%	0,2	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	34,3	20%	10,8	6%	1,9	1%	0,9	0%
	Localização 3	Qméd	0,2	0%	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	10,7	3%	3,4	1%	0,6	0%	0,3	0%
	Localização 4	Qméd	0,4	0%	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	24,2	11%	7,6	3%	1,2	1%	0,6	0%
Cenário 3	Localização 1	Qméd	1,3	1%	0,4	0%	0,1	0%	0,0	0%
		Qmáx	65,2	26%	20,6	8%	3,4	1%	1,6	1%
	Localização 2	Qméd	1,2	1%	0,4	0%	0,1	0%	0,0	0%
		Qmáx	59,0	34%	18,7	11%	3,4	2%	1,6	1%
	Localização 3	Qméd	0,4	0%	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	18,5	5%	5,8	1%	1,0	0%	0,5	0%
	Localização 4	Qméd	0,8	0%	0,3	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	41,6	18%	13,2	6%	2,1	1%	1,0	0%
Cenário 4	Localização 1	Qméd	1,5	1%	0,5	0%	0,1	0%	0,0	0%
		Qmáx	61,0	24%	19,3	8%	3,1	1%	1,5	1%
	Localização 2	Qméd	1,4	1%	0,4	0%	0,1	0%	0,0	0%
		Qmáx	55,2	32%	17,5	10%	3,1	2%	1,5	1%
	Localização 3	Qméd	0,4	0%	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	17,3	4%	5,5	1%	0,9	0%	0,4	0%
	Localização 4	Qméd	1,0	0%	0,3	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	38,9	17%	12,3	5%	2,0	1%	1,0	0%
Cenário 5	Localização 1	Qméd	2,8	1%	0,9	0%	0,1	0%	0,1	0%
		Qmáx	94,7	38%	30,0	12%	4,9	2%	2,3	1%
	Localização 2	Qméd	2,6	1%	0,8	0%	0,1	0%	0,1	0%
		Qmáx	85,7	49%	27,1	15%	4,9	3%	2,3	1%
	Localização 3	Qméd	0,8	0%	0,3	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	26,8	7%	8,5	2%	1,4	0%	0,7	0%
	Localização 4	Qméd	1,8	1%	0,6	0%	0,1	0%	0,0	0%
		Qmáx	60,4	27%	19,1	8%	3,1	1%	1,5	1%

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Tabela 9 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 18 de Agosto de 2013

18 de Agosto de 2013		DI 0,6 m		DI 0,8 m		DI 1 m		DI 1,2 m		
		h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	
Cenário 1	Localização 1	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	16,3	7%	5,2	2%	0,8	0%	0,4	0%
	Localização 2	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	14,8	8%	4,7	3%	0,8	0%	0,4	0%
	Localização 3	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	4,6	1%	1,5	0%	0,2	0%	0,1	0%
	Localização 4	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	10,4	5%	3,3	1%	0,5	0%	0,3	0%
Cenário 2	Localização 1	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,2	0%	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%
	Localização 2	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,2	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
	Localização 3	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
	Localização 4	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Cenário 3	Localização 1	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	16,3	7%	5,2	2%	0,8	0%	0,4	0%
	Localização 2	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	14,8	8%	4,7	3%	0,8	0%	0,4	0%
	Localização 3	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	4,6	1%	1,5	0%	0,2	0%	0,1	0%
	Localização 4	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	10,4	5%	3,3	1%	0,5	0%	0,3	0%
Cenário 4	Localização 1	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,2	0%	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%
	Localização 2	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,2	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
	Localização 3	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
	Localização 4	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	0,1	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Cenário 5	Localização 1	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	16,3	7%	5,2	2%	0,8	0%	0,4	0%
	Localização 2	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	14,8	8%	4,7	3%	0,8	0%	0,4	0%
	Localização 3	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	4,6	1%	1,5	0%	0,2	0%	0,1	0%
	Localização 4	Qméd	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
		Qmáx	10,4	5%	3,3	1%	0,5	0%	0,3	0%

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Tabela 10 - Perdas de carga ao longo da tubagem e percentagens de perda de carga em relação à queda bruta para vários diâmetros internos, com base no dia 13 de Outubro de 2013

13 de Outubro de 2013			DI 0,6 m		DI 0,8 m		DI 1 m		DI 1,2 m	
			h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$	h (m)	$100 - \frac{H'}{H}$
Cenário 1	Localização 1	Qméd	187,5	75%	59,3	24%	9,6	4%	4,7	2%
		Qmáx	808,8	324%	255,9	102%	41,6	17%	20,1	8%
	Localização 2	Qméd	169,6	97%	53,7	31%	8,7	5%	4,2	2%
		Qmáx	731,8	418%	231,6	132%	41,6	22%	20,1	10%
	Localização 3	Qméd	53,1	13%	16,8	4%	2,7	1%	1,3	0%
		Qmáx	229,1	58%	72,5	18%	11,8	3%	5,7	1%
	Localização 4	Qméd	119,5	53%	37,8	17%	6,1	3%	3,0	1%
		Qmáx	515,7	229%	163,2	73%	26,5	12%	12,8	6%
Cenário 2	Localização 1	Qméd	80,0	32%	25,3	10%	4,1	2%	2,0	1%
		Qmáx	310,7	124%	98,3	39%	16,0	6%	7,7	3%
	Localização 2	Qméd	72,4	41%	22,9	13%	3,7	2%	1,8	1%
		Qmáx	281,1	161%	88,9	51%	16,0	8%	7,7	4%
	Localização 3	Qméd	22,7	6%	7,2	2%	1,2	0%	0,6	0%
		Qmáx	88,0	22%	27,8	7%	4,5	1%	2,2	1%
	Localização 4	Qméd	51,0	23%	16,1	7%	2,6	1%	1,3	1%
		Qmáx	198,1	88%	62,7	28%	10,2	5%	4,9	2%
Cenário 3	Localização 1	Qméd	227,1	91%	71,9	29%	11,7	5%	5,6	2%
		Qmáx	808,8	324%	255,9	102%	41,6	17%	20,1	8%
	Localização 2	Qméd	205,5	117%	65,0	37%	10,6	6%	5,1	3%
		Qmáx	731,8	418%	231,6	132%	41,6	22%	20,1	10%
	Localização 3	Qméd	64,3	16%	20,4	5%	3,3	1%	1,6	0%
		Qmáx	229,1	58%	72,5	18%	11,8	3%	5,7	1%
	Localização 4	Qméd	144,8	64%	45,8	20%	7,4	3%	3,6	2%
		Qmáx	515,7	229%	163,2	73%	26,5	12%	12,8	6%
Cenário 4	Localização 1	Qméd	94,7	38%	30,0	12%	4,9	2%	2,3	1%
		Qmáx	310,7	124%	98,3	39%	16,0	6%	7,7	3%
	Localização 2	Qméd	85,7	49%	27,1	16%	4,4	3%	2,1	1%
		Qmáx	281,1	161%	88,9	51%	16,0	8%	7,7	4%
	Localização 3	Qméd	26,8	7%	8,5	2%	1,4	0%	0,7	0%
		Qmáx	88,0	22%	27,8	7%	4,5	1%	2,2	1%
	Localização 4	Qméd	60,4	27%	19,1	8%	3,1	1%	1,5	1%
		Qmáx	198,1	88%	62,7	28%	10,2	5%	4,9	2%
Cenário 5	Localização 1	Qméd	251,8	101%	79,7	32%	12,9	5%	6,2	2%
		Qmáx	808,8	324%	255,9	102%	41,6	17%	20,1	8%
	Localização 2	Qméd	227,8	130%	72,1	41%	11,7	7%	5,7	3%
		Qmáx	731,8	418%	231,6	132%	41,6	22%	20,1	10%
	Localização 3	Qméd	71,3	18%	22,6	6%	3,7	1%	1,8	0%
		Qmáx	229,1	58%	72,5	18%	11,8	3%	5,7	1%
	Localização 4	Qméd	160,5	71%	50,8	23%	8,3	4%	4,0	2%
		Qmáx	515,7	229%	163,2	73%	26,5	12%	12,8	6%

## **Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível**

Constata-se que quanto maior o diâmetro interno da conduta, menor a perda de carga. Para as várias situações analisadas, com os diâmetros de 1 m e 1,2 m consegue-se aproximar dos objetivos de as perdas de carga não superarem os 15%, de acordo com Félix, (2011), embora, mesmo assim, em determinados casos, sejam ultrapassados os 15%.

### **8.2. Dimensionamento da(s) turbina(s)**

Neste estudo não é dada uma potência exata da(s) turbina(s) a instalar, mas sim intervalos de potências para cada um dos cenários já abordados. Esses intervalos podem servir de apoio para estudos mais aprofundados com dados técnicos mais específicos e estudos económicos associados.

Os intervalos referidos foram calculados com base nas potências média e máxima (dados de produção elétrica de 30 em 30 minutos dos anos de 2012 e 2013), necessárias em cada cenário, subtraídas as potências das energias de base. Procedeu-se da seguinte forma:

Cenário 1: Subtraiu-se à média das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 12000 kW correspondente ao valor base de energia térmica garantida no diagrama de carga neste cenário.

Subtraiu-se à máxima das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 12000 kW.

Cenário 2: Subtraiu-se à média das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 16700 kW correspondente aos valores base de energia térmica garantida (12000 kW), base de energia geotérmica (3000 kW) e base de energia da biomassa (1700 kW).

Subtraiu-se à máxima das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 16700 kW.

Cenário 3: Subtraiu-se à média das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 16700 kW correspondente aos valores base de energia térmica garantida (12000 kW), base de energia geotérmica (3000 kW) e base de energia da biomassa (1700 kW).

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Subtraiu-se à máxima das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 16700 kW.

Cenário 4: Subtraiu-se à média das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 17700 kW correspondente aos valores base de energia térmica garantida (6000 kW), base de energia geotérmica (10000 kW) e base de energia da biomassa (1700 kW).

Subtraiu-se à máxima das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 17700 kW.

Cenário 5: Subtraiu-se à média das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 17700 kW correspondente aos valores base de energia térmica garantida (6000 kW), base de energia geotérmica (10000 kW) e base de energia da biomassa (1700 kW).

Subtraiu-se à máxima das potências de 30 em 30 minutos de 2012 e 2013 o valor de 17700 kW.

A seguinte tabela 11 apresenta os intervalos obtidos com base nesta metodologia.

*Tabela 11 - Potências das turbinas com base na média e no máximo de energia hídrica reversível necessária por cenário*

	<b>Com base na média (kW)</b>	<b>Com base no máximo (kW)</b>
<b>Cenário 1</b>	12144	23400
<b>Cenário 2</b>	7444	18700
<b>Cenário 3</b>	7444	18700
<b>Cenário 4</b>	6444	17700
<b>Cenário 5</b>	6444	17700

### 8.3. Dimensionamento da(s) bomba(s)

Para a(s) bomba(s) seguiu-se o método utilizado no dimensionamento da(s) turbina(s) de não apresentar uma potência exata da(s) bomba(s) a instalar, mas sim intervalos de potências para cada um dos cenários.

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Utilizando esta metodologia pretende-se que as bombas correspondam aos excessos de energia que existam na rede.

Os intervalos referidos foram calculados com as potências de eletricidade em excesso média e máxima projetadas para os vários cenários, com base nos dados de 2012 e 2013.

A tabela 12 apresenta os intervalos obtidos para potências das bombas, para os vários cenários projetados.

*Tabela 12 - Potências das bombas com base na média e no máximo de energia em excesso por cenário*

	<b>Média (kW)</b>	<b>Máximo (kW)</b>
<b>Cenário 1</b>	6438	18689
<b>Cenário 2</b>	4170	19188
<b>Cenário 3</b>	6648	22920
<b>Cenário 4</b>	4353	20188
<b>Cenário 5</b>	6767	20188

### 8.4. Dimensionamento dos reservatórios a construir

Os reservatórios são elementos cruciais nos sistemas hídricos reversíveis, pois envolvem grande parte dos custos do projeto.

As dimensões (altura, largura e profundidade) e formatos não foram aqui estudadas.

Foi feita apenas uma análise aos volumes deslocados por dia, nos vários cenários e nas várias localizações, com base nos dias acima estudados 1 de Janeiro de 2012, 17 de Abril de 2013, 18 de Agosto de 2013 e 13 de Outubro de 2013.

Desta forma, pretende-se ter a perceção dos volumes dos reservatórios a construir, no entanto, como a análise é feita baseada apenas em 4 dias, não se podem tirar conclusões muito precisas.

A tabela 13 apresenta os valores dos volumes de água deslocada para os vários cenários e localizações projetados com base nos quatro dias em estudo.

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Tabela 13 - Volume deslocado de água por dia nos vários cenários e localizações

<b>1 de Janeiro de 2012</b>			<b>18 de Agosto de 2013</b>		
		Vol. deslocado (m3/dia)			Vol. deslocado (m3/dia)
<b>Cenário 1</b>	Localização 1	58626	<b>Cenário 1</b>	Localização 1	1453
	Localização 2	61314		Localização 2	2076
	Localização 3	37012		Localização 3	917
	Localização 4	65141		Localização 4	1615
<b>Cenário 2</b>	Localização 1	50891	<b>Cenário 2</b>	Localização 1	145
	Localização 2	72702		Localização 2	214
	Localização 3	32128		Localização 3	95
	Localização 4	56546		Localização 4	167
<b>Cenário 3</b>	Localização 1	85300	<b>Cenário 3</b>	Localização 1	1453
	Localização 2	121858		Localização 2	2076
	Localização 3	53851		Localização 3	917
	Localização 4	94778		Localização 4	1615
<b>Cenário 4</b>	Localização 1	63841	<b>Cenário 4</b>	Localização 1	150
	Localização 2	91202		Localização 2	214
	Localização 3	40304		Localização 3	95
	Localização 4	70935		Localização 4	167
<b>Cenário 5</b>	Localização 1	98263	<b>Cenário 5</b>	Localização 1	1453
	Localização 2	140375		Localização 2	2076
	Localização 3	62035		Localização 3	917
	Localização 4	109181		Localização 4	1615

## Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível

Continuação da tabela anterior					
17 de Abril de 2013			13 de Outubro de 2013		
		Vol. deslocado (m <sup>3</sup> /dia)			Vol. deslocado (m <sup>3</sup> /dia)
<b>Cenário 1</b>	Localização 1	1120	<b>Cenário 1</b>	Localização 1	236553
	Localização 2	1600		Localização 2	337933
	Localização 3	707		Localização 3	149339
	Localização 4	1245		Localização 4	262837
<b>Cenário 2</b>	Localização 1	13614	<b>Cenário 2</b>	Localização 1	154561
	Localização 2	19449		Localização 2	220802
	Localização 3	8595		Localização 3	97576
	Localização 4	15127		Localização 4	171735
<b>Cenário 3</b>	Localização 1	19932	<b>Cenário 3</b>	Localização 1	260338
	Localização 2	28474		Localização 2	371912
	Localização 3	12583		Localização 3	164355
	Localização 4	22146		Localização 4	289265
<b>Cenário 4</b>	Localização 1	21148	<b>Cenário 4</b>	Localização 1	168159
	Localização 2	30211		Localização 2	240227
	Localização 3	13351		Localização 3	106161
	Localização 4	23497		Localização 4	186844
<b>Cenário 5</b>	Localização 1	29035	<b>Cenário 5</b>	Localização 1	274121
	Localização 2	41478		Localização 2	391601
	Localização 3	18330		Localização 3	173056
	Localização 4	32261		Localização 4	304579

Atendendo às situações analisadas, o caso em que exige um maior volume deslocado de água é no cenário 5, elaborado com base no dia 13 de Outubro de 2013, localizado na zona das Cinco Ribeiras, onde seriam movimentados 391601 m<sup>3</sup> de água. Ora, se o sistema hídrico reversível tivesse apenas uma conduta forçada, o reservatório inferior não teria capacidade de resposta a esta situação, pois a sua capacidade de armazenamento é de 100000 m<sup>3</sup>, porém, com duas condutas, seria possível o movimento de água em simultâneo entre os dois reservatórios, dividindo-se assim o volume por ambos. Também se verifica neste caso que há excesso de energia produzido durante quase todo o dia, por

## **Capítulo 8 – Dimensionamento dos principais elementos do sistema hídrico reversível**

isso, nesta situação, o sistema com duas condutas forçadas permitiria a permanente bombagem através da energia em excesso, e ao mesmo tempo a turbinagem, para colmatar os períodos de maior consumo.

Várias análises precisam ser realizadas, para verificar a capacidade de resposta dos reservatórios aos diferentes volumes de água movimentados.

### 9. Conclusões

A crescente preocupação ambiental e o aumento do custo dos combustíveis fósseis têm levado à progressiva instalação de centrais renováveis.

Os Açores, para além de enfrentarem estes desafios, ainda acarretam os prejuízos derivados da insularidade no que toca aos custos de transporte dos combustíveis para a região e a distribuição dos mesmos entre ilhas. A dispersão e pequena dimensão dos sistemas elétricos de cada ilha não permite uma economia de escala que rentabilize os recursos.

A região apresenta um elevado potencial em recursos naturais aproveitáveis para a produção de energia limpa, sobretudo em energia geotérmica e energia eólica, que para além dos benefícios ambientais, trazem benefícios económicos e independência face ao exterior.

É de facto importante o uso das energias renováveis na região, no entanto, estas trazem alguns problemas técnicos que podem destabilizar as redes de distribuição e as suas configurações têm de ser muito bem planeadas.

Na ilha Terceira, onde se insere este estudo, com a introdução dos novos centros produtores planeados para os próximos anos, haverá energia sobrando devido principalmente ao reduzido consumo nos períodos da noite e madrugada e à instabilidade da energia eólica.

Neste trabalho, a elaboração de cenários da estrutura electroprodutora da ilha Terceira permitiu a observação diagramas de carga prováveis no futuro, com as diferentes fontes de energia, tendo em conta os consumos de eletricidade atuais, todavia, há ainda muitas incógnitas quanto ao sistema electroprodutor da ilha Terceira no futuro próximo. É essencial perceber a proveniência da energia elétrica nos próximos tempos e as potências respetivas, para que possam ser elaborados estudos com mais precisão.

Verificada a necessidade de armazenamento de energia e a viabilidade das centrais hídricas reversíveis como método eficaz de armazenamento, procedeu-se à escolha de locais para implementação de uma hipotética central hídrica reversível, no entanto, segundo O'Malley *et Tuohy* (2011), num artigo que analisa o funcionamento do sistema elétrico irlandês, com níveis muito altos de energia eólica, o armazenamento hídrico

## Capítulo 9 - Conclusões

reversível só se justifica quando a energia obtida a partir do vento, no total do sistema elétrico, é superior a 48%, devido aos elevados custos de capital e ineficiências do sistema. Desta forma, torna-se fundamental avaliar economicamente a exequibilidade de um projeto desta natureza, com os níveis de energia renovável (não só eólica) em excedente que ocorreram na ilha Terceira.

As localizações sugeridas recaíram sobre a zona junto da lagoa artificial do Cabrito, a zona da Nasce Água e Serra do Morião, a zona junto da lagoa artificial das Cinco Ribeiras e a zona da Ponta da Serreta, e tiveram por base só os critérios de existência prévia de um dos reservatórios e declive acentuado. Em futuros trabalhos, devem ser ponderados outros locais, tendo em conta estes e outros critérios de seleção.

Dos locais escolhidos, o que apresenta uma maior queda bruta é o da zona da Nasce Água – Serra do Morião (396 m) e o que apresenta uma menor queda é do da zona das Cinco Ribeiras (175), todavia, todos os locais apresentam quedas brutas totais apreciáveis para um projeto desta natureza.

O que exige um maior comprimento da(s) conduta(s) forçadas (em linha reta) é o da zona do Cabrito (2490 m) e o que exige um menor comprimento é o da zona das Cinco Ribeiras (1104 m).

Os projetos realizados nas zonas do Cabrito, Cinco Ribeiras e Serreta exigem a construção de apenas um reservatório, o reservatório superior, no entanto, se o projeto for realizado na zona da Nasce Água, exigirá a construção dos dois reservatórios.

Da análise feita no dimensionamento dos reservatórios, observa-se que em 7 vezes das 20 análises, o volume diário deslocado do projeto das Cinco Ribeiras seria maior que o volume da lagoa artificial das Cinco Ribeiras, e que em 4 vezes das 20 análises, o volume diário deslocado do projeto localizado na zona do Cabrito seria maior que o volume da lagoa artificial do Cabrito.

Embora estas análises representem um universo muito pequeno de dados, demonstram que é preciso aprofundar o estudo da viabilidade de utilização destes reservatórios já construídos, ponderando os benefícios económicos e a contribuição eficaz para um projeto destes.

No caso da Serreta, a utilização do mar como reservatório inferior seria vantajosa por não ter de se construir um dos reservatórios e o volume de armazenamento inferior não interessar para o caso, mas esta é uma situação que ainda não está muito testada e avaliada,

## Capítulo 9 - Conclusões

havendo só um caso que utiliza esta tecnologia, e que embora tenha tido sucesso, não valida que ocorra o mesmo nos Açores. No entanto, com a implementação deste projeto, os Açores poderiam tornar-se pioneiros no estudo deste tipo de sistemas utilizando a água do mar e tornar-se uma referência a nível mundial.

Segundo Christakis *et al.*, (2013) com a tecnologia atual, com a seleção do local correto e com o posicionamento adequado dos componentes do sistema hídrico reversível utilizando água do mar, todas as questões técnicas podem ser superadas, e a central de Okinawa oferece informações valiosas para o sucesso de sistemas similares.

Confrontando as zonas escolhidas com alguns instrumentos de planeamento e gestão territorial, verificou-se que em parte ou integralmente, são condicionadas por estes instrumentos.

A zona do Cabrito acolhe vários planos como o Plano Sectorial da Rede Natura 2000 para a Região Autónoma dos Açores, o Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Proteção da Biodiversidade e o Plano de Medidas Preventivas Aplicáveis na Área Abrangida pela Bacia Hidrológica da Caldeira Guilherme Moniz/Pico Alto, na ilha Terceira.

A zona da Serreta também encontra-se amplamente condicionada, essencialmente pelo Plano Sectorial da Rede Natura 2000, localizando-se parte do projeto em Zona de Especial Conservação.

Todas as zonas têm pelo menos uma parte da sua localização salvaguardada por pelo menos um dos planos analisados.

Para além destes planos, existem outros que não foram alvo de estudo neste trabalho e que podem acarretar outras condicionantes não abordadas.

Quanto ao património classificado na zona da Nasce Água, caso se venha a desenvolver um projeto neste local, devem ser tomadas medidas de proteção dos bens logo desde o início do projeto, de forma a salvaguarda-los ao longo de todo o processo.

Quanto ao possível património cultural não classificado, como não há diplomas de proteção dos locais, perante a lei, não há condicionantes quanto a esta matéria, no entanto, um estudo preliminar poderá ser realizado (na Nasce Água e Serra do Morião), tendo em conta a recente evolução do caso do Complexo Megalítico da Grota do Medo.

## Capítulo 9 - Conclusões

Verificou-se que a escolha dos diâmetros internos das condutas forçadas tem de ser feita criteriosamente, uma vez que uma pequena diferença de diâmetro faz toda a diferença nas perdas de carga do sistema.

A escolha dos diâmetros das condutas terá de ser feita não só com base nos dados técnicos do projeto, mas também com base numa análise económica.

As bombas e as turbinas são os equipamentos mecânicos mais importantes do projeto e exigem uma grande apreciação. O método utilizado para a escolha dos intervalos de potências a que deveriam corresponder as bombas e turbinas, necessita ser complementado com outras análises tanto para o correto dimensionamento como na escolha dos fabricantes, tendo em vista as dificuldades de manutenção agravadas pela insularidade da região.

A opção por um sistema de duas condutas forçadas facilita a operação do sistema, tendo em conta que podem ocorrer períodos onde há energia em excesso resultante da energia eólica que não pode entrar na rede para não a destabilizar, mas ao mesmo tempo é necessário colmatar o uso da energia térmica que pode ser reduzido com a introdução de energia hídrica reversível. Com as duas condutas é possível turbinar e bombear água ao mesmo tempo e responder de melhor forma às exigências da rede usando mais energias renováveis. A desvantagem desta opção pode estar nos custos de construção. É necessário ponderar os benefícios da utilização de duas condutas para uma melhor resposta às exigências da rede, com os custos daí provenientes, em comparação com um sistema de uma só conduta.

Em projetos futuros é necessário fazer um estudo económico, essencial à tomada de decisões, e é igualmente necessário um estudo técnico mais aprofundado, com mais certezas quanto ao futuro do sistema electroprodutor da ilha Terceira, de forma a que não seja colocado em causa o abastecimento de eletricidade à população.

## 10. Referências Bibliográficas

Agrotec, (2014). *Conferência: Trabalhos de Biologia nas Albufeiras de Alqueva e Pedrógão*. Acedido em: <http://agrotec.pt/conferencia-trabalhos-de-biologia-nas-albufeiras-de-alqueva-e-pedrogao/>, a 29 de Outubro de 2014.

Ambiente online (2013). *Açores com central hídrica reversível para armazenar energia*. Acedido em: <http://www.ambienteonline.pt/canal/detalhe/acoes-com-central-hidrica-reversivel-para-armazenar-energia>, a 13 de Outubro de 2014.

As boas novas, (2009). *Alemães querem abastecer ilha de Açores com energia limpa*. Acedido em: [http://asboasnovas.com/biosfera/alemaes\\_querem\\_abastecer\\_ilha\\_de\\_acores\\_com\\_energia\\_limpa/](http://asboasnovas.com/biosfera/alemaes_querem_abastecer_ilha_de_acores_com_energia_limpa/), a 9 de Setembro de 2014.

Castro R., (2009). *Energias Renováveis e Produção Descentralizada – Introdução à Energia Eólica*. Universidade Técnica de Lisboa, Edição 4.

Christakis D., Katsaprakakis D., Stefanakis I., Spanos P., Stefanakis N., (2013). Technical details regarding the design, the construction and the operation of seawater pumped storage systems. *Energy*. Vol. 55, pp. 619–630.

Comissão europeia, (2008). *Combater as alterações climáticas*. Acedido em: <http://ftp.infoeuropa.euroid.pt/files/database/000041001-000042000/000041956.pdf>, a 14 de Abril de 2014.

Comunicação Pessoal de Mário Mendes, (2014). Engenheiro Eletrotécnico da EDA S.A.

ConsumersEnergy, (2014). *Ludington Pumped Storage*. Acedido em: <http://www.consumersenergy.com/content.aspx?id=6985>, a 24 de Maio de 2014.

Correia P., Ferreira de Jesus J., Lemos J., (2014). Sizing of a pumped storage power plant in S. Miguel, Azores, using stochastic optimization. *Electric Power Systems Research*,

## Capítulo 10 – Referências bibliográficas

Vol. 112, pp. 20–26.

Deane J., Ó Gallachóir B., McKeogh E., (2010). Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14, pp. 1293–1302.

EDA, (2006). *EDA Informa n.º 96*. Acedido em: [http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Lists/EDAINFORMA/Attachments/1354/EDA\\_INFORMA\\_94\\_MAI%202006.pdf](http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Lists/EDAINFORMA/Attachments/1354/EDA_INFORMA_94_MAI%202006.pdf), a 11 de Fevereiro de 2014.

EDA, (2012). *Maximização de Produção de Energia Elétrica com origem em Fontes Endógenas da Ilha Terceira – Impacto no Sistema Electroprodutor*.

EDA, (2013). *Caraterização das Redes de Transporte e Distribuição de energia Elétrica da Região Autónoma dos Açores – Situação em 31 de Dezembro de 2012*. Acedido em: <http://www.eda.pt/EDA/DocsDistribuicao/CARE%202012.pdf>, a 5 de Fevereiro de 2014.

EDA Renováveis a, (2014). *Produção de Energia - Parque Eólico Serra do Cume – Terceira*. Acedido em: <http://www.eda.pt/EDA/DocsProducao/Centrais%20E%C3%93licas%20-%20Terceira.pdf>, a 5 de Setembro de 2014

EDA Renováveis b, (2014). *Produção de Energia - Centrais Hídricas – Terceira*. Acedido em: <http://www.eda.pt/EDA/DocsProducao/Centrais%20H%C3%ADdricas%20-%20Terceira.pdf>, a 5 de Setembro de 2014

EDP, (2008). *Aproveitamentos hidroelétricos reversíveis nas ilhas de São Miguel e Terceira – Avaliação técnica preliminar de potencialidades*.

Energias de Portugal, (2013). *Parques Eólicos em Portugal*. Acedido em: [http://e2p.inegi.up.pt/relatorios/Portugal\\_Parques\\_Eolicos\\_201312.pdf](http://e2p.inegi.up.pt/relatorios/Portugal_Parques_Eolicos_201312.pdf), a 16 de Abril de 2014.

## Capítulo 10 – Referências bibliográficas

Decreto Regulamentar Regional nº 1/2005/A de 15 de Fevereiro. *Diário da República*, 1.ª série B— N.º 32.

Decreto Legislativo Regional nº 20/2006/A de 6 de Junho. *Diário da República*, 1.ª série A — N.º 109.

Decreto Legislativo Regional nº 15/2010/A de 9 de Abril. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 69.

Decreto Legislativo Regional nº 11/2011/A de 20 de Abril. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 78.

Decreto Legislativo Regional nº 15/2012/A de 2 de Abril. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 66.

Despacho normativo nº 65/2011, de 17 de Agosto. *Jornal Oficial da Região Autónoma*, 1ª Série – N.º 122.

Diário Insular, (2014). *Grota do Medo deve ser estudada*. Edição nº 21321 de 17 de Outubro de 2014.

Félix P., (2011). *Otimização do Dimensionamento de Projetos de Mini-Hídricas*. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Foleya A., Leahy P., Lic K., McKeogh E., Morrison A., (2014). A long-term analysis of pumped hydro storage to firm wind power. *Applied Energy*. In press.

FUTURELAB, (2007). *The Renewable Electron Economy Part VII: Stationary Energy Storage - Key to the Renewable Grid*. Acedido em: <http://www.futurelab.net/blog/2007/10/renewable-electron-economy-part-vii-stationary-energystorage%C3%A2%C2%80%C2%A6key-renewable-grid>, a 24 de Outubro de 2014.

Google Earth, (2014). Acedido a 17 de Agosto, 13 de Setembro e 25 de Outubro de 2014.

## Capítulo 10 – Referências bibliográficas

Governo Regional dos Açores (2007). *Primeira central termoelétrica autónoma dos Açores inaugurada no Corvo*. Acedido em: <http://www.azores.gov.pt/Portal/pt/temas/cidadao/Energia/Primeira+central+termoel%C3%A9trica+aut%C3%B3noma+dos+A%C3%A7ores+inaugurada+no+Corvo.htm?mode=category>, a 16 de Setembro de 2014.

Henneberger *et al.*, (2004). Pico Alto, Terceira, A New Geothermal Field in the Azores. *Geothermal Resources Council Transactions*. Vol. 28.

Instituto Nacional de Estatística, (2014). *Censos - Resultados definitivos. Região Autónoma dos Açores – 2011*. Acedido em: [http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacoes](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacoes), a 16 de Agosto de 2014.

Jornal Água & Ambiente, (2013). *Centrais de Valorização Energética dos Açores a funcionar em 2015*. Edição de Junho de 2013.

Junjie F., Ming Z., Song X., Zhijie W., Xiaoli Z., Yuejin W., (2013). Development of China's pumped storage plant and related policy analysis. *Energy Policy*. Vol. 61, pp. 104–113.

Kooning J., Meersman B., Zwaenepoel B., Vandoorn T., (2014). Control of storage elements in an islanded microgrid with voltage-based control of DG units and loads. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Vol. 64, pp. 996–1006.

Licença Ambiental nº 5/2008/DRA – Governo Regional dos Açores, Licenças ambientais emitidas – Atividade: Produção de Energia.

Lima P., (1999). *Guide Atlantique*. Acedido em: <http://www.guideatlantique.com/spip.php?rubrique1&lang=fr>, a 3 de Setembro de 2014.

Lu L., Ma T., Yang H., Peng J., (2014). Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong. *Renewable Energy*, Vol. 69, pp. 7–15.

## Capítulo 10 – Referências bibliográficas

Manfrida G., Secchi R., (2014). Seawater pumping as an electricity storage solution for photovoltaic energy systems. *Energy*. Vol. 69, pp. 470–484.

Metaloespo, (2011). *Aproveitamento hidroelétrico de Agilde*. Acedido em: [http://metaloespo.pt/obras.php?pageNum\\_rsObras=1&totalRows\\_rsObras=14&id\\_obra=29](http://metaloespo.pt/obras.php?pageNum_rsObras=1&totalRows_rsObras=14&id_obra=29), a 19 de Outubro de 2014.

Na minha ilha, (2014). Acedido em: <http://servicos-sraa.azores.gov.pt/naminhailha/>, a 17 de Agosto de 2014.

O'Malley M., Tuohy A., (2011). Pumped storage in systems with very high wind penetration. *Energy Policy* Vol. 39, pp. 1965–1974,

Oliveira A., (2008). *Recuperação de energia hidráulica em sistemas de distribuição de água – O uso de bombas a funcionar como turbinas*. Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em hidráulica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Parlamento Europeu, (2008). *Pacote clima-energia: "três vintes" até 2020*. Acedido em: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//PT>, a 15 de Maio de 2014.

Pereira A., (2009). *Avaliação de Impacte Ambiental no Armazenamento Energético por Bombagem de Água - Comparação entre o Uso de Água Doce e de Água Salgada na Ilha de São Miguel*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Ponte C., (2012). *Modelação de Sistema de Armazenamento por Bombagem de Água em São Miguel*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Projeto STORIES, (2014). *Aumento da Penetração de Fontes de Energia Renovável em Ilhas*. ROADMAP.

## Capítulo 10 – Referências bibliográficas

Região Autónoma dos Açores, (2014). *Plano Regional Anual 2015*. XI Governo Regional dos Açores. DRPFE 14/2014.

Resolução do Conselho do Governo n.º 123/2011, de 19 de Outubro. *Jornal Oficial da Presidência do Governo dos Açores, 1ª Série – N.º 146*

Resolução da Assembleia Legislativa da Região Autónoma dos Açores n.º 26/2014/A, de 23 de Outubro. *Diário da República, 1ª Série - N.º 205*

SIARAM (Sentir e Interpretar o Ambiente dos Açores), (2014). *Informação Genérica sobre a ilha Terceira*. Acedido em: <http://siaram.azores.gov.pt/geografia/terceira/informacao-generica.html>, a 13 de Outubro de 2014.

Sistema Regional de Informação Territorial, (2014). Acedido em: <http://sig-sraa.azores.gov.pt/>, a 2 de Outubro de 2014.

SREA (Serviço Regional de Estatística dos Açores), (2014). *Principais indicadores estatísticos – Energia*. Acedido em: [http://estatistica.azores.gov.pt/Conteudos/Relatorios/lista\\_relatorios.aspx?idc=308&idsc=1786&lang\\_id=1](http://estatistica.azores.gov.pt/Conteudos/Relatorios/lista_relatorios.aspx?idc=308&idsc=1786&lang_id=1), a 2 de Fevereiro de 2014.

Teixeira F., (2012). *O Papel da Geração Hídrica Reversível na Integração da Energia Eólica em Ambiente de Mercado*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica – ramo de Energia. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

TERAMB (Empresa Municipal de Gestão e Valorização Ambiental da Ilha Terceira), (s.d.). *Memória Descritiva e Justificativa relativa ao Estudo Prévio referente ao Projeto de Reordenamento do Aterro Intermunicipal da Ilha Terceira e Valorização Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos do Grupo Central e Ocidental*.