



# Avaliação de oportunidades de melhoria da eficiência energética num sistema de trigeriação

**RITA MARGARIDA DA SILVA FERREIRA**

Novembro de 2016

**Departamento de Engenharia Química**

Mestrado em Engenharia Química

Ramo Otimização Energética na Indústria Química

## **Avaliação de oportunidades de melhoria da eficiência energética num sistema de trigeriação**

Rita Margarida Silva Ferreira

Novembro, 2016

Orientadores:

ISEP: Engenheiro Luís Silva

Empresa: Engenheiro Paulo Amado



## Agradecimentos

A realização desta tese de mestrado contou com importantes apoios e incentivos com os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grata.

Em primeiro lugar quero agradecer aos Engenheiro Rui Borges e Carlos Prieto pela oportunidade que me deram ao aceitarem a realização desta tese na central de cogeração.

Ao Engenheiro Paulo Amado por me ter orientado e proporcionado todas as condições para a elaboração da minha tese. Agradeço também a sua simpatia e disponibilidade.

Do ISEP, ao meu orientador, Engenheiro Luís Silva, agradeço a disponibilidade, apoio e partilha de saber, e as valiosas contribuições para este trabalho.

Ao diretor do Mestrado em Engenharia Química, Engenheiro Alfredo Crispim, pelo enorme esforço em encontrar uma tese que se adequasse aos meus objetivos e que enriquecesse a minha formação académica.

Aos restantes colaboradores da empresa, pelo à vontade com que me receberam e pela grande disponibilidade para me ajudar quando foi necessário.

Ao Pedro, um agradecimento especial pelo apoio, pela transmissão de confiança e força em todos os momentos e pela paciência sem limites de me ouvir nos momentos mais exigentes.

À Sara, minha colega de mestrado, e acima de tudo grande amiga, que esteve sempre ao meu lado durante esta fase, pelo companheirismo e força nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, que à maneira deles me acompanharam ao longo desta etapa, e me apoiaram e ajudaram sempre que precisei.

À minha família, em especial à minha Mãe e aos meus Irmãos João e Miguel, um enorme obrigado por acreditarem sempre em mim e naquilo que faço. Espero que esta etapa, que agora terminou, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que, constantemente, me oferecem. A eles dedico todo este trabalho.

O meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta tese, estimulando-me intelectual e emocionalmente.



## Resumo

A crise atual tem tido o mérito de despertar as consciências no sentido do uso mais racional da energia, conduzindo assim à utilização de tecnologias de otimização energética. É neste contexto que surge a cogeração/trigeração. Esta tecnologia é uma das mais utilizadas a nível industrial como forma de combate ao desperdício de energia.

Esta tese de mestrado teve como objetivo o estudo de oportunidades de poupança de energia de um sistema de trigeração de um hospital e se possível minimizar as perdas existentes através da implantação de um depósito de água quente adicional na instalação.

Neste documento encontra-se descrito o processo de cogeração/trigeração, a situação da cogeração em Portugal, os vários tipos de sistemas de cogeração e trigeração que se encontram atualmente no mercado, uma pequena apresentação da instalação em estudo, os resultados obtidos, a análise económica para o novo projeto e conclusões.

Após a análise do problema, verificou-se que, em períodos em que o tarifário elétrico é menos bem remunerado e só funciona um motor de combustão, a produção de energia térmica é insuficiente para satisfazer as necessidades de água quente e de frio no processo. Assim, a caldeira de água quente tem de ser acionada e a produção de água fria não é suficiente somente através do chillers de absorção sendo necessário ligar o chiller elétrico. Sendo estes aparelhos auxiliares à trigeração, onera os custos de gás natural e eletricidade de toda a central aquando da sua utilização.

Optou-se por analisar dois meses distintos do ano, janeiro e junho e identificar o que os distingue.

Em janeiro, a excessiva necessidade de água quente por parte do hospital, levou a que fosse necessário utilizar a caldeira auxiliar de água quente. Em contrapartida, no mês de junho, a caldeira nunca foi ligada. Em janeiro, a caldeira produziu um caudal médio de 159,9m<sup>3</sup>/h e 437,7 MWh de energia.

Uma vez que o período em que a caldeira está ligada é muito variável, havendo dias em que está ligada 24 horas, seria preciso um depósito com um volume exorbitante para fornecer calor equivalente ao produzido pela caldeira durante 24 horas de funcionamento. Desta forma optou-se por atribuir diferentes volumes ao novo depósito e calcular custos de investimentos e poupança de energia. Os volumes escolhidos foram 30m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup>, 90m<sup>3</sup> e 150m<sup>3</sup>, e irão ser poupado 6,8MWh, 13,6MWh, 20,5MWh e 34 MWh por mês, respetivamente, resultantes de uma proporcionalidade direta entre grandezas

Quanto ao chiller elétrico, calculou-se a quantidade de energia que este removeu de uma corrente de água em janeiro e junho, nomeadamente 420,68 GJ e 598,15 GJ respetivamente. Assim, calculou-se qual o volume médio diário de água que foi necessário para o chiller retirar essa energia, obtendo-se volumes de 2234,3 m<sup>3</sup> e 2647,4 m<sup>3</sup> para janeiro e junho respetivamente. Depois calculou-se o volume médio diário de água quente que alimentou o CHAS. Os valores calculados foram 421,62 m<sup>3</sup> em janeiro e 1344,15 m<sup>3</sup> em junho.

Desta forma, foi possível calcular o volume médio diário do novo depósito, tendo em consideração os volumes médios diários dos dois chillers. Para janeiro obteve-se um volume de 826 m<sup>3</sup> e para junho de 1739 m<sup>3</sup>. Uma vez que se tratam de volumes muito elevados, optou-se pela mesma estratégia já utilizada anteriormente e atribuiu-se volumes diferentes e calculou-se a poupança de eletricidade para cada um deles.

Em janeiro obteve-se uma poupança de 2,5 MWh, 4,9 MWh, 7,4 MWh e 12,3 MWh e para junho, de 2,5 MWh, 5 MWh, 7,5 MWh e 12,5 MWh para os volumes de 30, 90, 60 e 150 m<sup>3</sup> respetivamente

Pode-se observar que em ambos os meses a poupança foi muito semelhante, no entanto em junho foi ligeiramente mais elevada. Isto deve-se a que, como nesta época do ano existe uma temperatura ambiente mais elevada, a água fria que retorna do hospital para ser novamente arrefecida está a uma temperatura mais elevada, o que implica uma maior remoção de energia por parte do CHC para enviar esta corrente de novo para o hospital com a temperatura necessária.

Depois disto foi proposto um investimento para este projeto dependendo do volume do depósito escolhido e calculado o seu *payback time*. Desta forma, calculou-se o investimento de 80 k€ para o projeto com depósito de 30 m<sup>3</sup> e que irá ter um *payback time* de 261,8 meses, 123 k€ para o de 60 m<sup>3</sup> com *payback time* de 200,4 meses, 166 k€ para 90 m<sup>3</sup> com *payback time* de 179,8 meses e por fim, 250 k€ para 150 m<sup>3</sup> com *payback time* de 163,4 meses.

Chega-se por fim à conclusão que o depósito com maior capacidade é aquele que apresenta menor período de amortização e por isso o de maior viabilidade económica. No entanto a instalação não possui área disponível capaz de suportar um depósito com um volume tão elevado. Desta forma a escolha mais acertada recai sobre o depósito de 60 m<sup>3</sup> uma vez que possui um período de amortização mais baixo do que o depósito de menor volume e satisfaz a restrição de espaço existente nas instalações da centra

**Palavras chave: Cogeração, trigeração, otimização.**

## Abstract

The current crisis has had the merit of awakening consciences towards a more rational use of energy, thus leading to the use of energy optimization technologies. It is in this context that cogeneration/trigeneration appears. This technology is one of the most used industrial level in order to combat energy waste.

This master's degree thesis was aimed to the study of energy saving opportunities of a trigeneration system of an hospital and if possible reduce existing losses through the deployment of an additional hot water tank inside the facility. In this document is described the process of cogeneration/trigeneration, the situation of cogeneration in Portugal, the various types of cogeneration and trigeneration systems which are currently on the market, a short presentation of the facility in study, results, economic analysis for the new project and conclusions. After analyzing the problem, it was found that in periods when the electricity tariff is less well paid and it only works one combustion engine, the thermal energy production is insufficient to meet the hot and cold water needs in the process. So, the hot water boiler must be activated and the cold water production is not sufficient only by absorption chillers, being necessary to enable the electric chiller. Being these auxiliary devices to trigeneration, charged on natural gas and electricity costs throughout the usage. It was decided to analyze two different months of the year, January and June and identify what distinguishes them.

In January, the excessive need of hot water from the hospital, led it to it being necessary the use of the auxiliary hot water boiler. In contrast, in June, the boiler was never on. In January, the boiler produced an average flow of 159,9m<sup>3</sup>/h and 437,7 MWh of energy.

Since the period in which the boiler is on is variable, with days that it is on 24 hours, it would require a deposit with a very large volume to provide equivalent heat produced by the boiler 24 hours of operation. Thus it was decided to assign different volumes to the new deposit and calculate investment costs and energy savings. The chosen volumes were 30m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup>, 90m<sup>3</sup> and 150m<sup>3</sup>. and it will be saved monthly 6,8MWh, 13,6MWh, 20,5MWh and 34 MWh, resulting from a direct proportionality between magnitudes. After this, it was proposed an investment for this project depending on the chosen deposit volume and calculated their payback time.

As for the electric chiller, the amount of energy it removed from a stream of water in january na june, was calculated as 420,68 GJ e 598,15 GJ respectively. It was calculated the average daily volume of water that was necessary for the chiller to withdraw this energy, obtaining volumes of 2234,3 m<sup>3</sup> and 2647,4 m<sup>3</sup> for january na june respectively.



It was calculated the daily volume of hot water that fed CHAS. The calculated values were 421,64 m<sup>3</sup> in January and 1344,15m<sup>3</sup> in June.

It was possible to calculate the average daily volume of the new hot water tank, taking into account the average daily volumes of the two chillers. For January was obtained a volume of 826,32 m<sup>3</sup> and for June of 1739,22 m<sup>3</sup>. Since they are very high volumes, I use the same strategy that was used previously and assign different volumes to the new deposit and calculated the electricity saving by the new hot water tank.

In January, savings of 2,5 MWh, 4,9MWh, 7,4 MWh and 12,3 MWh and for June 2,5 MWh, 5MWh, 7,5MWh e 12,5MWh. were achieved for volumes of 30, 60, 90 and 150 m<sup>3</sup> respectively.

It can be observed that in both months the saving was very similar, however in June was slightly higher. This is because, as there is a higher ambient temperature at this time of year, the cold water returning from the hospital to be cooled again is at a higher temperature, which implies a greater withdrawal of energy by the CHC to send this back to the hospital with the necessary temperature.

So, it was calculated an investment of 80 k€ for the project with deposit of 30 m<sup>3</sup> and it will have a 261,8 months of *payback time*, 123 k€ for the 60 m<sup>3</sup> with a *payback time* of 200,4 months, 166 k€ for 90 m<sup>3</sup> with 179,8 months of *payback time* and finally 250 k€ to 150 m<sup>3</sup> with a *payback time* of 163,4 months.

Getting finally to the conclusion that the deposit with the greater capacity is the one that has the shorter amortization period and therefore the greater economic viability. However the facility. Does not have available space capable of supporting a deposit with such a high volume. In this way, the most appropriate choice is to recharge the 60 m<sup>3</sup> deposit as it has a lower amortization period and being also mentioned that this solution meets the existing space restrictions at the plant site.

**Key-words: cogeneration, trigeneration, optimization**

# Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Nomenclatura .....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Apresentação da empresa.....	1
1.2 Objetivo do trabalho.....	1
1.3 Enquadramento .....	1
1.4 Estrutura da tese .....	3
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1 Cogeração.....	5
2.2 Vantagens e Limitações.....	7
2.1.1 Vantagens .....	7
2.1.2 Limitações .....	9
2.3 Desenvolvimento histórico .....	9
2.4 Situação energética em Portugal .....	10
2.5 Cogeração em Portugal.....	10
2.6 Cogeração em hospitais em Portugal .....	12
2.7 Tecnologias de Cogeração/Trigeração .....	14
2.7.1 Tecnologias convencionais.....	14
2.7.1.1 Motores alternativos.....	14
2.7.1.2 Turbinas a gás.....	18
2.7.1.3 Turbinas a vapor .....	20
2.7.1.4 Ciclo combinado.....	21
2.7.2 Tecnologias emergentes .....	22
2.7.2.1. Microturbinas .....	22
2.7.2.2 Pilha de combustível .....	23
2.7.3 Vantagens e limitações dos diferentes sistemas de cogeração .....	24
2.7.4 Características operacionais dos diferentes sistemas de cogeração .....	26
2.7.5 Tecnologias de Trigeração .....	27
2.7.5.1 Unidades Produtoras de água refrigerada.....	27
2.7.5.1.1 Chiller elétrico e de absorção.....	28
2.7.5.1.2 Chiller de adsorção.....	30
3. Descrição de atividades /metodologia.....	33
4. Apresentação e discussão dos resultados.....	35

4.1	Apresentação e explicação da instalação .....	35
4.2	Oportunidade de melhoria .....	38
4.3	Apresentação dos resultados .....	40
4.3.1	Estudo da poupança de energia para a caldeira de água quente .....	41
4.3.2	Estudo da poupança de energia para o chiller elétrico.....	44
5.	Análise Económica .....	51
5.1	Gás Natural .....	51
5.2	Eletricidade.....	52
5.3	Investimento do projeto .....	54
5.4	Estudo do payback time do projeto.....	55
6.	Conclusão.....	57
7.	Bibliografia.....	59
	Anexos .....	61
	A – Dados recolhidos na central para o mês de janeiro e junho .....	61
	A.1. Permutador vapor/água 1 (PVAQ1)).....	61
	A.2. Permutador vapor/água 2 (PVAQ2)).....	62
	A.3. Circuito de água quente do PPAT - Energia excedente do CHAS .....	63
	A.4. Circuito de água quente do CHAS- Energia fornecida ao CHAS .....	64
	A.5. Circuito de água quente do PVCH- Energia do PVCH ao CHAS .....	65
	A.6. Circuito de água gelada do CHAS .....	66
	A.7. Circuito água gelada do CHAD.....	67
	A.8. Circuito água gelada do CHC .....	68
	A.9. Circuito de água quente- Ala Sul Nascente .....	69
	A.10. Circuito água quente- Ala Sul .....	70
	A.11. Circuito água quente- Ala Central.....	71
	A.12. Circuito água quente- Ala Norte.....	72
	A.13. Circuito água fria- Ala Sul Nascente .....	73
	A.14. Circuito água fria- Ala Sul .....	74
	A.15. Circuito de água fria- Ala Central.....	75
	A.16. Circuito água fria- Ala Norte.....	76
	B – Informação relativa à caldeira de água quente.....	77
	B.1. Características operacionais da caldeira de água quente (CAQ).....	77
	B.2. Valores lidos na central relativos ao funcionamento da caldeira e respetivos cálculos.....	79
	B.3. Cálculo da poupança por parte da caldeira.....	81
	C – Informação relativa ao chiller elétrico.....	83
	C.1. Características operacionais do chiller elétrico (CHC).....	83

C.2. Valores lidos na central relativos ao funcionamento do chiller e respetivos cálculos .....	84
C.3. Cálculo da poupança por parte do chiller elétrico .....	86
D – Cálculo do investimento e payback time .....	87
D.1. Cálculos relativos ao valor pago atualmente pela empresa em GN e o valor poupado pela adição do depósito .....	87
D.2. Cálculos relativos ao valor pago atualmente e ao poupado pela empresa em eletricidade .....	88
D.3. Investimento do projeto .....	89
D.4 Estudo do payback time do projeto .....	91



## Índice de figuras

Figura 2.1- Central de trigerção.....	6
Figura 2.2- Comparação dos rendimentos de um sistema de cogeração e de um sistema convencional de produção separada de eletricidade e calor.....	7
Figura 2.3- Comparação de eficiências - Cogeração/trigerção vs sistemas convencionais.....	8
Figura 2.4 - Produção de energia elétrica por cogeração em Portugal ao longo dos anos.....	11
Figura 2.5- Potência instalada em cogeração em Portugal.....	11
Figura 2.6 - Distribuição da cogeração por setor de atividade em Portugal.....	12
Figura 2.7-Centrais de cogeração existente em hospitais em Portugal.....	13
Figura 2.8- Esquema geral de funcionamento de um sistema de Cogeração com motor alternativo.....	15
Figura 2.9- Desenho esquemático de um motor de explosão e etapas do seu funcionamento.....	15
Figura 2.10-Funcionamento do motor Diesel.....	16
Figura 2.11-Diagramas (P,v) e (T,s) do ciclo Otto.....	17
Figura 2.12 - Diagramas (P,v) e (T,s) do ciclo Diesel.....	18
Figura 2.13-Funcionamento típico de um sistema com Turbina a Gás.....	19
Figura 2.14- Representação esquemática de uma turbina a gás.....	19
Figura 2.15 -Diagramas (P,v) e (T,s) do ciclo de Brayton.....	20
Figura 2.16- Funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor de contrapressão.....	21
Figura 2.17 - Funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor de condensação.....	21
Figura 2.18 -Ilustração de um esquema generalizado de um sistema de cogeração em ciclo combinado.....	22
Figura 2.19 -Esquema de um sistema de cogeração equipado com microturbina.....	23
Figura 2.20 - Representação de uma pilha de combustível.....	24
Figura 2.21-Esquema do princípio de um sistema de trigerção.....	27
Figura 2.22- Princípio básico de uma máquina de refrigeração por absorção (Chiller de efeito simples) e (Chiller de efeito Duplo) .....	28
Figura 4.1-Layout da instalação.....	36
Figura 4.2- Esquema representativo da implementação de DAAQ3.....	39

Figura 4.3-Energia enviada para o hospital de água quente em janeiro e junho.....	40
Figura 4.4- Energia enviada para o hospital de água gelada em janeiro e junho.....	41
Figura 4.5- Energia economizada (MWh) em função do volume do depósito. (m <sup>3</sup> ).....	43
Figura 4.6- Energia consumida pelos diferentes chillers presentes na instalação durante o mês de janeiro.....	44
Figura 4.7-- Energia consumida pelos diferentes chillers presentes na instalação durante o mês de junho.....	45
Figura 4.8- Calor diário fornecido ao CHAS através da corrente de água quente (AQ CHAS) e do PVCH (permutador de vapor do chiller).....	46
Figura 4.9- Energia economizada (kWh) em função do volume do depósito .....	49
Figura 5.1- Payback time (meses) vs Volume do depósito (m <sup>3</sup> ).....	55
Figura B.1 - Dados técnicos da caldeira de água quente com o modelo LRR50.....	75
Figura B.2-Dados técnicos da caldeira de água quente com o modelo LRR50.....	76
Figura C.1- Dados técnicos do chiller elétrico existente na instalação. ....	84
Figura C.2- Dados técnicos do chiller de absorção a água quente existente na instalação.....	85

## Índice de tabelas

Tabela 2.1- Rendimento, redução do consumo de energia e emissões de CO <sub>2</sub> evitadas pelas unidades de cogeração em hospitais portugueses no ano de 2014.....	13
Tabela 2.2 Vantagens e limitações dos vários sistemas de cogeração.....	25
Tabela 2.3- Características operacionais e custos típicos dos diferentes tipos de sistemas de cogeração.....	26
Tabela 2.4- Características dos Chillers de Absorção.....	29
Tabela 4.1- Energia economizada para os diferentes volumes de depósito.....	43
Tabela 4.2- Energia produzida pelo elétrico, massa e volume de água necessário para remover a mesma energia.....	46
Tabela 4.3- Energia fornecida ao CHAS nos dias em que o elétrico funcionou., massa e volume de água necessário para fornecer a mesma energia.....	47
Tabela 4.4- Volume necessário do novo tanque para fornecer o CHAS.....	47
Tabela 4.5- Horas poupadas ao chiller elétrico pela adição do novo depósito.....	47
Tabela 4.6- Energia poupada ao chiller.....	48
Tabela 5.1- Tarifas de gás natural.....	49
Tabela 5.2- Valores a pagar de gás natural para o mês de janeiro.....	49
Tabela 5.3- Valor poupado em função do volume do depósito.....	50
Tabela 5.4- Tarifas da eletricidade.....	50
Tabela 5.5- Valores a pagar de eletricidade em janeiro e junho.....	51
Tabela 5.6- Poupança para o janeiro.....	53
Tabela 5.7- Poupança para junho.....	53
Tabela 5.8 -Diferentes investimentos para a nova instalação.....	52
Tabela 5.9 Payback time do projeto.....	52
Tabela A.1- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 1.....	59
Tabela A.2- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 2.....	60
Tabela A.3- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 3.....	61
Tabela A.4- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 5.....	62
Tabela A.5 - Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 6.....	63
Tabela A.6-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 7.....	64
Tabela A.7 -Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 8.....	65



Tabela A.8-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 10.....	66
Tabela A.9-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 11.....	67
Tabela A.10-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 12.....	68
Tabela A.11-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 13.....	69
Tabela A.12-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 14.....	70
Tabela A.13-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 15.....	71
Tabela A.14-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 16.....	72
Tabela A.15-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 17.....	73
Tabela A.16-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 18.....	74
Tabela B.1- Dados relativos ao funcionamento da caldeira de água quente para o mês de janeiro.....	77
Tabela B.2- Valores calculados de caudal de água, potência e energia produzidos pela caldeira no mês de janeiro.....	79
Tabela D.1- Preço dos depósitos dependendo do seu volume.....	86
Tabela D.2- Investimento da instalação com depósito de 30m <sup>3</sup> .....	87
Tabela D.3- Investimento da instalação com depósito de 60m <sup>3</sup> .....	87
Tabela D.4- Investimento da instalação com depósito de 90m <sup>3</sup> .....	87
Tabela D.5- Investimento da instalação com depósito de 150m <sup>3</sup> .....	87

## Nomenclatura

AT	Alta temperatura
AQ	Água quente
BT	Baixa temperatura
CAQ	Caldeira de água quente
CCGT	Combined Cycle Gas Turbine
CHAD	Chiller de absorção de duplo efeito a vapor
CHAS	Chiller de absorção de água quente
CHC	Chiller elétrico
CHP	Combined Heat and Power
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CP	Calor específico
CR	Caldeira recuperativa
CVAUX	Caldeira de vapor auxiliar
DAAFI	Depósito acumulador de água fria de ida
DAAFR	Depósito acumulador de água fria de retorno
DAAQ	Depósito Acumulador de água quente
GN	Gás Natural
PCI	Poder calorífico inferior
PElétrica	Potência Elétrica
PIB	Produto Interno Bruto
PPAT	Permutador de placas de alta temperatura
PPBT	Permutador de placas de baixa temperatura
PPBTS	Permutador de placas de baixa temperatura secundário
PTérmica	Potência Térmica
PVAQ	Permutador de vapor de água quente
PVCH	Permutador de vapor do chiller
RE	Rendimento elétrico
REE	Rendimento elétrico equivalente
VAB	Valor Acrescentado bruto



## 1. Introdução

### 1.1 Apresentação da empresa

A empresa onde o projeto em estudo se insere apresenta uma grande experiência na área de gestão da energia em hospitais e serviços de saúde pública, designadamente através da cogeração e trigeriação, e todos os serviços técnicos das instalações e equipamentos que lhes estão associados.

### 1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo do trabalho desenvolvido foi a avaliar a oportunidade de poupança de energia de um sistema de trigeriação de um hospital e se possível minimizar as perdas existentes através da implementação de um depósito de água quente adicional na instalação. Com um tanque de armazenamento de “calor” consegue-se separar parcialmente a produção de eletricidade e o fornecimento de calor a um processo numa unidade combinada de produção de calor e potência.

Desta forma consegue-se fornecer calor a um custo inferior ao armazenar energia térmica nos períodos de baixo consumo e satisfazer as necessidades térmicas do processo quando a procura é elevada.

Ao libertar a unidade de produção combinada de calor e potência do fornecimento em proporção das duas formas de energia, consegue-se produzir mais eletricidade quando a energia entregue à rede é melhor remunerada e reduzir a produção quando a remuneração da mesma é menor.

Estas diminuições de perdas significariam grandes poupanças monetárias para a empresa, uma vez que os consumos que gás e eletricidade iriam diminuir.

### 1.3 Enquadramento

Hoje em dia colocam-se vários dilemas que preocupam a humanidade, por força do avanço tecnológico a que se junta a exigência em qualidade de vida das populações, sendo a problemática das alterações climáticas e a degradação do meio ambiente, dos mais importantes. Estes encontram-se intimamente relacionados com o consumo atual de energia e as formas de a obter. Assim, quanto maior for o

consumo energético, mais rapidamente se conduzirá à extinção de várias matérias-primas e conseqüente degradação do meio ambiente.

Para que o desenvolvimento sustentável seja possível, torna-se necessário racionalizar o consumo de energia procurando medidas de poupança e aumento de eficiência juntamente com a substituição de fontes de origem fóssil por fontes renováveis.

A necessidade de diminuir os consumos de energia, não só por questões financeiras, mas também por questões ambientais, fez com que fossem feitos esforços no sentido da implementação de sistemas de energias renováveis ou mesmo com rendimentos o quanto mais elevados possíveis.

Neste sentido, surge a cogeração / trigeriação pois esta aproveita a energia desperdiçada sob a forma de energia térmica, quando se produz trabalho ao veio num motor ou turbina aumentando desta forma o rendimento. A cogeração consiste na produção simultânea de energia elétrica e energia térmica através do mesmo combustível numa determinada instalação. Por sua vez a trigeriação é um processo alargado de cogeração produzindo eletricidade, calor e frio. [1]

A empresa em estudo fornece energia elétrica, vapor, água quente e água fria a um hospital através de um sistema de trigeriação, e apesar da poupança de energia já ser bastante elevada, pretende-se estudar possibilidades de diminuir ainda mais o desperdício desta.

A central de trigeriação é constituída por três motores de combustão interna a gás natural, que produzem eletricidade e fornecem energia térmica através da recuperação dos seus gases de escape e a partir dos circuitos de refrigeração do motor. Os gases de escape dos motores alimentam três caldeiras recuperativas que produzem vapor para o hospital.

Ao longo do dia, a central dissipa o excesso de energia térmica (calor) através de aroa-rrrefecedores, e o objetivo deste trabalho é encontrar uma possibilidade de armazenar essa energia, de maneira a que possa ser utilizada quando a central precisar durante o horário noturno em que apenas funciona um motor. Ou seja, ao longo do horário diurno a central consegue facilmente atingir as temperaturas que precisa para trabalhar eficientemente e produzir a quantidade de água quente e água fria que o hospital consome sem necessitar ligar máquinas auxiliares, nomeadamente a caldeira que água quente que irá consumir gás e o chiller elétrico que consome eletricidade. Durante o horário noturno isso já não acontece, o que

leva a que existam gastos adicionais de gás e eletricidade. Ao armazenar o calor desperdiçado ao longo do dia através dos aero-arrefecedores, e utilizando-o quando a central precisar, ir-se-á conseguir com que não seja necessário ligar a caldeira de água quente ou o chiller, ou pelo menos diminuir as horas em que estes estejam ligados e assim diminuir o consumo de gás e eletricidade por parte da central.

Uma maneira de impedir este desaproveitamento de energia é a implementação de um terceiro depósito de água quente que terá como função a acumulação do calor que é desperdiçado ao longo do dia.

O novo depósito (DAAQ3) estará ligado em série ao depósito de água quente já existente na central (DAAQ2 de 30m<sup>3</sup>). Assim que a temperatura do segundo diminua, o calor armazenado no novo depósito irá voltar a repor o nível térmico da água de DAAQ2, adiando ligar a caldeira para produzir água quente para o hospital e o chiller elétrico para produzir água gelada.

#### 1.4 Estrutura da tese

No capítulo 2, revisão bibliográfica, encontram-se os fundamentos teóricos descritos, de forma a sustentar todas as atividades desenvolvidas.

No capítulo 3, descrição de atividades/metodologias, encontram-se descritas todas as fases e metodologias utilizadas no decorrer deste trabalho.

No capítulo 4, apresentação e discussão dos resultados, são apresentados e discutidos os resultados e conclusões finais quanto à escolha do novo depósito. Neste capítulo é apresentada e explicada a instalação existente na central bem como a sugestão para o novo projeto.

No capítulo 5, análise económica, apresenta-se o investimento do novo projeto, bem como o payback time.

No capítulo 6, conclusões, são enumeradas as principais conclusões retiradas no final deste trabalho.



## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1 Cogeração

Os sistemas de cogeração são sistemas complexos e de alta tecnologia, capazes de tornar as indústrias mais competitivas e mais amigas do ambiente.

A cogeração é definida como sendo o processo em que há produção simultânea de energia térmica e elétrica, destinados a consumo próprio ou de terceiros, a partir de uma fonte de combustível. O calor produzido pode ser utilizado diretamente no processo industrial, bem como recuperado e convertido para utilização em aquecimento de espaços e/ou aquecimento de água.

A partir deste calor, através de um chiller, poderá ainda produzir-se frio, passando o processo a designar-se por trigeração. Na situação em estudo neste trabalho estamos perante este tipo de central.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 186/95, a cogeração é definida como: [2]

*“O processo de produção combinada de energia elétrica e térmica, destinando-se ambas a consumo próprio ou de terceiros, com respeito pelas condições previstas na lei”*

Normalmente, os consumidores compram separadamente a eletricidade e os combustíveis para alimentação de caldeiras às companhias distribuidoras. A cogeração apresenta uma alternativa, de elevada eficiência energética, que permite reduzir a fatura energética dos utilizadores com necessidades simultâneas de calor (água quente ou vapor) e eletricidade. [3]

Para uma melhor compreensão do funcionamento de uma central de trigeração, na figura 2.1 é apresentado um esquema, onde é produzido água quente, água fria e energia elétrica.





Figura 2.1- Central de trigerção. [1]

Neste tipo de central, a eletricidade é produzida a partir do trabalho do veio no motor, e a energia térmica é obtida através do aproveitamento térmico dos gases de combustão e da energia térmica libertada pelo motor durante o seu funcionamento.

As centrais termoelétricas convencionais convertem apenas 1/3 da energia potencial química do combustível em energia elétrica, enquanto o restante são perdas sob a forma de calor. As consequências que esses desperdícios trazem para o ambiente são óbvias a começar pela quantidade de CO<sub>2</sub> emitida por unidade de energia útil produzida.

Portanto, a necessidade de aumentar a eficiência do processo de produção de eletricidade é essencial e imperativa. Isto pode ser conseguido através da cogeração, na qual mais de 4/5 da energia do combustível é convertida em energia utilizável, resultando em benefícios financeiros e ambientais.

Na figura 2.2 vê-se a comparação entre um sistema de produção separada de eletricidade e calor e um sistema de produção por cogeração.

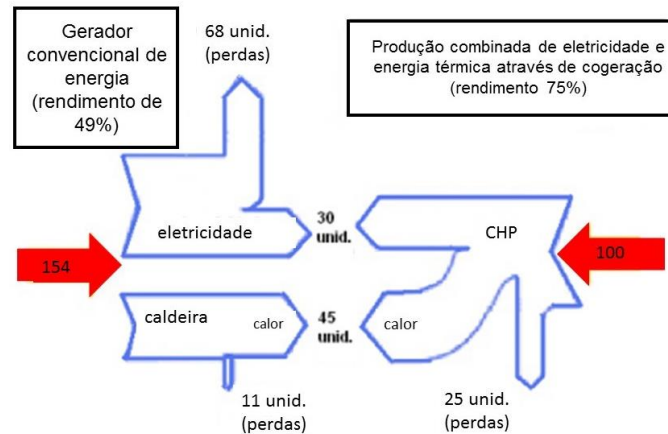


Figura 2.2- Comparação dos rendimentos de um sistema de cogeração e de um sistema convencional de produção separada de eletricidade e calor. [1]

A partir da imagem, observar-se que, a partir da mesma quantidade de combustível, os sistemas de cogeração/trigeração produzem, além de energia elétrica, energia térmica, o que não acontece num sistema tradicional. Como consequência deste ganho de eficiência, a quantidade de perdas diminui bastante, resultando em benefícios ambientais significativos, decorrentes da diminuição das emissões de gases de efeito de estufa.

## 2.2 Vantagens e Limitações

A cogeração representa uma alternativa de produção de eletricidade descentralizada, de elevada eficiência energética, que permite reduzir a fatura energética dos utilizadores com necessidades simultâneas de calor (água quente ou vapor) e eletricidade. No entanto também existem certas limitações (desvantagens) para este tipo de processos.

### 2.1.1 Vantagens

A cogeração consiste no aproveitamento do calor que de outra forma seria desperdiçado. Nesta, cerca de 75% da energia potencial contida no combustível pode ser utilizada de uma forma útil, o que permitirá reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, principal gás de efeito de estufa. Com a utilização de gás natural na cogeração, as emissões de partículas e de óxidos de enxofre é praticamente nula, uma vez que este é considerado o mais limpo dos combustíveis fósseis. Isto, para além das melhorias que são notórias, vai permitir uma maior preservação das reservas energéticas não renováveis. [1]

No setor terciário, a cogeração / trigeração já provou ser uma solução adequada para instalações como hotéis, hospitais, centros de lazer, piscinas, escolas, aeroportos,

hipermercados e grandes centros comerciais. Naturalmente que um sistema de cogeração é mais eficiente do que o sistema tradicional alternativo, de produção separada da mesma eletricidade e calor. Os sistemas de cogeração/trigeração requerem apenas cerca de 65% da energia primária necessária num sistema de produção separada. Como consequência deste ganho de eficiência, advêm benefícios ambientais significativos, decorrentes da diminuição das emissões poluentes por unidade de energia útil produzida. Na figura 2.3 compara-se a eficiência observada na cogeração/trigeração e num sistema de produção separada. [1]

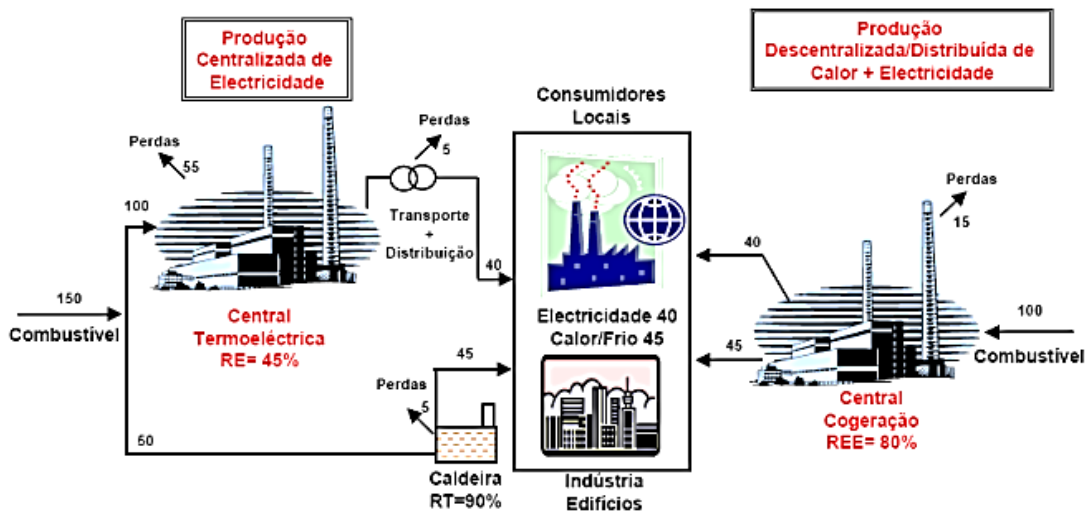


Figura 2.3- Comparação de eficiências - Cogeração/trigeração vs sistemas convencionais. [1]

Nesta figura destaca-se a grande vantagem da cogeração/trigeração face aos sistemas tradicionais, o rendimento. Aqui vemos que para uma central de cogeração obtém-se um rendimento elétrico equivalente, REE, na ordem dos 80% enquanto para um sistema tradicional o rendimento elétrico é de apenas 45%, cerca de metade do valor obtido por cogeração.

Além do referido, outros benefícios que a cogeração pode trazer são: [4]

- Elevada eficiência dos sistemas de conversão e utilização de energia;
- Possibilidade de utilização de variadas formas de combustível como a biomassa, fuelóleo, gás natural, gás propano, desperdícios industriais, lixo agrícola, etc.;
- Forma descentralizada de produção de energia, projetada para satisfazer as necessidades dos consumidores locais, com elevada eficiência, e com menores perdas no sistema de transporte e distribuição de energia;

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

- Mais segurança no abastecimento geral e local – a produção local de energia, através da cogeração, apresenta menos falhas no abastecimento de eletricidade e/ou calor aos consumidores;
- Redução da carga térmica rejeitada para o ambiente ao utilizar de forma mais eficiente a energia contida no combustível;
- Redução da dependência energética de terceiros;
- Possibilidade de venda à EDP de eventuais excedentes de eletricidade resultantes da produção simultânea de eletricidade e calor/frio;
- Redução do impacto ambiental associado à produção de energia elétrica;
- Melhoria do rendimento energético nacional e preservação das reservas de energias não renováveis;

### 2.1.2 Limitações

Não se pode afirmar que a cogeração/trigeração é um sistema perfeito. Apesar de todas as suas vantagens já enunciadas e demonstradas anteriormente, também este tem as suas limitações tal como qualquer outro sistema convencional, tais como: [1]

- A necessidade de efetuar estudos de viabilidade económica de modo a determinar até que ponto o investimento é rentável economicamente ou não.
- O investimento inicial elevado.
- Os lucros dependem do preço da eletricidade e do combustível utilizado e estes estão em permanente alteração.
- Problemas com poluição sonora e poluição gasosa local.

## 2.3 Desenvolvimento histórico

A cogeração apareceu nos finais de 1880 na Europa e E.U.A. No início do século XX a maior parte das indústrias gerava a sua própria eletricidade usando caldeiras em que o combustível era carvão e geradores para turbinas de vapor. Utilizavam também o vapor proveniente dos gases de escape nos processos industriais.

Estima-se que nos E.U.A., no início de 1900, da totalidade da energia produzida localmente em unidades industriais, 58% era resultante da cogeração. Quando começaram a ser construídas as centrais termoelétricas com infraestruturas de apoio dignas de confiança e os custos da eletricidade baixaram, muitas das indústrias começaram a comprar essa eletricidade deixando de a produzir. O resultado foi uma diminuição drástica do uso da cogeração na indústria americana. Outro fator que contribuiu para o declínio da cogeração industrial foi a regulamentação do sector

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

energético. Após a subida drástica do preço dos derivados do petróleo na década de 70 houve uma revitalização da cogeração. Sistemas eficientes de produção de energia que pudessem utilizar combustíveis alternativos tornaram-se mais importantes, face à subida do preço e incerteza de fornecimento dos derivados do petróleo. Adicionalmente à diminuição do consumo de derivados do petróleo, a cogeração resulta numa diminuição das emissões de gases poluentes. Por este motivo, os governos na Europa, E.U.A. e Japão estão a ter um papel ativo no aumento do uso da cogeração, através da aplicação de medidas que estimulem a sua implementação. [3]

## 2.4 Situação energética em Portugal

Portugal, do ponto de vista energético, é caracterizado por ter fraca produtividade energética, quando comparado com os restantes países europeus. Isto é normalmente medido através de um conjunto de indicadores energéticos, dos quais se destacam: [3]

- Intensidades energéticas do rendimento (nacional; industrial; sectorial);
- Consumos específicos da produção;
- Elasticidades do consumo de energia.

No sector terciário, tem-se verificado, nos últimos anos, um elevado crescimento na procura da energia final. Esta tendência tem vindo a agravar a intensidade energética deste sector, contribuindo este facto para os elevados consumos médios de energia final ( $\text{tep/m}^2$  ou  $\text{Watt/m}^2$ ) que se estão a verificar neste sector. É importante salientar que mais de 25% do consumo total de energia final, verificado nos grandes espaços comerciais, é atribuído à climatização dos locais. Normalmente, a forma de energia utilizada para esses fins é a eletricidade, que acrescenta todo um conjunto de inconvenientes próprios, como: [3]

- Preços elevados;
- Efeitos ambientais negativos (rendimentos da ordem dos 35%);
- Dependência de um monopólio do Estado; etc.

## 2.5 Cogeração em Portugal

Em Portugal, a cogeração foi introduzida no sector industrial nos anos 40, sendo que as primeiras instalações utilizavam turbinas de vapor para satisfazer as grandes necessidades de vapor de baixa pressão. No entanto, só na década de 90 é que a

cogeração veio a ter um crescimento significativo em termos de potência instalada e de energia produzida. [3]

No final da década de 90, foi introduzido em Portugal o gás natural e assim passaram a ser instalados motores de combustão interna de ignição controlada e turbinas, ambos alimentados a gás natural. [5]

A partir daí a produção de eletricidade, através de cogeração, aumentou progressivamente, o que pode ser comprovado através da análise da figura 2.4.

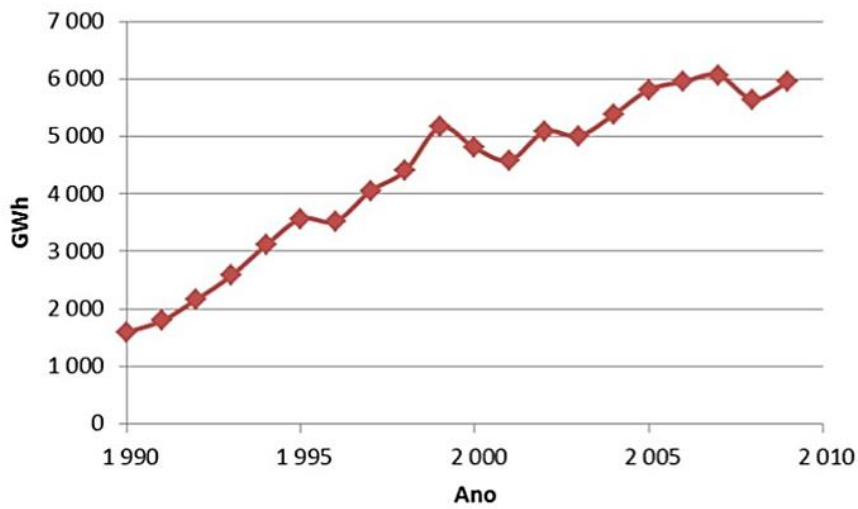


Figura 2.4 - Produção de energia elétrica por cogeração em Portugal ao longo dos anos. [6]

A cogeração a gás natural é a única que, atualmente, ainda se encontra em crescimento, enquanto as restantes mantêm uma tendência de estabilização. Atualmente em Portugal existem 166 unidades de Cogeração.

Em Portugal, como já referido anteriormente, nas últimas décadas assistiu-se a um aumento da potência instalada em cogeração. Este facto pode ser analisado através da figura 2.5.

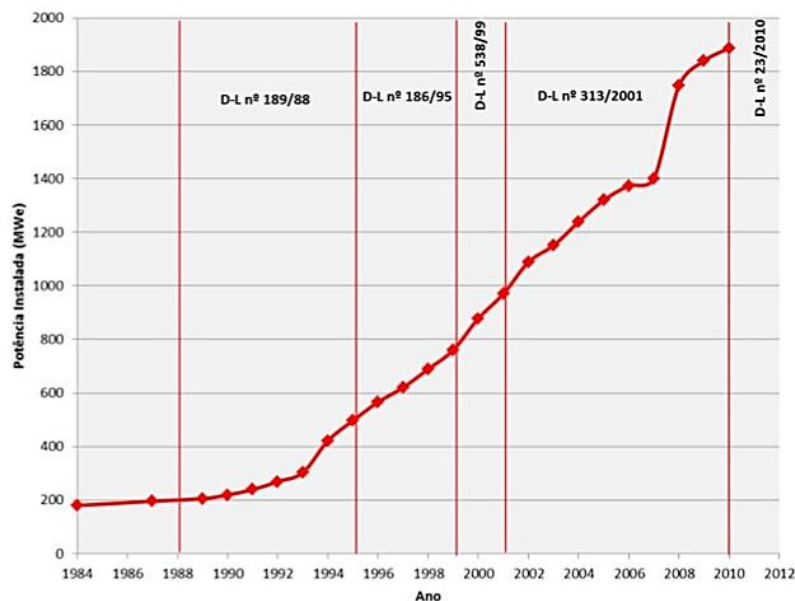


Figura 2.5- Potência instalada em cogeração em Portugal. [6]

A energia produzida nas centrais de cogeração é, na sua maioria, destinada a satisfazer as necessidades energéticas da indústria verificando-se apenas uma pequena penetração no sector dos serviços, como pode ser visto na figura 2.6.

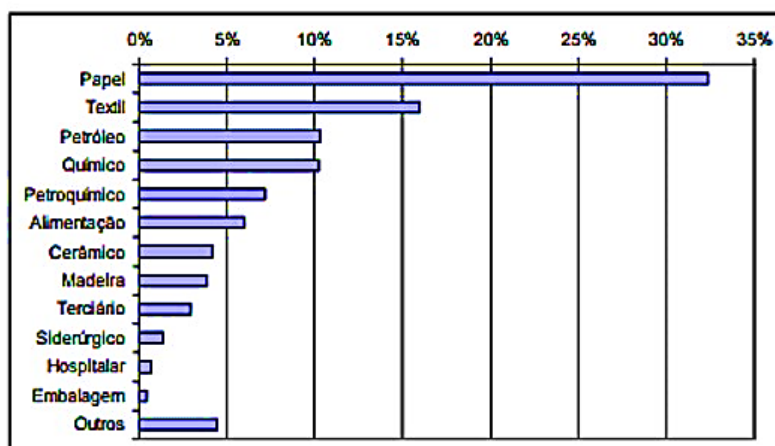


Figura 2.6 - Distribuição da cogeração por setor de atividade em Portugal. [5]

No contexto europeu, Portugal encontra-se aproximadamente na média da União Europeia, no que respeita à percentagem de eletricidade produzida em cogeração.

## 2.6 Cogeração em hospitais em Portugal

Como já falado anteriormente, a secção hospitalar ocupa apenas uma pequena percentagem das centrais de cogeração existentes em Portugal, no entanto este

trabalho aborda uma unidade de trigeração hospitalar e como tal torna-se importante abordar este assunto.

Entre 2002 e 2013 foram instaladas doze centrais de cogeração/trigeração em unidades hospitalares, como pode ser observado na figura seguinte.

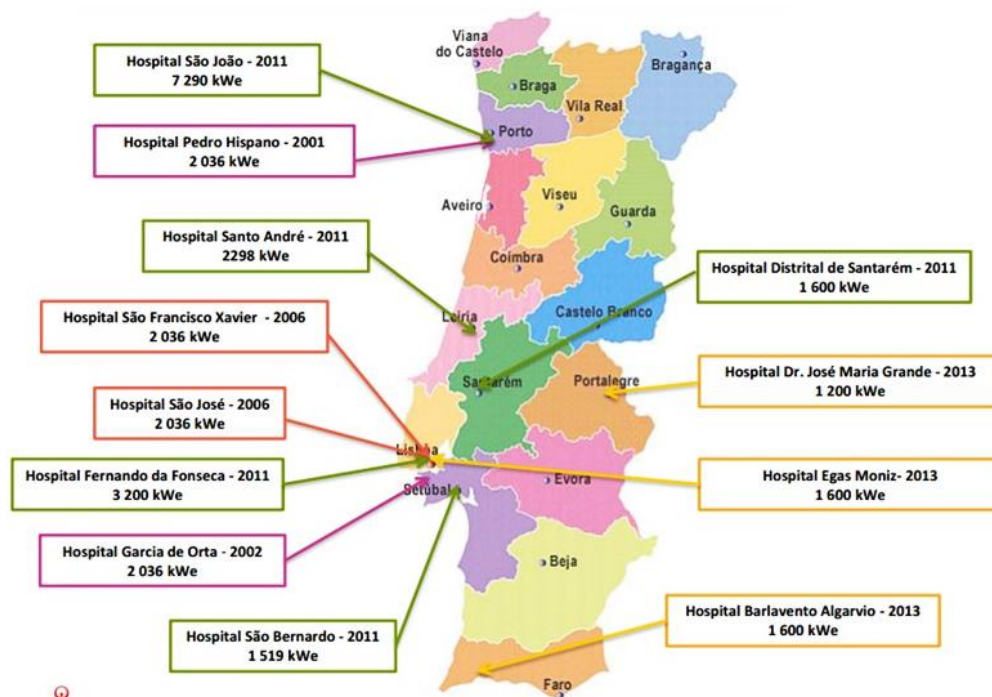


Figura 2.7-Centrais de cogeração existente em hospitais em Portugal. [7]

Apesar destas unidades hospitalares serem apenas uma pequena parte das existentes em Portugal, as reduções de consumos e de emissões de CO<sub>2</sub> obtidas após a implementação das centrais é bastante significativa.

Na tabela seguinte são apresentados os rendimentos, a redução dos consumos de energia (tep) e a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (ton) nos vários hospitais no ano de 2014.

Tabela 2.3- Rendimento, redução do consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pelas unidades de cogeração em hospitais portugueses no ano de 2014. [7]

Unidades de Cogeração	Rendimento (%)	Redução do consumo de energia (tep)	Emissões CO <sub>2</sub> evitadas (ton)
Hospital Pedro Hispano	74	1820	1240
Hospital Garcia da Horta	70	1860	3000
Hospital São Francisco Xavier	64	1640	1060
Hospital São José	65	600	750
Hospital São Bernardo	72	1160	890
Hospital Santo André	75	2170	1410
Hospital Fernando da Fonseca	76	3050	4560



<b>Hospital São João</b>	77	7630	10300
<b>Hospital Distrital Santarém</b>	66	900	460
<b>Hospital Barlavento Algarvio</b>	74	960	730
<b>Hospital Egas Moniz</b>	66	940	360
<b>Hospital Dr. José Maria Grande</b>	69	780	620

Em 2014, no total, obteve-se uma redução do consumo de energia de 23510 tep e evitou-se 25380 ton de emissões de CO<sub>2</sub> através da utilização destas unidades de cogeração/trigeração.

Uma vez que isto demonstra apenas uma pequena parte do panorama nacional no que diz respeito a centrais de cogeração, as reduções obtidas foram valores bastante animadores e promissores.

## 2.7 Tecnologias de Cogeração/Trigeração

### 2.7.1 Tecnologias convencionais

As tecnologias que hoje em dia equipam as centrais de cogeração podem ser divididas em dois grupos, tecnologias convencionais e emergentes, de acordo com o grau de maturidade, desenvolvimento tecnológico e difusão comercial em que se encontram.

As primeiras recorrem a turbinas e motores alternativos para a conversão de energia química em mecânica. Já as tecnologias emergentes utilizam microturbinas e pilhas de combustível, no entanto, ainda não atingiram o grau tecnológico necessário para igualar a capacidade das mais antigas.

#### 2.7.1.1 Motores alternativos

Os motores alternativos, são muito utilizados na cogeração, quer funcionando segundo o ciclo Diesel (motores de ignição por compressão), quer funcionando segundo o ciclo Otto (motores de ignição controlada). Nestes casos, utiliza-se um gerador acoplado a um motor térmico para produção de eletricidade. A energia térmica é recuperada a partir dos gases de escape para a produção de vapor, bem como a partir dos circuitos de refrigeração do motor para produção de água quente a 85-90°C. [8]

Na figura 2.8 apresenta-se um esquema geral de funcionamento de um sistema de cogeração com motor alternativo.

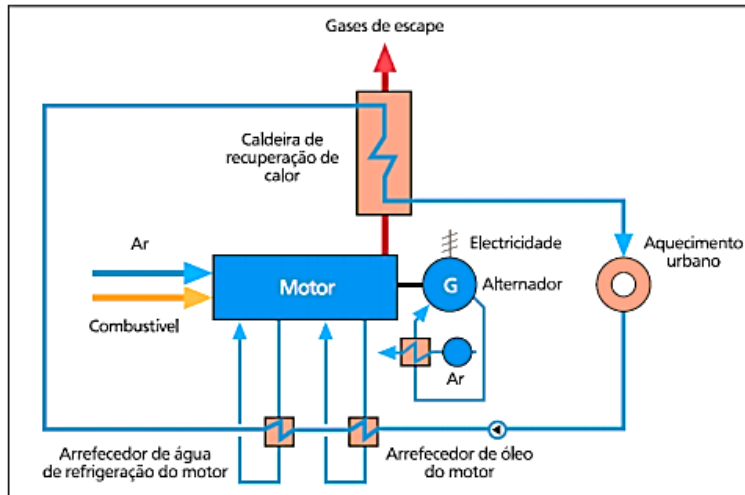


Figura 2.8- Esquema geral de funcionamento de um sistema de Cogeração com motor alternativo. [9]

Os motores de explosão são os mais usados em instalações de cogeração, uma vez que possuem várias fontes de recuperação de calor: gases da exaustão e circuitos de refrigeração do óleo e do motor.

Na Figura 2.9 apresenta-se uma imagem de um motor de explosão, e a representação esquemática das etapas correspondentes ao seu funcionamento.

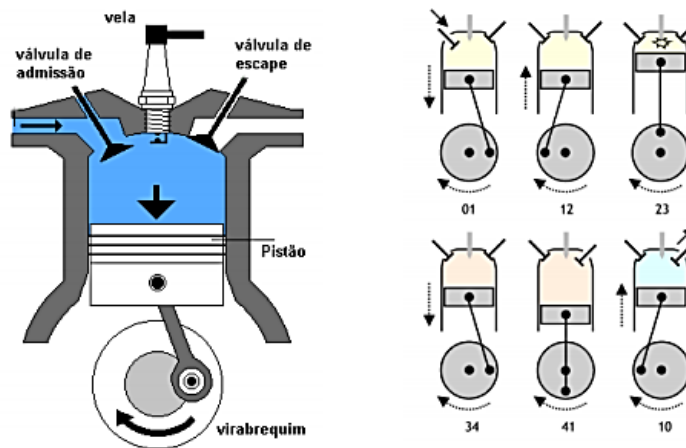


Figura 2.9- Desenho esquemático de um motor de explosão e etapas do seu funcionamento. [5]

Através da imagem pode-se observar que a câmara de combustão contém um cilindro, duas válvulas (uma de admissão e outra de escape) e uma vela de ignição. O pistão que se move no interior do cilindro é acoplado à biela que se articula com a cambota. A cambota transforma o movimento de vaivém num movimento rotativo. Este tipo de motor

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

designa-se por motor a “quatro tempos”, porque o seu funcionamento se faz numa sequência de quatro etapas: [5]

1. Primeiro tempo: a válvula de admissão é aberta e uma mistura de combustível e ar é injetada no cilindro através da válvula de admissão. A cambota, ao rodar empurra o pistão para baixo.
2. Segundo tempo: a válvula de admissão fecha-se e a mistura é comprimida à medida que o pistão se eleva, antes que este chegue à parte superior, a vela provoca uma faísca.
3. Terceiro tempo: a mistura inflama-se e explode. Os gases quentes libertados na explosão expandem-se, produzindo uma força que faz com que o pistão desça, movimentando a cambota através da biela.
4. Quarto tempo: a válvula de escape abre-se e os gases são expulsos pelo pistão que se eleva.

No motor diesel o combustível – o óleo diesel ou gasóleo – é queimado por ação do calor e libertado quando o ar é comprimido a uma taxa de compressão muito elevada. [5]

A figura seguinte mostra os quatro tempos do ciclo do motor Diesel.

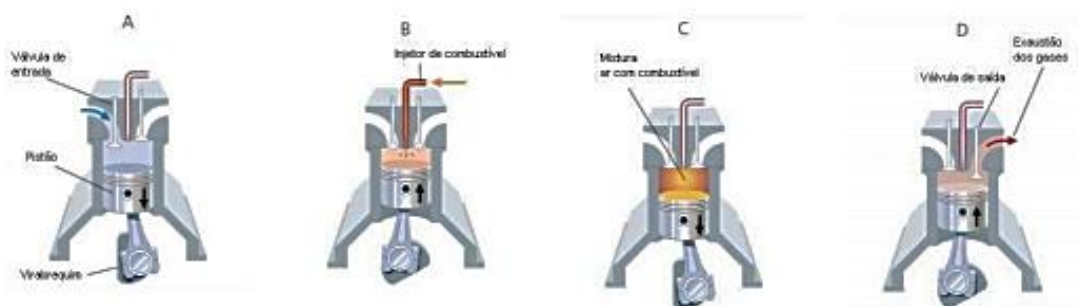


Figura 2.10-Funcionamento do motor Diesel. [5]

A figura 2.10 ajuda a perceber melhor o funcionamento de um motor Diesel. Esta comporta quatro estágios sendo estes: [5]

- Estágio A: o ar é aspirado para o interior do cilindro, penetrando nele através da válvula de entrada.

- Estágio B: o pistão sobe e comprime o ar dentro do cilindro, a uma taxa de compressão muito elevada. Em consequência, a temperatura do ar comprimido eleva-se consideravelmente, ultrapassando os 700°C.

- Estágio C: caracteriza-se pela injeção, a alta pressão, do combustível no ar comprimido a alta temperatura, entrando em combustão espontânea e forçando o movimento do pistão para baixo.

- Estágio D: os gases que se formaram na fase anterior são expelidos do interior do cilindro pelo movimento ascendente do pistão.

O ciclo Otto descreve o funcionamento do motor de ignição controlada. Na Figura 2.11 estão representados os diagramas  $(P,v)$  e  $(T,s)$  correspondentes a este ciclo termodinâmico.

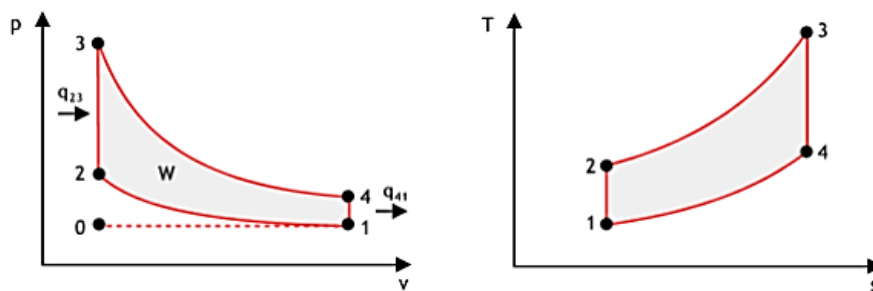


Figura 2.11-Diagramas  $(P,v)$  e  $(T,s)$  do ciclo Otto. [5]

Os quatro estágios de um ciclo de Otto ideal são:

- 1-2 Compressão isentrópica da mistura por ação do pistão;
- 2-3 Aumento da pressão na mistura após ignição e explosão, a volume constante;
- 3-4 Expansão isentrópica da mistura devido ao movimento descendente do pistão;
- 4-1 Diminuição da pressão pela libertação dos gases, a volume constante.

O ciclo Diesel está associado à representação termodinâmica do funcionamento do motor de ignição por compressão – Diesel. Na Figura 2.12 mostram-se os diagramas  $(P,v)$  e  $(T,s)$  do ciclo Diesel.

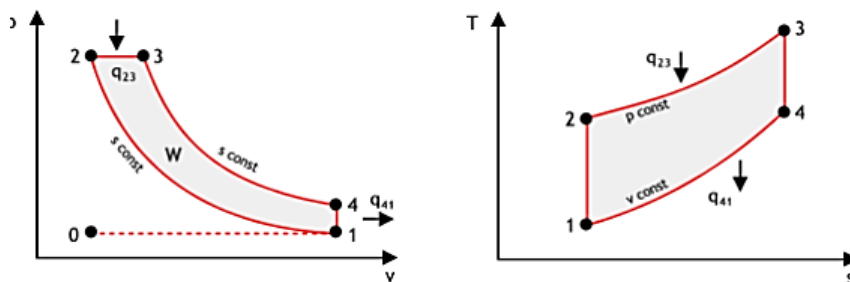


Figura 2.12 - Diagramas  $(P,v)$  e  $(T,s)$  do ciclo Diesel. [5]

Os dois ciclos explicados anteriormente (ciclo de Otto e Diesel) são muito similares, sendo que a diferença se encontra no processo de adição de calor,  $2 \rightarrow 3$ . No ciclo Otto a transformação é isocórica (volume constante) enquanto no ciclo Diesel é isobárica (pressão constante). A taxa de compressão no ciclo Diesel é muito superior à do ciclo Otto, porque no primeiro, apenas o ar é comprimido, enquanto, no segundo, é a mistura ar-combustível que é comprimida, o que é especialmente problemático na fase de explosão. [5]

#### 2.7.1.2 Turbinas a gás

Em turbinas a gás, o ar entra no compressor, onde é comprimido e a sua temperatura necessariamente aumenta e é misturado com um combustível dando-se a combustão. Os gases quentes são expandidos na turbina até à pressão atmosférica, produzindo-se trabalho. O compressor funciona com 65% da energia da turbina, enquanto os restantes 35% são energia mecânica disponível no eixo da turbina. Um alternador acoplado ao veio da turbina produz eletricidade. A energia térmica dos gases de combustão é recuperada através de caldeiras de recuperação de calor. [1]

Na figura 2.13 pode-se observar um esquema típico de um sistema de cogeração com turbina a gás.

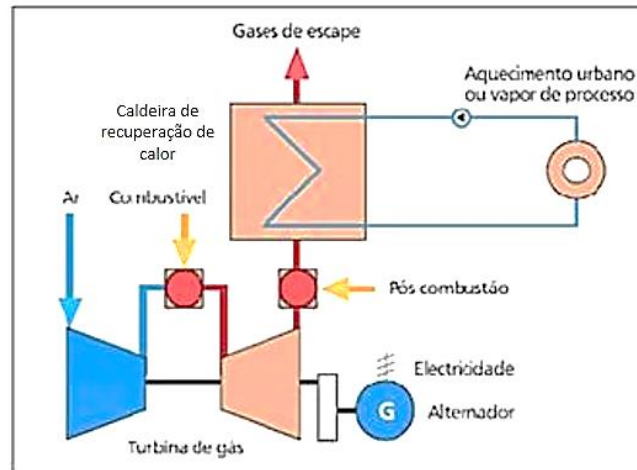


Figura 2.13-Funcionamento típico de um sistema com Turbina a Gás. [9]

Neste tipo de instalações, a temperatura dos gases de combustão é relativamente elevada, da ordem de 400 a 500°C nas turbinas das pequenas unidades industriais, podendo mesmo atingir cerca de 600°C nas turbinas de maior dimensão. A instalação de um recuperador de calor permite aproveitar este calor para produzir vapor ou água quente.

O esquema das operações realizadas numa turbina e respetivo diagrama termodinâmico são representados nas figuras 2.14 e 2.15.

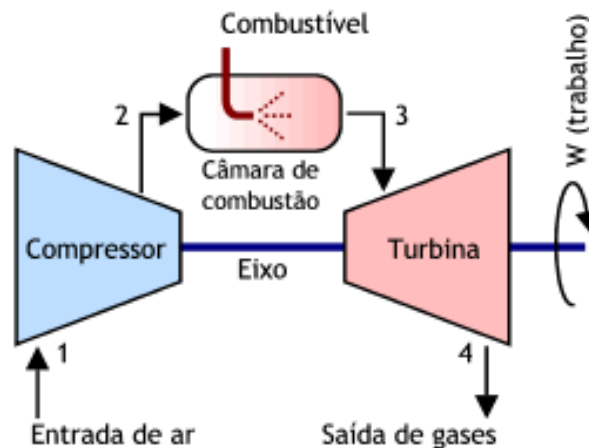


Figura 2.14- Representação esquemática de uma turbina a gás. [10]

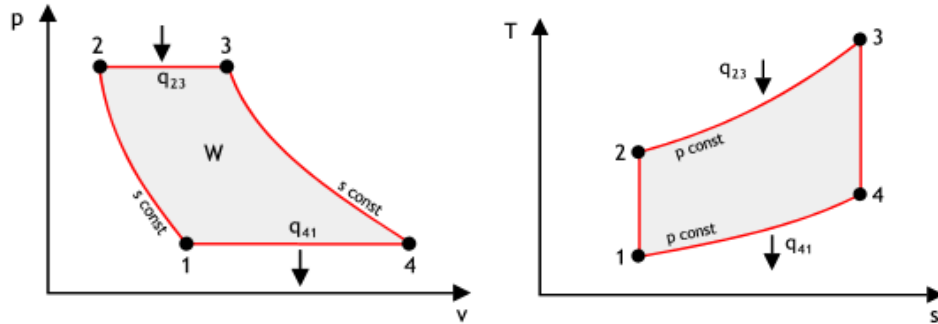


Figura 2.15 -Diagramas  $(P,v)$  e  $(T,s)$  do ciclo de Brayton. [10]

Os sistemas equipados com turbinas a gás operam de acordo com o ciclo de Brayton, o qual compreende as seguintes etapas na sua versão de ciclo ideal:

- 1-2 Compressão isentrópica do ar;
- 2-3 Adição de calor a pressão constante;
- 3-4 Expansão isentrópica dos gases de combustão na turbina;
- 4-1 Recuperação do calor a pressão constante

É necessário verificar o trabalho que é realmente fornecido ao compressor e aquele que a turbina produz verdadeiramente, uma vez, que na realidade, a compressão e expansão não são isentrópicas. Se o ciclo fosse ideal o compressor apenas necessitaria de 2% do trabalho realizado pela turbina quando na realidade este valor ascende a valores entre os 40 a 80%. [5]

### 2.7.1.3 Turbinas a vapor

A utilização de turbinas a vapor é a opção tecnológica mais aplicada em indústrias e em sistemas de rede de calor. Neste tipo de turbinas, o vapor produzido em caldeiras é utilizado no acionamento da turbina a vapor para geração de energia mecânica. O gás de escape ou de extração é utilizado como calor e corrente de processo.

As turbinas a vapor dividem-se em dois tipos de acordo com a pressão do vapor à saída de turbina. Podem designar-se por turbina de contrapressão se a pressão à saída for superior à atmosférica (figura 2.16), ou turbina de condensação se a pressão à saída for inferior à atmosférica. Para esta última surge a necessidade de adicionar um condensador ao processo (figura 2.17).

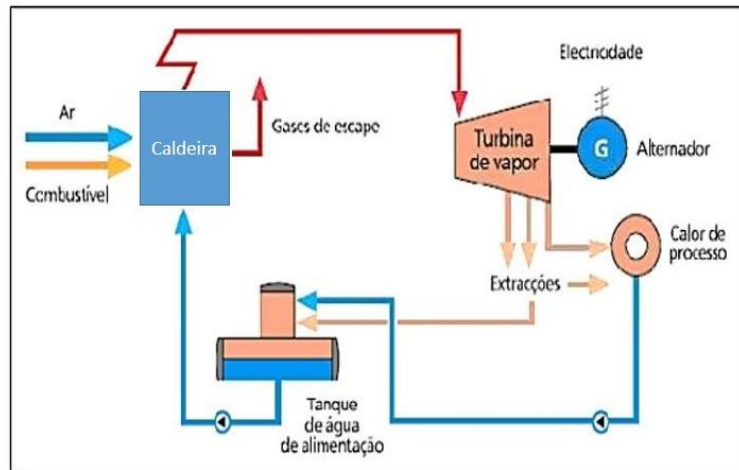


Figura 2.16- Funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor de contrapressão. [9]

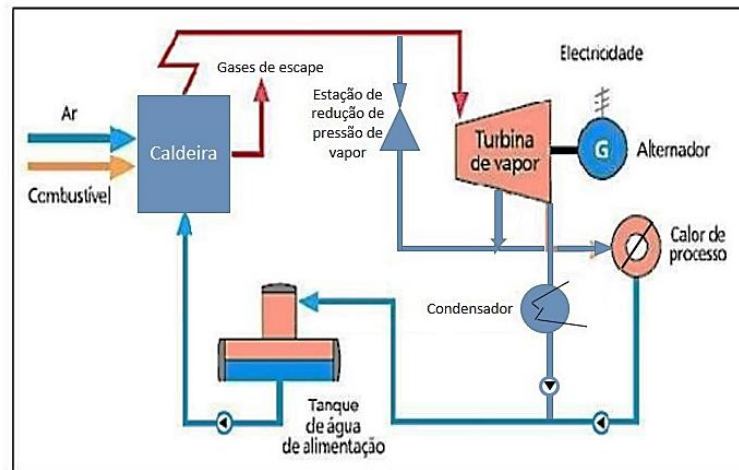


Figura 2.17 - Funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor de condensação.

Este tipo de turbinas apresentam a vantagem, uma vez que não trabalham diretamente com os gases de combustão, de ter a possibilidade de utilização de qualquer tipo de combustível – gás, fuel, carvão, resíduos, etc.

#### 2.7.1.4 Ciclo combinado

Com a evolução tecnológica dos sistemas energéticos, têm surgido sistemas cada vez mais fiáveis e eficientes. Isto conduziu à introdução de um novo tipo de cogeração que se baseia na agregação de dois sistemas isolados num só sistema, permitindo assim aumentar o rendimento e eficácia global da cogeração.

Este tipo de cogeração, denominada de cogeração em ciclo combinado, é constituído de uma forma geral, por um sistema de cogeração com turbinas a gás e por um sistema



de cogeração com turbinas a vapor, que são projetados e executados de modo a complementarem-se.

Os gases de exaustão da turbina a gás são utilizados para a produção de vapor a alta pressão numa caldeira de recuperação ou convencional. Este vapor aciona a turbina de vapor que, por sua vez, fornece vapor de baixa pressão para utilização no processo. Na Fig. 2.18 ilustra um esquema generalizado dum sistema de cogeração em ciclo combinado.

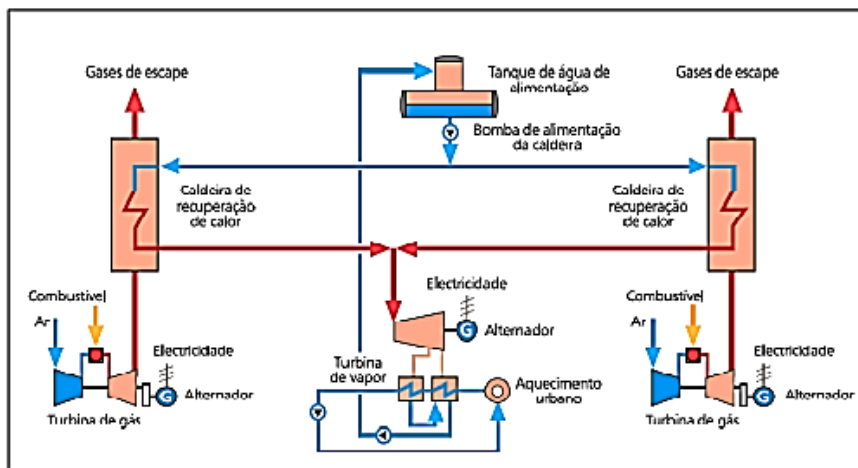


Figura 2.18 - Ilustração de um esquema generalizado de um sistema de cogeração em ciclo combinado. [9]

Este tipo de cogeração é predominantemente utilizado em situações em que se deseja produzir energia elétrica e térmica útil em quantidades variáveis, de acordo com as cargas consumidoras, ou para atender a mercados específicos.

A principal vantagem deste sistema é a sua maior eficiência global na produção de energia elétrica, comparativamente às alternativas anteriormente descritas.

## 2.7.2 Tecnologias emergentes

### 2.7.2.1 Microturbinas

O princípio de operação das microturbinas é muito semelhante ao das turbinas a gás, recorrendo ao ciclo de Brayton para caracterizar o seu funcionamento.

O termo “Microturbina” refere-se a um sistema de dimensões relativamente reduzido, composto por um compressor, uma câmara de combustão, uma turbina e um gerador elétrico e com uma potência total disponível até 250 kW. [9]

Nesta tecnologia, o compressor comprime ar, o qual é pré-aquecido usando um permutador de calor que recupera o calor dos gases de exaustão da turbina. O ar

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

aquecido é, então, misturado com o combustível na câmara de combustão e os gases quentes resultantes da combustão são expandidos na turbina. O calor remanescente dos gases de exaustão pode ser aproveitado para outros fins úteis. As microturbinas podem operar com uma grande variedade de combustíveis, principalmente gás natural, mas também combustíveis líquidos como gasolina, querosene e óleo diesel.

A figura seguinte ilustra um esquema de um sistema de cogeração equipado com microturbina.

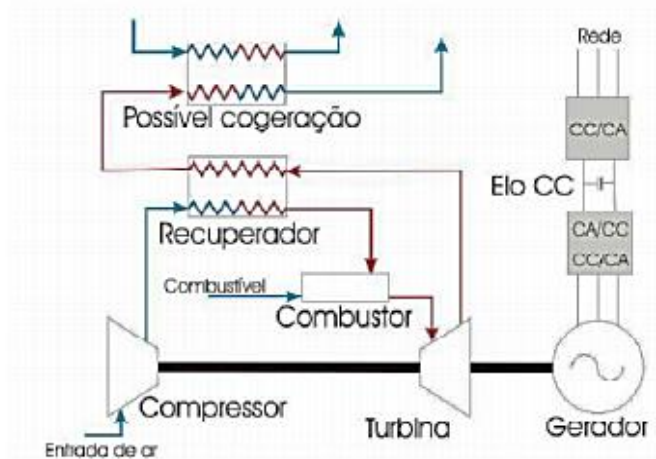


Figura 2.19 -Esquema de um sistema de cogeração equipado com microturbina. [9]

As microturbinas são ideais para aplicações de produção de energia distribuída devido à sua flexibilidade nos métodos de conexão, e capacidade de se juntarem em paralelo para preencher necessidades superiores. Estas têm ainda a capacidade de fornecer energia estável e baixas emissões de gases de efeito de estufa. No entanto apresentam limitações, nomeadamente, custo elevado, baixa eficiência elétrica e sensibilidade a condições ambientais.

#### 2.7.2.2 Pilhas de combustível

As pilhas de combustível, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, configuram um modo de obtenção de energia elétrica diferente tanto das tecnologias convencionais que usam combustíveis fósseis, como das tecnologias que fazem uso de recursos renováveis.

Uma pilha de combustível é um dispositivo eletromecânico, produtora de energia que converte a energia química do combustível diretamente em energia elétrica, sem estágios intermédios de combustão e produção de energia mecânica. [9]

Estas são, de certo modo, semelhantes às conhecidas baterias, uma vez que ambas geram energia em corrente contínua através de um processo sem combustão nem transformação intermédia em energia mecânica. Contudo, enquanto as baterias convertem quantidades finitas de energia, as pilhas de combustível podem, em teoria, operar indefinidamente, desde que lhes seja fornecida continuamente uma fonte de combustível, no caso, hidrogénio. O hidrogénio é obtido através do steam reforming de um hidrocarboneto, tipicamente gás natural, enquanto o oxigénio é retirado por criogenia do ar ambiente.

A figura 2.20 ilustra uma pilha de combustível.

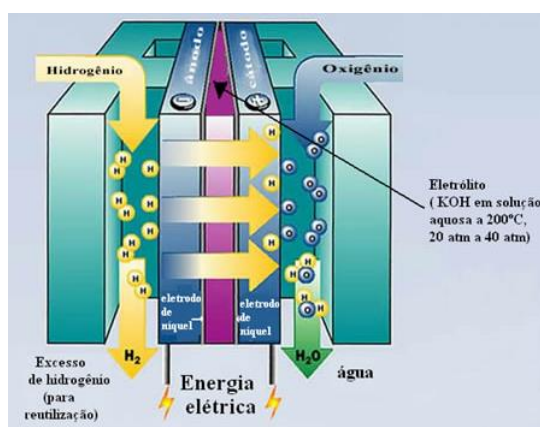


Figura 2.20 - Representação de uma pilha de combustível.

O campo de aplicação das pilhas de combustível é extremamente vasto, abrangendo desde unidades móveis de cerca de 50W até centrais de produção elétrica de 10MW. As aplicações mais importantes para estas, são as centrais de produção de eletricidade estacionárias e de distribuição, veículos elétricos motorizados e equipamentos elétricos portáteis

### 2.7.3 Vantagens e limitações dos diferentes sistemas de cogeração

Para uma melhor compreensão das diferenças entre as várias tecnologias de cogeração descritas anteriormente, apresenta-se na tabela 2.2. Em síntese, descreve-se as vantagens e limitações de cada um dos tipos tecnológicos de sistemas de cogeração.

Tabela 2.4- Vantagens e limitações dos vários sistemas de cogeração.

Tecnologias	Vantagens	Limitações
Motores Alternativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimento elétrico elevado</li> <li>▪ Bom desempenho com carga parcial</li> <li>▪ Arranque rápido</li> <li>▪ Energia térmica a dois níveis de temperatura - gases de escape e arrefecimento do motor</li> <li>▪ Manutenção no local com pessoal não especializado</li> <li>▪ Operação com gás a baixa Pressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Custos de manutenção elevados</li> <li>▪ Calor de baixa temperatura</li> <li>▪ Emissões poluentes relativamente elevadas</li> <li>▪ Necessita de refrigeração</li> <li>▪ Ruído de baixa frequência</li> </ul>
Turbina a gás	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fiabilidade elevada</li> <li>▪ Emissões poluentes baixas</li> <li>▪ Calor a temperaturas elevadas (500- 600°C)</li> <li>▪ Não necessita de refrigeração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operação com gás a alta pressão</li> <li>▪ Rendimento reduzido a carga Parcial</li> <li>▪ Potência de saída diminui com o aumento da temperatura ambiente</li> <li>▪ Ineficiente em processos com reduzidas necessidades térmicas</li> </ul>
Turbina a vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimento global elevado</li> <li>▪ Operação com diversos tipos de Combustível</li> <li>▪ Grandes quantidades de calor Disponíveis</li> <li>▪ Vida útil e fiabilidade elevadas</li> <li>▪ Vapor a alta pressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arranque lento</li> <li>▪ Rendimento elétrico baixo</li> </ul>
Ciclo combinado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficiência</li> <li>▪ Grande flexibilidade na quantidade de energia térmica produzida</li> <li>▪ Redução dos custos globais de operação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maior complexidade do sistema global</li> <li>▪ Sistema global sujeito a um somatório das desvantagens dos dois sistemas isolados</li> </ul>
Microturbinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dimensões compactas</li> <li>▪ Peso reduzido</li> <li>▪ Emissões poluentes baixas</li> <li>▪ Não necessita de refrigeração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Custos elevados</li> <li>▪ Calor de baixa temperatura</li> <li>▪ Tecnologia em maturação</li> </ul>
Pilha de combustão	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emissões poluentes baixas</li> <li>▪ Ruído baixo</li> <li>▪ Não tem peças rotativas</li> <li>▪ Modularidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Custos elevados</li> <li>▪ Fiabilidade incerta</li> <li>▪ Tecnologia em maturação</li> <li>▪ Necessidade de pré-processamento do combustível (exceto H puro)</li> </ul>

### 2.7.4 Características operacionais dos diferentes sistemas de cogeração

Na tabela 2.3. são apresentadas algumas das características operacionais dos diferentes sistemas de cogeração.

Tabela 2.3- Características operacionais e custos típicos dos diferentes tipos de sistemas de cogeração.

Tecnologia	Motores de explosão a GN	Motores de compressão interna	Turbinas a gás	Turbinas a vapor	Microturbinas	Pilhas de combustível
Rendimento elétrico (%)	22-40	25-45	15-35	10-40	18-27	35-40
Rendimento térmico (%)	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	20-50
Rendimento global (%)	70-80	70-85	60-85	80-85	55-75	55-90
Potência típica (MWe)	0,05-5	0,015-30	0,2-100	0,5-100	0,03-0,35	0,01-0,25
Relação Ptérmica/ Pelétrica	0,4-1,7	0,4-1,7	1,25-1	2-10	1-2,5	1,1
Desempenho com carga parcial	Médio	Bom	Mau	Bom	Médio	Muito Bom
Investimento (€/kWe)	700-1400	700-1400	600-800	700-900	1300-2500	>2500
Disponibilidade (%)	92-97	92-97	90-98	99	90-98	>95
Revisões (h)	24000-60000	25000-30000	30000-50000	>50000	5000-40000	10000-40000
Arranque	10s	10s	10m-1h	1h-1dia	1m	3h-2dias
Pressão do combustível (bar)	0,07-3,1	<0,35	8-35	NA	3-7	0,03-3
Combustíveis	GN, bio gás, propano	Diesel, óleo residual	GN, bio gás, propano	Todos	GN, bio gás, propano	Hidrogénio, GN, propano, metanol
Ruído	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Baixo
Uso do calor	Água quente, vapor BP	Água quente, vapor BP	Água quente, vapor AP e BP	Vapor de AP e BP	Água quente. Vapor BP	Água quente, vapor BP
Densidade de potência (kW/m <sup>2</sup> )	35-50	35-50	20-500	>100	5-70	5-20

## 2.7.5 Tecnologias de Trigeração

Os sistemas de cogeração com produção de frio são chamados de sistemas de trigeração. Nestes sistemas uma única fonte de combustível é convertida em três tipos de energia: eletricidade, vapor e/ou água quente e frio. Esta tecnologia é vista como uma maneira de aumentar ainda mais a alta eficiência dos sistemas de cogeração.

Para uma melhor compreensão deste tipo de tecnologia, na figura 2.21 vê-se um esquema representativo de uma unidade de trigeração.

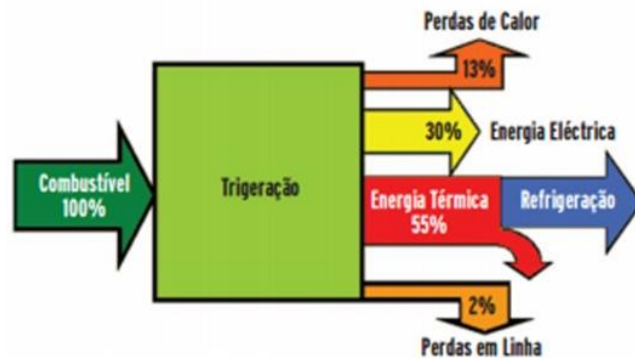


Figura 2.21-Esquema do princípio de um sistema de trigeração. [11]

### 2.7.5.1 Unidades Produtoras de água refrigerada

Um chiller é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico. Os três principais tipos de chillers são:

- Chiller elétrico ou de compressão;
- Chiller de absorção, que por sua vez se dividem em:
  - Chiller de ignição direta;
  - Chiller de ignição indireta;
  - Chiller de efeito simples;
  - Chiller de efeito duplo;
- Chiller de adsorção;

### 2.7.5.1.1 Chiller elétrico e de absorção

Os chillers elétricos utilizam um compressor mecânico, ativado normalmente por um motor elétrico, de forma a aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema.

Os chillers de absorção produzem água gelada a partir de uma fonte de calor, utilizando, em alguns casos, uma solução de um sal num processo termoquímico de absorção. Estes chillers são muitas vezes integrados em sistemas de cogeração com o intuito de aproveitar calor que de outra forma seria desperdiçado. Nos chillers de absorção de ignição direta o calor necessário ao processo é obtido queimando diretamente um combustível, normalmente gás natural. Relativamente aos de ignição indireta, o calor é fornecido na forma de vapor de baixa pressão, água quente ou de um processo de purga quente. Podem ainda ser divididos em dois tipos distintos, os sistemas onde o refrigerante é o amoníaco (estes sistemas representam um investimento relativamente elevado, sendo normalmente utilizados apenas em instalações de grande capacidade) e os sistemas onde o absorvente é o brometo de lítio.

Existem ainda chillers de efeito simples, os quais possuem apenas um gerador e de efeito duplo, que possuem dois ou mais geradores.

O princípio básico de uma máquina de refrigeração por absorção, bem como a diferença entre um chiller de efeito simples e efeito duplo, está ilustrado na figura seguinte.

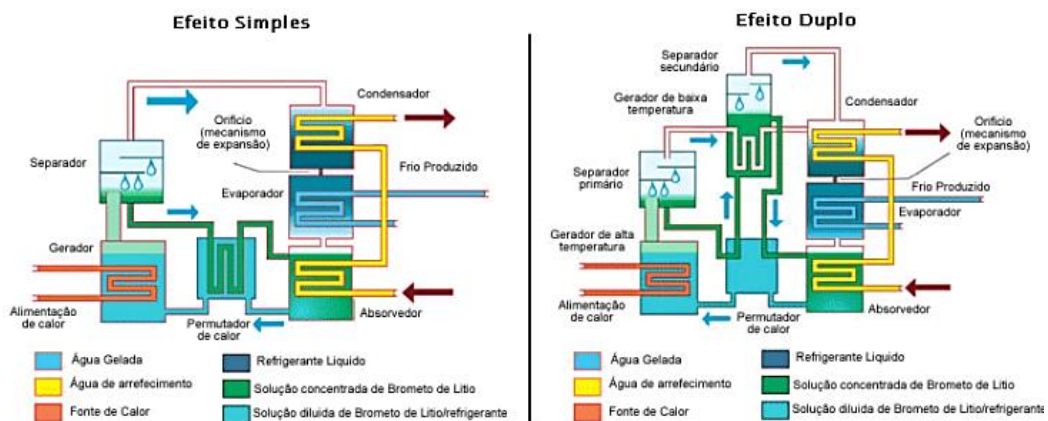


Figura 2.22- Princípio básico de uma máquina de refrigeração por absorção (Chiller de efeito simples) e (Chiller de efeito Duplo). [1]

Na figura 2.22 observam-se os principais componentes de um chiller de absorção, que são: [1]

- Secção do evaporador: Zona onde é arrefecida a água a gelar. O fluido refrigerante, normalmente água, evapora ao absorver calor dos tubos onde circula a água a gelar.

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

- Secção do absorvedor: zona onde o vapor de água evaporada é absorvido pela substância absorvente (solução de brometo de lítio). O calor libertado no processo de absorção é dissipado através da passagem dos tubos de água do condensador ao atravessarem o absorvedor.
- Secção do gerador: zona onde é fornecido o calor pela fonte quente, de forma a separar novamente o vapor da substância absorvente e a reconcentrar a solução.
- Secção do condensador: zona onde o vapor produzido no gerador é condensado pela água do condensador que circula nesta secção.

Na tabela 2.4 estão resumidas algumas das características principais dos chillers de absorção.

Tabela 2.4- Características dos Chillers de Absorção. [1]

Índices	NH <sub>3</sub> - Absorção		LiBr- Absorção	
	Simples		Simples	Duplo
Número de efeitos	Simples		Simples	Duplo
Capacidade de refrigeração (kW)	20-2500		300-5000	300-5000
COP <sup>1</sup> térmico	0,6-0,7		0,5-0.6	0.9-1,1
Gama de temp (°C)	120-132		120-132	150-170
Custo da máquina (€)	1250-1750		870-920	930-980

Comparando os chiller referidos anteriormente, é possível apontar algumas vantagens e desvantagens da utilização de um chiller de absorção face a um chiller elétrico.

Vantagens: [1]

- Como o princípio de funcionamento de um chiller de absorção é um sistema termoquímico, não existem componentes móveis no sistema (para além das bombas hidráulicas necessárias). Deste modo, este tipo de chillers apresenta uma vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exigindo muito pouca manutenção.
- Nos chillers onde se usa água como fluido refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva à camada de ozono (como os CFC por exemplo).
- Para este tipo de chillers, o consumo elétrico é normalmente 10% do consumo dos chillers elétricos, por esta razão, para regiões onde exista uma forte procura

<sup>1</sup> "Coeficiente de Desempenho". Representa o quociente entre a energia térmica fornecida por uma bomba de calor e a energia elétrica consumida pelo sistema. Quanto maior for o COP, mais eficiente será o sistema.



Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

de eletricidade e/ou o preço desta seja bastante elevado, esta é uma alternativa para reduzir a fatura energética, uma vez que este sistema de arrefecimento praticamente não necessita de eletricidade

- Os chillers de absorção de queima indireta apresentam também a vantagem de funcionar com uma ampla gama de fontes quentes: vapor de baixa pressão, água quente, energia solar e uma purga quente do processo.

Desvantagens: [1]

- A grande desvantagem dos chillers de absorção frente aos chillers elétricos, é o seu reduzido rendimento energético - Coeficiente de Performance (COP). Os chillers de absorção de duplo efeito podem ir até COPs de 1,1, enquanto nos chillers elétricos o valor pode subir até 6,0. Por outro lado, os chillers de absorção apresentam um investimento inicial muito superior (entre 1,5 e 2,5 vezes mais caro).

#### 2.7.5.1.2 Chillers de adsorção

Um chiller de adsorção é uma instalação térmica que converte calor em frio utilizando como fonte de energia calor de baixo nível térmico que de outra forma seria desperdiçado. A adsorção é um fenómeno de adesão reversível, da qual resulta acumulação de uma substância gasosa ou dissolvida na superfície de um corpo, tipicamente uma superfície constituída por um material poroso. A diferença entre adsorção e absorção reside no facto de que, neste último processo, o fluido mistura-se com o absorvente para formar uma solução. Os chillers de adsorção utilizam apenas água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. Também se utiliza carvão ativado ou resina sintética como adsorvente nos processos industriais, para purificar a água ou para secar (com a adsorção da água). Os chillers de adsorção com gel de sílica podem funcionar a temperaturas inferiores a 80° C, o que os torna mais interessante do que os chillers de absorção em aplicações onde existe uma fonte de calor de baixa temperatura. Para obter uma grande capacidade de adsorção é necessário ter uma grande superfície de adsorvente disponível. Assim, a dimensão dos microporos determina a capacidade de adsorção do adsorvente. Estes utilizam apenas energia térmica.

Geralmente, água quente a uma temperatura de 70 a 90°C é suficiente para permitir a fase de desadsorção, sendo a temperatura máxima adequada de 95°C. É possível utilizar água quente com temperaturas até cerca de 55°C, mas resultam em eficiências

bastante reduzidas para o funcionamento do chiller. Os chillers de adsorção apresentam uma melhor eficiência do que os chillers de absorção para a gama de temperaturas entre 70 e 85°C, mas estes últimos têm uma eficiência melhor para temperaturas mais elevadas (entre 95 e 150°C). Neste caso, é possível usar um chiller de adsorção em série com um chiller de absorção para utilizar mais calor da água quente.

Neste tipo de chillers, quando toda a energia necessária para aquecer a câmara de dessorção é fornecida pela fonte de calor, designa-se por “ciclo de efeito simples”, quando existe mais do que uma câmara no ciclo, pode-se recuperar calor entre as diferentes câmaras, aumentando a eficiência do ciclo. Diz-se então que se trata de um “ciclo de efeito duplo” ou “ciclo com recuperação de calor”.

Em comparação com os outros chillers falados anteriormente, os chillers de adsorção apresentam algumas vantagens e desvantagens.

Relativamente às vantagens prende-se no facto dos chillers a adsorção poderem utilizar fontes de calor de baixas temperaturas (55°C), logo são utilizados em sistemas solares térmicos ou sistemas de cogeração de baixa temperatura. Além disto, a manutenção é muito reduzida pois os chillers de adsorção praticamente não têm peças móveis (apenas as bombas). O custo da manutenção deste tipo de chiller representa apenas um décimo do que é necessário para um chiller de compressão convencional. Por último, os chillers de adsorção que usam gel de sílica não representam riscos para o ambiente pois este gel é quimicamente neutro, o que mostra ser também uma grande vantagem na utilização destes aparelhos.

Como desvantagem temos o facto de serem sistemas com um preço muito elevado e de tecnologia pouco madura.



### 3. Descrição de atividades /metodologia

Para a realização deste trabalho foi necessário, inicialmente, reunir com os responsáveis da instalação e perceber o seu funcionamento. Foi autorizada a realização de visitas para a recolha de valores operacionais da central, que permitissem identificar as oportunidades de poupança energética e procurar encontrar soluções tecnológicas.

A primeira fase diz respeito a um período de recolha de informação, desde os documentos característicos dos equipamentos até aos valores lidos nos vários contadores da instalação. Foram retirados os valores dos vinte contadores de entalpia existentes na central para dois meses do ano, janeiro e junho, com o intuito de analisar as necessidades de calor e frio no hospital em dois períodos distintos do ano.

Na segunda fase procedeu-se à construção de dois esquemas que descrevam corretamente o funcionamento da trigeriação e de como irá ser a implementação do novo depósito.

Numa terceira fase, e com o intuito de provar a exequibilidade do projeto, recolheram-se mais valores operacionais da central, nomeadamente o horário de funcionamento da caldeira de água quente, consumo de gás natural por parte desta e temperatura de entrada e saída da água na caldeira. Realizaram-se vários cálculos de forma a encontrar a energia a mais que era gasta pela instalação e a que poderia ser economizada através da instalação de um novo depósito. Efetuaram-se os cálculos relativos ao chiller elétrico, com o intuito de se saber a quantidade de energia que este removia à água fria e a eletricidade que consumia no compressor.

Após estes cálculos, foi analisada a viabilidade económica para a proposta de acrescentar um acumulador térmico à central. Foi sugerido um orçamento para o novo projeto, e calculado o payback time.



## 4. Apresentação e discussão dos resultados

Neste capítulo, inicialmente, será apresentado um esquema representativo, e uma breve explicação da instalação para melhor compreensão do funcionamento desta.

Em seguida será explicada a oportunidade de melhoria encontrada para a cogeração, bem como a apresentação de resultados e dados recolhidos na instalação.

Todos os cálculos e valores recolhido na central que dizem respeito a este capítulo são apresentados no Anexo A, B e C.

### 4.1 Apresentação e explicação da instalação

O caso em estudo neste trabalho trata-se de uma central de trigeriação que fornece água quente, água gelada, vapor e eletricidade a uma unidade hospitalar.

Para um melhor entendimento do seu funcionamento, na figura 4.1 encontra-se o layout geral da instalação.

No layout da central apresentado a seguir, a vermelho estão representadas as correntes de água quente, a laranja as correntes de água quente do circuito de baixa temperatura, a preto as correntes de vapor, a roxo as correntes de água fria, e a azul as correntes de água gelada.

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

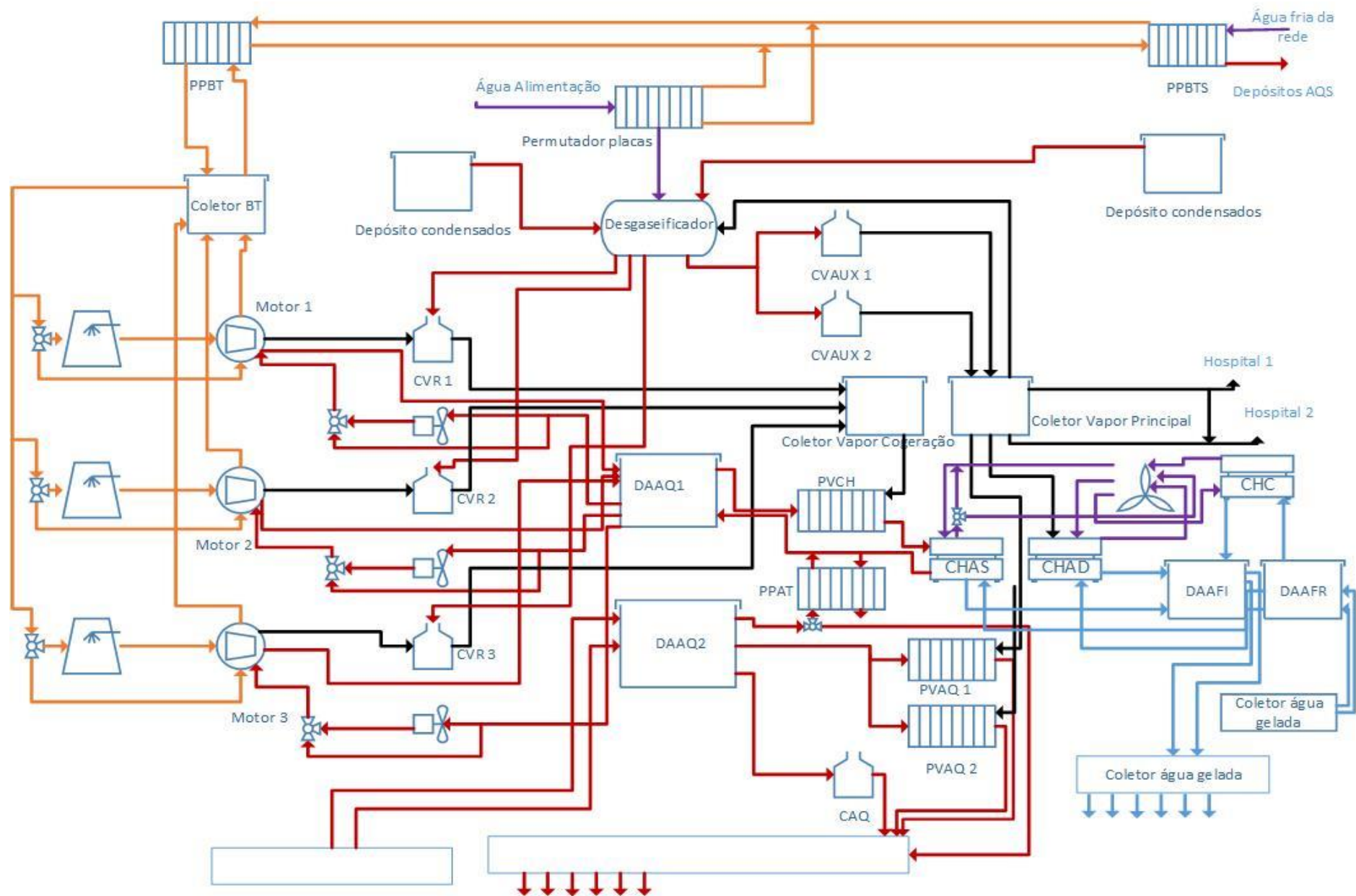


Figura 4.6-Layout da instalação.

Como se pode ver pela figura anterior, nesta instalação existem 3 motores a gás natural, funcionando segundo o ciclo de Otto a 4 tempos. Cada motor possui 16 cilindros e consome gás natural e ar. O gás misturado com o ar em proporções adequadas a uma pressão e temperaturas estabelecidas, provocam, mediante um foco de ignição, uma forte reação exotérmica, cuja energia libertada gera uma força motriz que faz acionar o gerador elétrico.

Com o trabalho, os motores aquecem, e essa energia é dissipada sob a forma de calor, que por sua vez é cedido a uma corrente de água que é aquecida. Este caudal de água (a 95°C) é enviado para o depósito de água quente (DAQQ1) com a capacidade de 10m<sup>3</sup>. Este circuito é denominado por circuito de Alta temperatura (AT).

Existem também um circuito de Baixa Temperatura (BT) onde a água se encontra a 45°C, e este tem o intuito de arrefecer o motor, aquecer a água sanitária do hospital e pré-aquecer a água que entra para o desgaseificador.

Os gases de escape do motor são aproveitados para alimentar três caldeiras recuperativas (CR1, CR2 e CR3). Estas necessitam também de água para o seu funcionamento, que é fornecida pela rede ou pelo depósito dos condensados. A água passa pelo desgaseificador (onde já sofreu um pré-aquecimento através do circuito de BT) e é enviada para as caldeiras. Momentos antes de entrar na caldeira, atravessa ainda um economizador onde aumenta um pouco mais a sua temperatura.

Com o objetivo de garantir o fornecimento de vapor ao hospital em complemento da instalação de cogeração, existem ainda duas caldeiras auxiliares de vapor (CVAUX1 e CVAUX2). Estas entram em funcionamento caso as caldeiras recuperativas não sejam suficientes para suprir as necessidades de vapor do hospital, ou em caso de avaria ou manutenção de algum destes geradores. O vapor formado é enviado para o coletor de vapor, que depois é distribuído pelos fins a que se destina.

Para além do que já foi referido, existem ainda dois chillers de absorção, que têm o objetivo de produzir água gelada (6/7°C) para ser enviada para o hospital. Um dos chillers é de absorção de duplo efeito a vapor, denominado de CHAD, e recebe vapor do coletor de vapor para produzir água gelada, o segundo é de absorção de água quente, CHAS, e para o seu funcionamento, recebe água quente (95°C) proveniente do depósito de acumulação de água quente DAAQ1. Se a temperatura da água que sai deste depósito não for suficiente para as necessidades do chiller, existe um permutador de vapor (PVCH) que, através de vapor provido pelo coletor fornece calor a esta corrente.



Caso as necessidades de água gelada do hospital sejam muito elevadas, na central há um chiller elétrico (CHC) que é ligado nestas ocasiões. Os três chillers enviam a água gelada que produzem para um depósito de água fria (DAAFI) que por sua vez a envia para os coletores e é distribuída pelo hospital. Esta água retorna do hospital um pouco mais quente e é encaminhada para outro depósito de água fria (DAAFR) para voltar a ser enviada para os chillers e arrefecer novamente.

Existe mais um depósito de água quente na central, DAAQ2, com a capacidade de 30m<sup>3</sup> e com o objetivo de armazenar a água quente da distribuição. Este recebe a água que volta do hospital (de retorno) que vem um pouco mais fria. A água deste depósito é aquecida antes de ser enviada para o hospital através de um permutador de placas (PPAT), trocando calor com a água do tanque DAAQ1. Quando esta troca não é suficiente, existem dois permutadores de vapor (PVAQ1 e PVAQ2), que utilizam vapor do coletor para aquecer a água até ao nível térmico desejado. Em dia mais frios, quando o hospital necessita ainda de mais água quente, há na instalação uma caldeira de água quente (CAQ) que utiliza gás natural para o seu funcionamento, e que é ligada nestas ocasiões.

## 4.2 Oportunidade de melhoria

O principal objetivo desta dissertação é o estudo de oportunidades de melhoria para a trigeração, e assim evitar o desperdício de energia.

Como já foi referido anteriormente, na central existem três motores a gás natural, que, no entanto, não funcionam em permanência. A estratégia definida para o programa de funcionamento dos motores foi estabelecida com o intuito de poupar dinheiro para empresa., uma vez que não é vantajoso ter os três motores a trabalhar em horários de menor consumo de energia no hospital e quando o tarifário elétrico é pior remunerado.

Durante os dias de semana apenas um motor funciona durante 24 horas, enquanto os restantes trabalham das 7 às 24 horas.

Durante o fim-de-semana, a programação é diferente. Aos sábados um motor trabalha durante 24 horas e dois motores trabalham das 9 às 22 horas, enquanto aos domingos apenas um motor trabalha durante 24 horas.

Pelo facto de, na maioria dos dias durante o horário diurno, estarem ligados os três motores, a partir de uma dada altura do dia, a instalação começa a satisfazer todas as necessidades térmicas do hospital e como todas as temperaturas precisam ser cuidadosamente monitorizadas para tudo trabalhar em harmonia, é necessário começar

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

a desperdiçar energia através dos aero-arrefecedores (três pares) existentes na instalação.

Assim uma solução encontrada para evitar este desperdício é a de colocar de um terceiro depósito de água quente (DAAQ3) no qual se possa armazenar esta energia para ser utilizada quando o consumo de energia for maior do que a trigeriação consegue produzir sem ter de recorrer aos aparelhos auxiliares (chiller elétrico e caldeira de água quente) em particular durante o horário noturno, período em que apenas um motor está ao serviço.

Ao instalar um terceiro depósito, evitar-se-ia ligar os aparelhos auxiliares e assim a empresa pouparia dinheiro uma vez que não iria consumir gás natural (para a caldeiras de água quente) nem eletricidade (para o chiller elétrico).

Para uma melhor compreensão do explicado até aqui, em seguida é apresentado um esquema representativo de como irá ser implantado o do novo depósito.

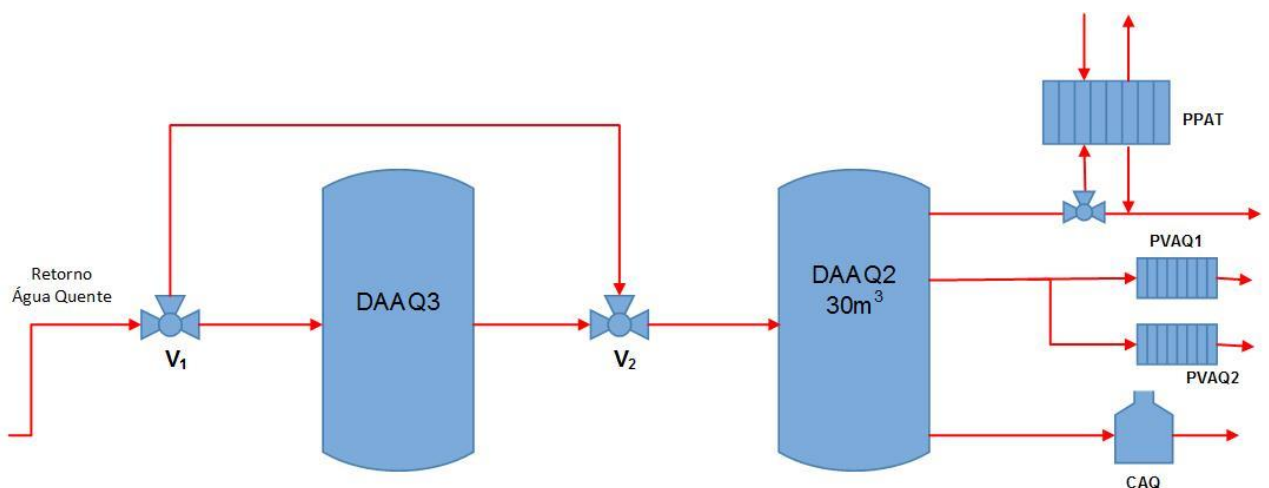


Figura 4.7- Esquema representativo da implementação de DAAQ3.

Na instalação, o funcionamento do novo depósito irá ser do seguinte modo:

- Inicialmente a válvula  $V_1$  está fechada para DAAQ3. A central irá funcionar normalmente, com a diferença que quando os aero-arrefecedores forem ligados a válvula  $V_1$  abre para o tanque DAAQ3 e parte da energia desperdiçada estará a ser armazenada neste depósito;
- Os aero-arrefecedores desligam quando é atingida a temperatura do setpoint e a energia fica armazenada dentro de DAAQ3; fechando a válvula  $V_1$ .

- A partir de um determinado momento, a temperatura de DAAQ2 tem tendência a diminuir. Quando a temperatura de DAAQ2 se torna inferior à temperatura de setpoint,  $V_1$  abre para DAAQ3;
- Como a temperatura de DAAQ3 é mais elevada do que em DAAQ2, a temperatura deste último volta a subir.
- Após algum tempo, a temperatura dos dois depósitos tem tendência a equilibrar-se;
- Quando a utilização de DAAQ3 deixa de ser vantajoso para DAAQ2, ou seja, quando for necessário recorrer aos meios auxiliares de produção de água quente, a válvula  $V_1$  volta a fechar fazendo curto-circuito ao primeiro depósito e completando o ciclo.

### 4.3 Apresentação dos resultados

Numa primeira fase, foram recolhidos dados da instalação para uma melhor compreensão do problema em estudo. Optou-se por avaliar os dados de dois meses de duas épocas distintas do ano, janeiro e junho, e analisar as diferenças.

Reuniram-se os dados dos vários contadores existentes na central através dos quais foi observado que existe uma grande distinção entre as duas épocas do ano. Para uma melhor compreensão do explicado anteriormente, foram construídos os gráficos apresentados a seguir.

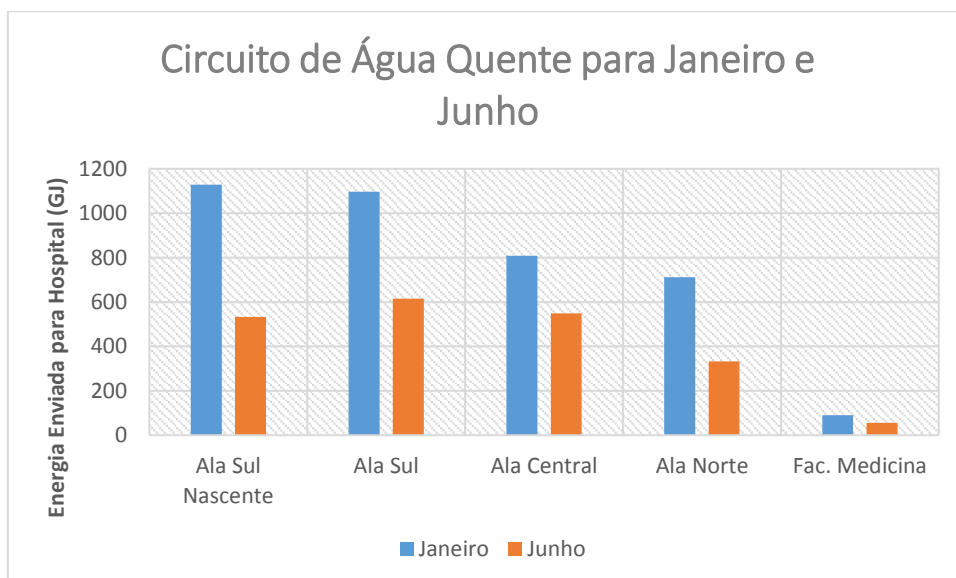


Figura 4.8-Energia enviada para o hospital de água quente em janeiro e junho.

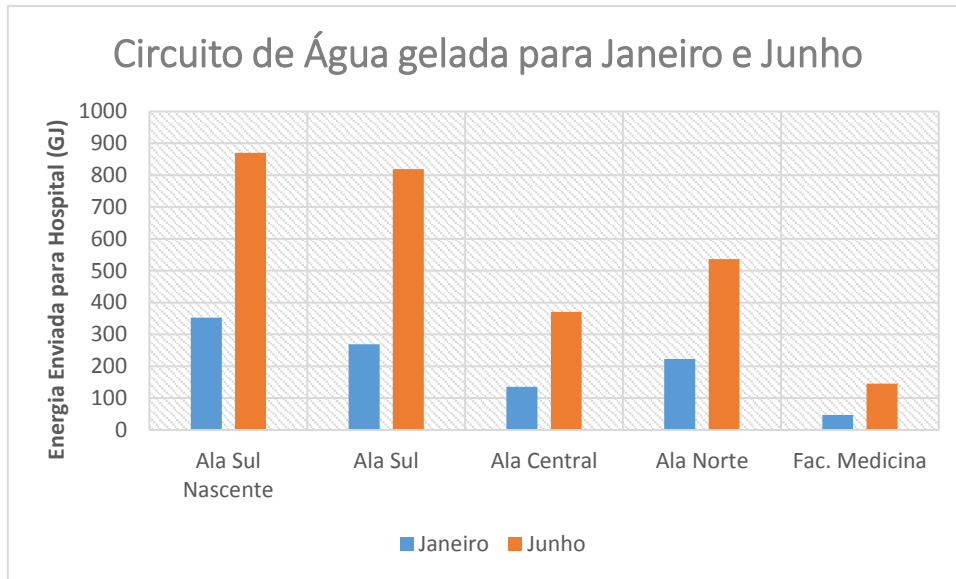


Figura 4.9- Energia enviada para o hospital de água gelada em janeiro e junho.

Nos gráficos apresentados observa-se que, como era de esperar, no mês de janeiro é enviado para as várias alas do hospital mais água quente (e consequentemente mais é produzida pela cogeração), uma vez que é um mês no qual está muito frio, e ao invés, em junho é produzida e enviada para o hospital mais água gelada, visto ser um mês bastante quente.

Estes dois casos distintos levam a que na instalação seja imprescindível ligar equipamentos auxiliares diferentes. Quando a necessidade de calor é mais elevada, liga-se a caldeira de água quente, e quando a necessidade de frio é maior, liga-se o chiller elétrico.

Pelo facto do funcionamento da instalação depender de muitos fatores, entre eles as condições climáticas, o mais correto para se avaliar se a implantação do terceiro depósito de água quente é ou não vantajoso para a empresa, é estudar os dois casos em separado, pois é essencial saber se esta proposta é vantajosa durante todo o ano.

#### 4.3.1 Estudo da poupança de energia para a caldeira de água quente

Nos meses de Inverno, o maior problema que a central enfrenta é, em certas alturas, não conseguir suprir as necessidades de calor do hospital e precisar ligar a caldeira de água quente que existe na instalação. Desta forma conseguem enviar para o hospital o que este necessita. No entanto, visto que a caldeira utiliza gás natural para o seu funcionamento vão existir gastos acrescidos à sua utilização.

Foi importante avaliar durante quantos dias e quantas horas a caldeira foi ligada durante o mês de janeiro e qual foi caudal de água quente que produziu. Assim, através dos

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

dados recolhidos, analisou-se que a caldeira foi ligada todos os dias, mas durante diferentes períodos de tempo. Ao todo trabalhou durante 253 horas e o caudal de água produzido foi calculado através da quantidade de gás que esta utilizou no seu funcionamento.

Após os cálculos, concluiu-se que a caldeira produziu, no total, cerca de  $40,5 \times 10^6$  kg de água quente durante o mês, e conseqüentemente, com um caudal médio de 159 m<sup>3</sup>/h.

Foi também importante calcular a energia que esta produziu, uma vez que se pretendia descobrir a quantidade de energia que iria ser poupada com a adição do novo depósito. O valor obtido para todo o mês foi de 437,7 MWh, o que conduz a uma potência média de 1,73MW.

Como já foi referido, o período de funcionamento da caldeira varia muito, uma vez que existem vários fatores que influenciam a laboração desta, como por exemplo a temperatura ambiente e o número de motores de combustão que a central tem em atividade no momento. No entanto, foi possível apurar que durante a semana ela trabalha em média 5 horas por dia (no período entre as 0h-7h), aos sábados trabalha em média 9 horas por dia (no período entre as 22h-9h) e ao domingo trabalha em média 18 horas por dia, durante todo o dia. Os intervalos de tempo em que a caldeira é ligada são períodos nos quais apenas um motor está a operar na central. Pela análise dos valores alcançados anteriormente, pode-se afirmar que durante o mês de janeiro, a caldeira produziu um caudal médio de água bastante elevado, e visto que há dias em que esta funciona praticamente todo o dia, o depósito teria de ter um volume exorbitante para suportar o consumo de água quente e impedir a atividade da caldeira, o que torna inviável esta hipótese.

Desta forma, optou-se por atribuir um volume ao depósito que fosse mais real, e calcular quanto tempo este iria retardar a necessidade de ligar a caldeira e quanto a empresa iria poupar em gás natural.

#### *4.3.1.1 Escolha do volume do depósito (m<sup>3</sup>)*

Para uma melhor avaliação do problema, optou-se por estudar a recuperação de energia para 4 volumes de depósito diferentes, 30m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup>, 90m<sup>3</sup> e 150m<sup>3</sup>.

Numa fase inicial, calculou-se as horas por mês, que se iria poupar no funcionamento da caldeira auxiliar com a implantação do novo depósito. A partir daqui foi possível calcular a energia que iria ser economizada.

Na tabela 4.1 apresentam-se os valores obtidos para os diferentes volumes de depósito.

Tabela 4.1-Energia economizada para os diferentes volumes de depósito.

	30 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	90 m <sup>3</sup>	150 m <sup>3</sup>
Horas (h)	3h56min	7h53min	11h50min	19h43min
Energia (MWh)	6,8	13,6	20,5	34

Através da tabela verifica-se que as horas, durante todo o mês, que se iria conseguir evitar ligar a caldeira não são muito relevantes, uma vez que um depósito com igual volume ao que se encontra já na instalação (30m<sup>3</sup>) apenas iria poupar cerca de 4 horas e um com um volume bastante superior (150m<sup>3</sup>) iria poupar aproximadamente 20h, o que também não é muito satisfatório para um volume tão elevado.

Para uma melhor compreensão dos valores obtidos para a energia poupada, foi construído o gráfico seguinte onde pode ser observado a energia poupada pela adição do novo depósito em função do volume deste.

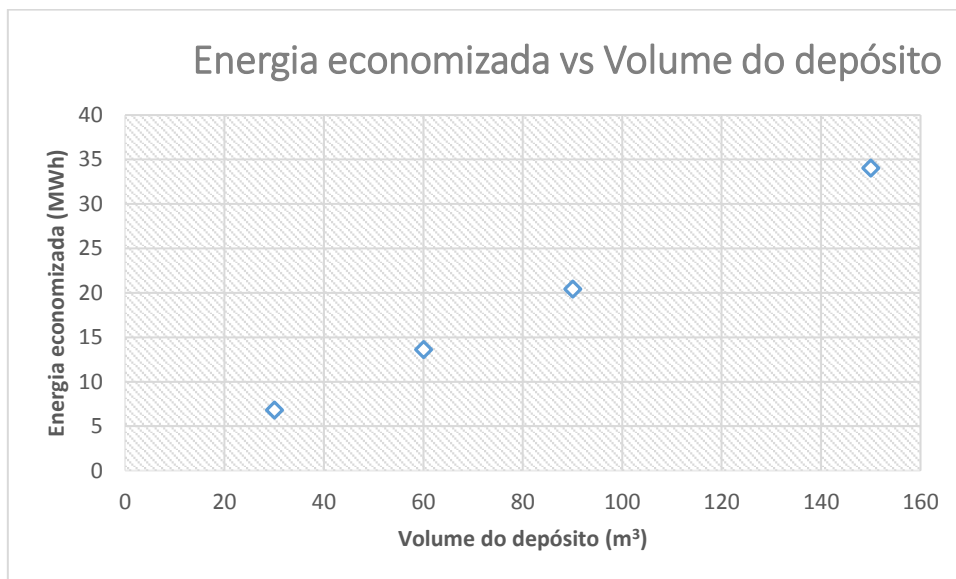


Figura 4.10- Energia economizada (MWh) em função do volume do depósito. (m<sup>3</sup>)

Analisando a figura 4.5, pode afirmar-se que a quantidade de energia poupada é diretamente proporcional à capacidade do novo depósito. Isto é lógico, uma vez que, quanto maior for a capacidade do depósito, mais se consegue adiar o acionamento da caldeira de água quente, diminuindo o consumo de gás natural por parte desta.

No entanto, na realidade isto não será inteiramente verdade uma vez que, um maior volume de depósito conduz a uma maior área de transferência que por sua vez leva a uma maior e perda de energia quer por radiação quer por convecção. A proporcionalidade observada entre as grandezas representadas no gráfico da figura 4.5

só seria totalmente cumprida se se admitisse que ao longo do dia não existiriam perdas por parte do depósito, o que é impossível por mais perfeito que seja o isolamento. Desta forma, os 34MWh que supostamente se iria economizar no depósito de maior capacidade seria na realidade menos, o que indica que um volume tão grande não será tão vantajoso como aparenta.

#### 4.3.2 Estudo da poupança de energia para o chiller elétrico

Ao contrário do referido no subcapítulo 4.3.1., nos meses de verão, o maior contratempo que a central enfrenta é o de não conseguir suprir as necessidades de frio do hospital somente a partir da produção dos chillers de absorção. Quando isto acontece, veem-se obrigados a acionar o chiller elétrico. Desta forma fornecem ao hospital o que este necessita, mas, uma vez que este chiller utiliza eletricidade para o seu funcionamento, vão existir gastos acrescidos à sua utilização.

Inicialmente, recolheu-se os dados dos contadores de entalpia da central relativos ao funcionamento dos chillers, de forma a encontrar um perfil da frequência com que estes trabalham. Assim, após esta análise, constatou-se que para além de ter sido ligado em junho, o chiller elétrico também trabalhou em janeiro, apesar de neste mês ter trabalhado durante um período inferior. Em janeiro foi ligado 15 dias e em junho 18 dias, sendo que na maioria das vezes foi durante os fins de semana.

Para uma melhor compreensão, através dos valores lidos nos contadores de entalpia, foram construídos os gráficos apresentados nas figuras seguintes.

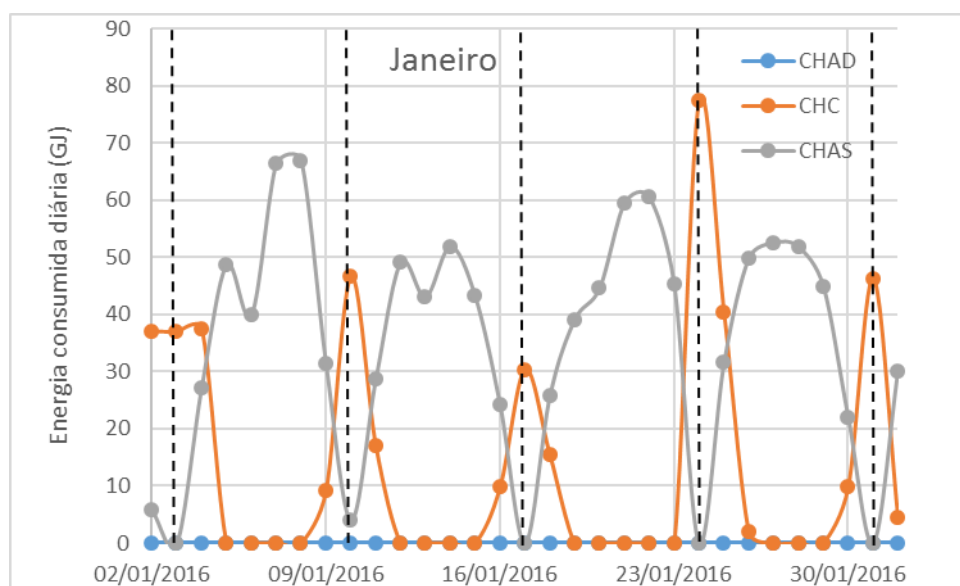


Figura 4.6- Energia consumida pelos diferentes chillers presentes na instalação durante o mês de janeiro.

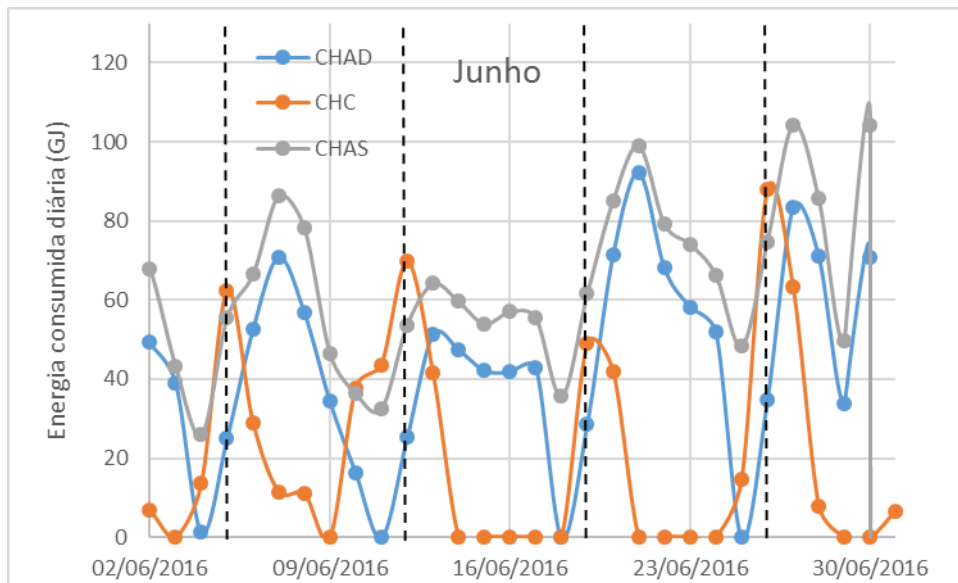


Figura 4.7-- Energia consumida pelos diferentes chillers presentes na instalação durante o mês de junho.

Através da análise das figuras 4.6 e 4.7 observa-se que o chiller elétrico foi obrigado a trabalhar nos períodos onde o CHAS consumiu menos energia. No mês de janeiro esta correspondência é mais óbvia uma vez que o CHAD esteve parado todo o mês.

Em junho, o CHAD teve de funcionar, uma vez que a temperatura ambiente foi mais elevada. O chiller elétrico apresenta maiores consumos aos domingos (identificados a traço interrompido a preto), que correspondem, mais uma vez, aos valores mínimos de energia do CHAS.

Desta forma, os fatores que ditam o acionamento do chiller elétrico são a capacidade do CHAD e CHAS gelarem água e o consumo por parte do hospital.

Visto que o novo depósito de nada irá influenciar o funcionamento do CHAD (uma vez que este é alimentado a vapor proveniente do coletor de vapor), apenas se torna importante a análise do CHAS.

Na figura 4.8 está representado um gráfico com o calor diário fornecido ao CHAS no mês de janeiro.



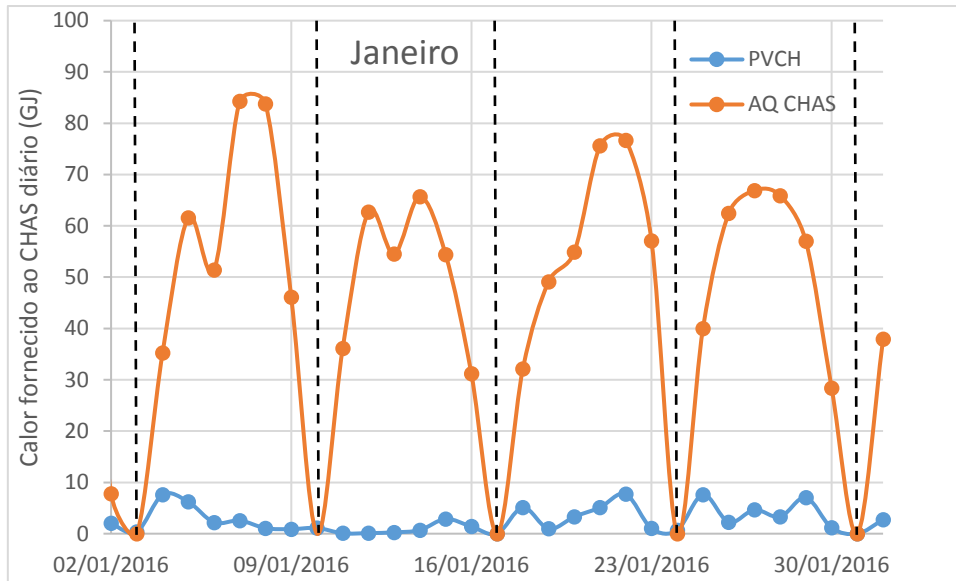


Figura 4.8- Calor diário fornecido ao CHAS através da corrente de água quente (AQ CHAS) e do PVCH (permutador de vapor do chiller).

Através da análise a esta figura percebe-se que a principal fonte de alimentação ao CHAS é sem dúvida a corrente de água quente proveniente de DAAQ1 mas, além disso, o permutador de vapor também cede calor a esta corrente, de forma a ser possível manter a temperatura que o chiller necessita na sua alimentação. Apesar disto, verifica-se também, que aos domingos (identificados a traço interrompido a preto) as duas fontes de calor fornecem pouca energia ao CHAS, o que correspondem precisamente aos dias em que o chiller elétrico trabalha.

Assim, foi importante calcular a energia que CHC removeu ao circuito da água gelada nestes dois meses, de forma a ser possível calcular o volume médio de água quente que seria necessária fornecer ao gerador do CHAS para remover a mesma energia ao circuito de água gelada.

Os valores obtidos, para os dois meses, podem ser vistos na tabela 4.2 apresentada em seguida.

Tabela 4.2- Energia produzida pelo chiller elétrico, massa e volume de água necessário para remover a mesma energia.

	Energia removida (GJ)	Massa (kg)	Volume médio diário (m <sup>3</sup> )
<b>Janeiro</b>	420,68	3,35x10 <sup>7</sup>	2234,3
<b>Junho</b>	598,15	4,77x10 <sup>7</sup>	2647,4

Analisando estes valores, pode afirmar-se que a produção de energia pelo chiller elétrico foi sensivelmente maior em junho, como já era de esperar, e que o volume de água necessário para remover essa energia em todo o mês foi muito elevado.

De forma a calcular o volume que o novo depósito deveria ter, calculou-se o volume médio de água corresponde à energia fornecida ao CHAS nos dois meses nos dias em que o CHC também funcionou.

*Tabela 4.3- Energia fornecida ao CHAS nos dias em que o elétrico funcionou., massa e volume de água necessário para fornecer a mesma energia*

	<b>Energia fornecida (GJ)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Volume médio diário (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Janeiro</b>	357,22	6,32x10 <sup>6</sup>	421,62
<b>Junho</b>	1366,61	2,41x10 <sup>7</sup>	1344,15

Na tabela anterior, pode-se analisar que em junho a energia fornecida ao CHAS foi mais elevada do que em janeiro, isto significa que foi necessário gelar mais água neste mês.

Assim, através de um balanço ao novo depósito foi possível calcular o volume que este deveria ter de forma a assegurar a energia necessária ao CHAS para evitar o funcionamento do chiller elétrico.

*Tabela 4.4- Volume necessário do novo tanque para fornecer energia térmica o CHAS*

	<b>Energia fornecida ao CHAS (GJ)</b>	<b>Energia removida no CHC (GJ)</b>	<b>Volume médio diário (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Janeiro</b>	357,22	420,68	826,32
<b>Junho</b>	1366,61	598,15	1739,22

Assim, pela análise da tabela 4.4, observa-se que o volume necessário do novo depósito seria muito elevado. Desta forma optou-se por calcular a poupança para os volumes atribuídos anteriormente.

Tendo em consideração o volume médio diário de água necessário para remover a energia no chiller elétrico e os volumes de depósito estudados anteriormente, foi possível calcular as horas que serão poupadas ao funcionamento do chiller elétrico pela adição do novo depósito. Estes valores podem ser consultados na tabela 4.5.

*Tabela 4.5- Horas poupadas ao chiller elétrico pela adição do novo depósito*

	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>90 m<sup>3</sup></b>	<b>150 m<sup>3</sup></b>
<b>Horas poupadas em janeiro (h)</b>	4h50min	9h40min	14h30min	24h10min

<b>Horas poupadas em junho (h)</b>	4h54min	9h47min	14h41min	24h28min
------------------------------------	---------	---------	----------	----------

Pela tabela, observa-se que os dois meses apresentam valores muito semelhantes. Para o depósito com menor volume, conseguir-se-á poupar ao chiller elétrico cerca de 5 horas por mês em ambos os meses, e para o maior volume poupar-se-á 1 dias por mês. Tal deve-se ao facto da capacidade do depósito nunca conseguir fornecer calor suficiente ao CHAS de forma a produzir frio que evite o total funcionamento do CHC.

A partir dos valores obtidos na tabela 4.5 foi possível calcular a energia que será poupada ao poupar o chiller elétrico de funcionar nas horas calculadas. Na tabela 4.6 podem observar-se esses valores.

*Tabela 4.6- Energia poupada ao chiller*

	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>90 m<sup>3</sup></b>	<b>150 m<sup>3</sup></b>
<b>Energia poupada em janeiro (kWh)</b>	2468,07	4936,14	7401,21	12340,34
<b>Energia poupada em janeiro (MWh)</b>	2,5	4,9	7,4	12,3
<b>Energia poupada em junho (kWh)</b>	2499,55	4999,09	7498,64	12497,74
<b>Energia poupada em junho (MWh)</b>	2,5	5	7,5	12,5

Para uma melhor compreensão dos valores obtidos na construção da tabela 4.6, contruiu-se o gráfico seguinte onde pode ser observado a energia poupada pela adição do novo depósito.

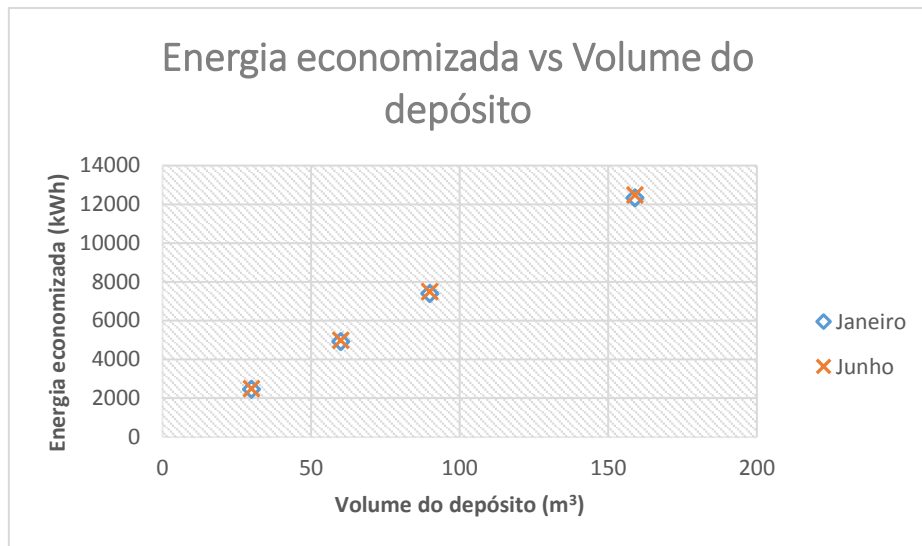


Figura 4.9- Energia economizada (kWh) em função do volume do depósito (m³).

Analisando a figura 4.9, pode afirmar-se que a quantidade de energia poupada é diretamente proporcional à capacidade do novo depósito, como já verificado anteriormente no estudo da caldeira de água quente.

Pode-se observar que em ambos os meses a poupança foi muito semelhante, no entanto em junho foi ligeiramente mais elevada. Isto deve-se a que, como nesta época do ano existe uma temperatura ambiente mais elevada, a água fria que retorna do hospital para ser novamente arrefecida está a uma temperatura mais elevada, o que implica uma maior remoção de energia por parte do CHC para enviar esta corrente de novo para o hospital com a temperatura necessária.



## 5. Análise Económica

Como forma de estudar a viabilidade do projeto e se este tem interesse económico para a empresa, foi necessário fazer a sua análise económica.

Inicialmente, fez-se uma estimativa do valor que a empresa pagou de gás natural e eletricidade com o uso da caldeira de água quente e do chiller elétrico, e depois, face à energia que iria economizar, quanto seria poupado.

Numa segunda etapa, recolheu-se os vários elementos que iriam fazer parte do novo projeto, bem como as respetivas características e preços.

Para finalizar, calculou-se o *payback time* para o projeto e analisou-se a exequibilidade deste.

Todos os cálculos e valores recolhidos na central que dizem respeito a este capítulo são apresentados no Anexo D.

### 5.1 Gás Natural

A poupança de gás natural é um dos pontos fulcrais deste trabalho. Deste modo, para ser possível a discussão da diferença que a implantação do novo depósito irá trazer para os gastos da empresa, foi necessário procurar a tarifa de gás natural praticada na central.

A empresa escolhida foi a Galp, e o plano mais vantajoso pratica os preços apresentados em seguida.

*Tabela 5.1- Tarifas de gás natural.*

<b>Tarifa GN</b>	
<b>Termo fixo (€/dia)</b>	0,2066
<b>Termo de energia (€/kWh)</b>	0,0463

Tendo em consideração que o mês de janeiro tem 31 dias e o valor calculado anteriormente de energia gasta pela caldeira (436,75 MWh), apresenta-se na tabela seguinte os gastos que a utilização da caldeira no mês de janeiro implicou.

*Tabela 5.2- Valores a pagar de gás natural para o mês de janeiro.*

<b>Tarifa GN</b>	
<b>Termo fixo (€)</b>	6,40
<b>Termo de energia (€)</b>	20484,29

<b>Total (€)</b>	20490,69
------------------	----------

Apesar de, durante o mês de janeiro, a caldeira ter apenas trabalhado 253 horas, pela análise da tabela 5.2, conclui-se que o valor pago em gás natural pela empresa ainda mostra ser bastante considerável. Desta forma, o mais importante é saber qual será a poupança, e esta depende, como é natural, da capacidade do depósito.

Na tabela seguinte são apresentados os diferentes volumes para o depósito bem como a poupança a que conduzem.

Tabela 5.3- Valor poupado em função do volume do depósito.

	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>90 m<sup>3</sup></b>	<b>150 m<sup>3</sup></b>
<b>Horas</b>	3h56 min	7h53 min	11h50 min	19h43 min
<b>Energia (MWh)</b>	6,8	13,6	20,5	34
<b>Poupança (€)</b>	319	637	956	1593
<b>% Poupança</b>	1,6%	3,1%	4,7%	7,8%

Pela tabela 5.3 conclui-se que a adição de um terceiro depósito não conduz a uma poupança muito significativa no que diz respeito a gastos com gás natural. Para o maior volume, de 150m<sup>3</sup>, apenas se economiza cerca de 8% do valor de gás gasto com a caldeira auxiliar, e tendo em conta que o DAAQ3 teria um volume cinco vezes superior ao já existente na instalação (DAAQ2), a poupança revela-se pouco significativa.

## 5.2 Eletricidade

Os gastos com eletricidade também são de extrema importância para este trabalho. Desta forma, para os cálculos admitiu-se a tarifa praticada pela EDP apresentada em seguida.

Tabela 5.4- Tarifas da eletricidade.

<b>Tri-Horário</b>			
<b>Potência (€/dia)</b>	<b>Energia (€/kWh)</b>		
	<b>Ponta</b>	<b>Cheias</b>	<b>Vazio</b>
1,9969	0,2878	0,1438	0,0805

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

Com esta tarifa e admitindo que em janeiro o chiller funcionou durante 160h e em junho durante 180horas, foi possível calcular quanto é que a empresa pagou de eletricidade com o chiller neste período de tempo. Estes valores podem ser consultados na tabela seguinte.

Tabela 5.5- Valores a pagar de eletricidade em janeiro e junho.

	<b>Janeiro</b>	<b>Junho</b>
<b>Potência (€)</b>	61,9	59,9
<b>Energia (€)</b>	6576	7398
<b>Total (€)</b>	6638	7458

Para os cálculos da tabela anterior, admitiu-se que o chiller trabalha durante a semana e sábados só em horário noturno e ao domingo trabalha todo o dia, o que corresponde em todos os casos a período de vazio.

Nos dois meses a empresa pagou um valor considerável de eletricidade só por parte do chiller elétrico. Assim, é importante calcular a poupança que daí irá existir.

Nas tabelas seguintes são apresentadas as poupanças que os diferentes volumes de depósito conduzem para janeiro e junho.

Tabela 5.6- Poupança para o janeiro

	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>90 m<sup>3</sup></b>	<b>150 m<sup>3</sup></b>
<b>Energia (MWh)</b>	2,5	4,9	7,4	12,3
<b>Poupança (€)</b>	199	397	596	993
<b>% Poupança</b>	3%	6%	9,1%	15,1%

Tabela 5.7- Poupança para junho

	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>90 m<sup>3</sup></b>	<b>150 m<sup>3</sup></b>
<b>Energia (MWh)</b>	2,5	5	7,5	12,5
<b>Poupança (€)</b>	201	402	604	1006
<b>% Poupança</b>	2,7%	5,4%	8,2%	13,6%

Pelas tabelas anteriores conclui-se que a adição de um terceiro depósito não conduz a uma poupança muito significativa no que diz respeito à eletricidade. Para o maior volume, de 150m<sup>3</sup>, só se economiza cerca de 15% do valor gasto em eletricidade através da utilização do chiller em janeiro e 14% em junho, e visto que este volume é



Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

muito superior ao depósito que já existe na instalação, a poupança não se torna muito vantajosa.

### 5.3 Investimento do projeto

O fator fulcral que determina a viabilidade deste projeto é, sem dúvida, o *payback time*. Porém, para este cálculo ser possível é preciso, previamente, calcular o valor do investimento inicial.

Para além do depósito, existem outros elementos que são precisos incorporar no novo projeto, entre eles, a tubagem, duas válvulas e o isolamento para a tubagem.

O depósito existente na instalação (DAAQ2) designa-se por depósito de inércia térmica, isolado e com proteção mecânica equipado com acessórios. O novo depósito deverá ser semelhante a este. Assim, o preço do DAAQ3 terá como base o preço do DAAQ2, considerando que o preço é proporcional à capacidade, uma vez que, por se tratar de um depósito com características muito próprias, torna-se difícil encontrar o seu valor exato. Na realidade esta correspondência não é totalmente perfeita, uma vez que há termos fixos na determinação do preço do depósito. Desta forma a estimativa do preço é obtida por excesso.

Considerou-se que o depósito e tubagem são do mesmo material dos elementos que já existem na instalação, nomeadamente Aço tipo st 35,8 Din 2448. Desta forma, a partir deste dado, foi possível procurar preços para este tipo de tubagem admitindo DN300.

O isolamento da tubagem será do tipo coquilha com espessura de 45mm.

Relativamente às válvulas, vão ser necessárias duas válvulas de três vias. Foi pedido um orçamento à empresa Samson para que esta análise fosse o mais correta possível.

Para este estudo não se incluiu bombas no investimento uma vez que o novo depósito terá a possibilidade de utilizar as bombas já existentes na instalação.

Na tabela seguinte é possível consultar o custo dos vários investimentos calculados para a nova instalação.

Tabela 5.8 -Diferentes investimentos para a nova instalação.

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>150</b>
<b>Investimento (k€)</b>	80	123	165	250

Como era de esperar, para o volume de 150 m<sup>3</sup> verifica-se um investimento bastante mais elevado, uma vez que a única diferença entre os vários investimentos é apenas o

preço do depósito e, para este volume, o DAAQ3 custará cinco vezes mais do que o depósito já existente na instalação.

#### 5.4 Estudo do *payback time* do projeto

Apesar do estudo deste trabalho ter sido feito apenas para dois meses do ano, na instalação, a caldeira de água quente é ligada sensivelmente durante 4 meses por ano e o chiller elétrico é ligados ao longo de todo o ano.

Desta forma, para o cálculo do *payback time* admitiu-se que a caldeira auxiliar é ligada durante 4 meses por ano e o chiller durante 12 meses, no entanto os regimes de funcionamento deverão ser diferentes entre os meses de frio e de calor.

Na tabela seguinte pode consultar-se o *payback time* do projeto dependendo do volume do depósito.

Tabela 5.9 *Payback time* do projeto.

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>150</b>
<b><i>Payback time</i> (meses)</b>	261,8	200,4	179,8	163,4
<b><i>Payback time</i> (anos)</b>	21,8	16,7	15,0	13,6

Foi construída a figura 5.1 na qual se tem uma perspetiva melhor do comportamento do *payback time* face ao volume do depósito.

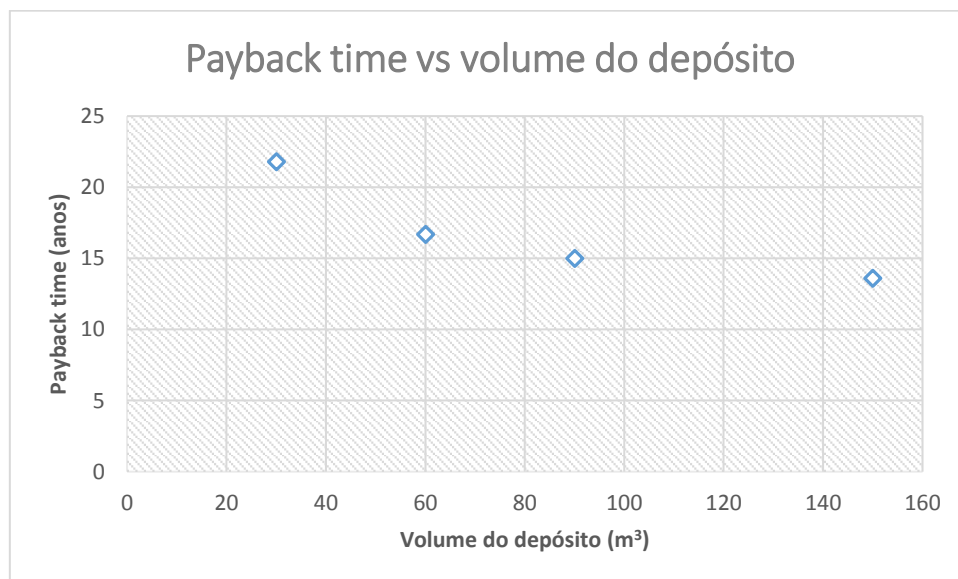


Figura 5.1- *Payback time* (anos) vs Volume do depósito (m<sup>3</sup>).

Tendo realizado a análise ao retorno do investimento para o maior e menor volume do depósito, verifica-se que o *payback time* situa-se entre os 13,6 anos e 21,8 anos. O investimento correspondente ao maior tanque é o que, é o mais viável com um período de amortização de cerca de 14 anos. Ainda assim, não será a escolha mais correta uma vez que na instalação não existe área suficiente para albergar um depósito com estas dimensões. O investimento não se mostra viável mesmo para o depósito de maior capacidade.

## 6. Conclusão

Esta tese teve como objetivo avaliar a oportunidade de poupança de energia de um sistema de trigeração de um hospital e se possível minimizar as perdas existentes através da implantação de um depósito de água quente adicional na instalação.

Procurou-se satisfazer as necessidades de água quente e de água gelada nos períodos do dia e da semana em que apenas um motor de combustão está em funcionamento. O problema que se procurou resolver foi o de poder produzir menos eletricidade e, ainda assim, continuar a fornecer energia térmica e frio à unidade hospitalar sem recurso a aparelhos auxiliares. Atualmente o calor e o frio não são produzidos de forma a satisfazer as necessidades do hospital, a caldeira de água quente e chiller elétrico são obrigados a funcionar onerando os custos de gás natural e energia elétrica respetivamente.

No caso da caldeira, esta apenas funciona nos meses frios, pelo que apenas se analisou janeiro. Durante este mês, produziu um caudal médio de 159,9 m<sup>3</sup>/h e 437,7 MWh.

Optou-se por atribuir diferentes volumes ao novo depósito e calcular qual será o mais vantajoso para a central. Os volumes escolhidos foram de 30m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup>, 90m<sup>3</sup> e 150m<sup>3</sup>, e no caso da caldeira, irá ser poupado 6,8MWh, 13,6MWh, 20,5MWh e 34 MWh respetivamente para os diferentes volumes. Nesta análise admitiu-se que o depósito não sofre perdas por radiação e convecção, o que na realidade nunca irá acontecer.

Em relação ao chiller elétrico, este funciona tanto em meses frios, como em meses quentes, mas com mais incidência, como é lógico, nos meses mais quentes.

Apurou-se a quantidade de energia que este removeu de uma corrente de água em janeiro e junho, nomeadamente 420,68 GJ e 598,15 GJ respetivamente. Posto isto, calculou-se qual o volume médio diário de água que foi necessário para o chiller retirar essa energia, obtendo-se volumes de 2234,3 m<sup>3</sup> e 2647,4 m<sup>3</sup> para janeiro e junho respetivamente.

Em seguida, calculou-se o volume médio diário de água quente que alimentou o CHAS. Os valores calculados foram 421,62 m<sup>3</sup> em janeiro e 1344,15 m<sup>3</sup> em junho.

A partir daqui foi possível calcular o volume médio diário que do novo depósito, tendo em consideração os volumes médios diários dos dois chiller. Para janeiro obteve-se um volume de 826,32 m<sup>3</sup> e para junho de 1739,22 m<sup>3</sup>. Visto serem volumes muito elevados,

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

optou-se pela mesma estratégia já utilizada anteriormente e atribuiu-se quatro volumes diferentes e calcular a poupança em eletricidade para cada um deles.

Em janeiro obteve-se uma poupança de 2,5 MWh, 4,9 MWh, 7,4 MWh e 12,3 MWh para os volumes de 30, 90, 60 e 150 m<sup>3</sup> respetivamente.

Para junho, a poupança obtida, para os mesmos volumes foram de 2,5 MWh, 5 MWh, 7,5 MWh e 12,5 MWh.

Pelos valores obtidos, conclui-se que nos dois meses a poupança foi muito semelhante, no entanto em junho foi ligeiramente mais elevada. Isto deve-se a que, como nesta época do ano existe uma temperatura ambiente mais elevada, a água fria que retorna do hospital para ser novamente arrefecida está a uma temperatura mais elevada, o que implica uma maior remoção de energia por parte do CHC para enviar esta corrente de novo para o hospital com a temperatura necessária.

O investimento proposto para este projeto depende do volume que o novo depósito irá ter, assim como o *payback time* calculado. Assim, sugeriu-se o investimento de 80 k€ caso a escolha recaia no depósito de 30 m<sup>3</sup> que irá ter um *payback time* de 261,8 meses, 123 k€ para o de 60 m<sup>3</sup> com *payback time* de 200,4 meses, 165 k€ para 90m<sup>3</sup> com *payback time* de 179,8 meses e por fim, 250 k€ para 150 m<sup>3</sup> com *payback time* de 163,4 meses.

Face aos valores obtidos para os períodos de retorno de investimento este projeto é economicamente inviável.

## 7. Bibliografia

- [1] França, Ana, et al, 2008. Cogeração e Trigeriação. Tese de mestrado em Engenharia Eletrotécnica. Universidade de Coimbra
- [2] Decreto-Lei n.º 186/95 de 27 de julho
- [3] Silva, C. S., & Mendonça, J. P, 2003. Produção e Distribuição Centralizada de Energia Térmica e Cogeração. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade de Coimbra.
- [4] Educogen, Guide to Cogeneration, 2001.
- [5] Castro, R. M, 2009. Introdução à Cogeração. Instituto Superior Técnico de Lisboa
- [6] Costa, J.M, 2011. A Cogeração em Portugal: Desafios e Oportunidades. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
- [7] Veolia. Julho 2015. A cogeração e a eficiência energética nos edifícios hospitalares. Benefícios técnicos e económicos. Porto. (Versão PDF do documento descarregada em 11 de Setembro de 2016)
- [8] Xavier, Celso e Costa, Sérgio, Cogeração- As várias Alternativas, Cadernos do Ambiente AIP, s.d.
- [9] Martins Vieira, M. Auditoria e otimização energética de uma unidade fabril. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [10] <http://www.mspc.eng.br/termo/termo0530.shtml> (Acedido a 25/09/2016)
- [11] <http://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/cogeracao-tecnologias-de-trigeracao-6a-parte> (Acedido a 10/09/2016)
- [12] <http://www.samson.pt/> (Acedido a 2/10/2016)
- [13] <http://www.humbertopocas.pt/> (Acedido a 2/10/2016)
- [14] <http://www.armacell.pt/> (Acedido a 2/10/2016)



## Anexos

### A – Dados recolhidos na central para o mês de janeiro e junho

Neste subcapítulo será fornecida toda a informação relativa aos contadores de entalpia existentes na central, bem como os dados recolhidos para o mês de janeiro e junho.

#### A.1. Permutador vapor/água 1 (PVAQ1))

Neste contador pode-se ler a energia fornecida pelo permutador de água quente 1 para aquecer água quente proveniente do DAAQ2.

Tabela A.1- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 1.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	1248,719	4,283	31/05/2016	2128,501	-
02/01/2016	1253,002	0	01/06/2016	2139,906	0,122
03/01/2016	1253,002	0,005	02/06/2016	2140,028	0,012
04/01/2016	1253,007	4,545	03/06/2016	2140,040	9,975
05/01/2016	1257,552	21,346	04/06/2016	2150,015	0,005
06/01/2016	1278,898	0,023	05/06/2016	2150,020	0,012
07/01/2016	1278,921	14,103	06/06/2016	2150,032	0,001
08/01/2016	1293,024	19,852	07/06/2016	2150,033	0
09/01/2016	1312,876	0,003	08/06/2016	2150,033	0,012
10/01/2016	1312,879	6,458	09/06/2016	2150,045	7,617
11/01/2016	1319,337	11,739	10/06/2016	2157,662	0,002
12/01/2016	1331,076	4,495	11/06/2016	2157,664	0,001
13/01/2016	1335,571	13,608	12/06/2016	2157,665	0,004
14/01/2016	1349,179	0,319	13/06/2016	2157,669	0,013
15/01/2016	1349,498	14,673	14/06/2016	2157,682	10,151
16/01/2016	1364,171	0,003	15/06/2016	2167,833	0,011
17/01/2016	1364,174	0,003	16/06/2016	2167,844	0,009
18/01/2016	1364,177	0,021	17/06/2016	2167,853	18,062
19/01/2016	1364,198	7,139	18/06/2016	2185,915	0,015
20/01/2016	1371,337	14,004	19/06/2016	2185,930	0,777
21/01/2016	1385,341	0,007	20/06/2016	2186,707	5,458
22/01/2016	1385,348	0,005	21/06/2016	2192,165	0,003
23/01/2016	1385,353	0	22/06/2016	2192,168	5,73
24/01/2016	1385,353	0	23/06/2016	2197,898	2,95
25/01/2016	1385,353	5,977	24/06/2016	2200,848	12,016
26/01/2016	1391,330	17,85	25/06/2016	2212,864	0,03
27/01/2016	1409,180	6,69	26/06/2016	2212,894	0
28/01/2016	1415,870	18,046	27/06/2016	2212,894	0,007
29/01/2016	1433,916	2,903	28/06/2016	2212,901	8,681
30/01/2016	1436,819	0	29/06/2016	2221,582	0,011
31/01/2016	1436,819	0	30/06/2016	2221,593	0,002



<b>01/02/2016</b>	1436,819	-	<b>01/07/2016</b>	2221,595	-
<b>Total</b>		188,1	<b>Total</b>		81,689

## A.2. Permutador vapor/água 2 (PVAQ2))

No contador de entalpia 2 pode-se ler a energia fornecida pelo permutador de água quente 2 para aquecer água quente proveniente do DAAQ2.

Tabela A.2- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 2.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
<b>01/01/2016</b>	1230,69	0,003	<b>31/05/2016</b>	2135,448	-
<b>02/01/2016</b>	1230,693	0,001	<b>01/06/2016</b>	2135,516	0,699
<b>03/01/2016</b>	1230,694	1,588	<b>02/06/2016</b>	2136,215	10,929
<b>04/01/2016</b>	1232,282	20,449	<b>03/06/2016</b>	2147,144	0,004
<b>05/01/2016</b>	1252,731	6,07	<b>04/06/2016</b>	2147,148	0,037
<b>06/01/2016</b>	1258,801	26,034	<b>05/06/2016</b>	2147,185	0
<b>07/01/2016</b>	1284,835	17,562	<b>06/06/2016</b>	2147,185	0,001
<b>08/01/2016</b>	1302,397	7,619	<b>07/06/2016</b>	2147,186	0
<b>09/01/2016</b>	1310,016	0,001	<b>08/06/2016</b>	2147,186	5,14
<b>10/01/2016</b>	1310,017	0,002	<b>09/06/2016</b>	2152,326	0,001
<b>11/01/2016</b>	1310,019	4,426	<b>10/06/2016</b>	2152,327	0
<b>12/01/2016</b>	1314,445	11,366	<b>11/06/2016</b>	2152,327	0
<b>13/01/2016</b>	1325,811	5,928	<b>12/06/2016</b>	2152,327	0,002
<b>14/01/2016</b>	1331,739	18,157	<b>13/06/2016</b>	2152,329	8,913
<b>15/01/2016</b>	1349,896	5,485	<b>14/06/2016</b>	2161,242	0,01
<b>16/01/2016</b>	1355,381	0	<b>15/06/2016</b>	2161,252	12,468
<b>17/01/2016</b>	1355,381	0,032	<b>16/06/2016</b>	2173,72	10,651
<b>18/01/2016</b>	1355,413	9,717	<b>17/06/2016</b>	2184,371	0,002
<b>19/01/2016</b>	1365,13	0	<b>18/06/2016</b>	2184,373	0
<b>20/01/2016</b>	1365,13	0,001	<b>19/06/2016</b>	2184,373	0
<b>21/01/2016</b>	1365,131	12,824	<b>20/06/2016</b>	2184,373	0,001
<b>22/01/2016</b>	1377,955	22,604	<b>21/06/2016</b>	2184,374	4,388
<b>23/01/2016</b>	1400,559	0	<b>22/06/2016</b>	2188,762	0,004
<b>24/01/2016</b>	1400,559	1,906	<b>23/06/2016</b>	2188,766	3,2
<b>25/01/2016</b>	1402,465	12,345	<b>24/06/2016</b>	2191,966	3,75
<b>26/01/2016</b>	1414,81	4,203	<b>25/06/2016</b>	2195,716	0,001
<b>27/01/2016</b>	1419,013	17,651	<b>26/06/2016</b>	2195,717	0
<b>28/01/2016</b>	1436,664	2,332	<b>27/06/2016</b>	2195,717	5,132
<b>29/01/2016</b>	1438,996	19,78	<b>28/06/2016</b>	2200,849	0,005
<b>30/01/2016</b>	1458,776	0	<b>29/06/2016</b>	2200,854	9,892
<b>31/01/2016</b>	1458,776	1,768	<b>30/06/2016</b>	2210,746	0
<b>01/02/2016</b>	1460,544	-	<b>01/07/2016</b>	2210,746	-
<b>Total</b>	-	229,854	<b>Total</b>	-	75,23

A.3. Circuito de água quente do PPAT - Energia excedente do CHAS

Neste contador pode-se ler a energia remanescente do CHAS que ao regressar para o DAAQ1, através de um permutador de placas, fornece energia a uma corrente de água quente proveniente do DAAQ2.

Tabela A.3- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 3.

Janeiro	GJ	Por Dia (24h)	Junho	GJ	Por Dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	122117,71	24,79	31/05/2016	133930,71	-
02/01/2016	122142,50	27,90	01/06/2016	134036,40	65,80
03/01/2016	122170,40	83,20	02/06/2016	134102,20	72,60
04/01/2016	122253,60	47,41	03/06/2016	134174,80	68,40
05/01/2016	122301,01	90,30	04/06/2016	134243,20	65,00
06/01/2016	122391,31	70,80	05/06/2016	134308,20	63,90
07/01/2016	122462,11	69,40	06/06/2016	134372,10	69,80
08/01/2016	122531,51	55,00	07/06/2016	134441,90	83,60
09/01/2016	122586,51	30,00	08/06/2016	134525,50	61,80
10/01/2016	122616,51	40,50	09/06/2016	134587,30	64,71
11/01/2016	122657,01	103,90	10/06/2016	134652,01	72,17
12/01/2016	122760,91	82,00	11/06/2016	134724,18	50,73
13/01/2016	122842,91	82,30	12/06/2016	134774,91	70,80
14/01/2016	122925,21	92,90	13/06/2016	134845,71	83,50
15/01/2016	123018,11	74,50	14/06/2016	134929,21	88,30
16/01/2016	123092,61	28,50	15/06/2016	135017,51	92,69
17/01/2016	123121,11	46,09	16/06/2016	135110,20	76,80
18/01/2016	123167,20	86,80	17/06/2016	135187,00	75,90
19/01/2016	123254,00	96,60	18/06/2016	135262,90	46,30
20/01/2016	123350,60	85,40	19/06/2016	135309,20	64,30
21/01/2016	123436,00	76,00	20/06/2016	135373,50	58,90
22/01/2016	123512,00	48,80	21/06/2016	135432,40	63,80
23/01/2016	123560,80	26,80	22/06/2016	135496,20	71,00
24/01/2016	123587,60	43,30	23/06/2016	135567,20	64,31
25/01/2016	123630,90	78,21	24/06/2016	135631,51	52,90
26/01/2016	123709,11	79,90	25/06/2016	135684,41	41,29
27/01/2016	123789,01	79,30	26/06/2016	135725,70	50,99
28/01/2016	123868,31	90,09	27/06/2016	135776,69	50,72
29/01/2016	123958,40	68,50	28/06/2016	135827,41	61,10
30/01/2016	124026,90	27,80	29/06/2016	135888,51	34,40
31/01/2016	124054,70	39,71	30/06/2016	135922,91	113,50
01/02/2016	124094,41	-	01/07/2016	136036,41	-
<b>Total</b>		1976,70	<b>Total</b>		2000,01

A.4. Circuito de água quente do CHAS- Energia fornecida ao CHAS

No contador de entalpia 5 pode ler-se a energia que é fornecida ao CHAS, para esta produzir água gelada, através de água quente proveniente de DAAQ1.

Tabela A.4- Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 5.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	104195,41	7,79	31/05/2016	110911,61	-
02/01/2016	104203,20	0,00	01/06/2016	111035,50	103,10
03/01/2016	104203,20	35,21	02/06/2016	111138,60	87,10
04/01/2016	104238,41	61,60	03/06/2016	111225,70	55,80
05/01/2016	104300,01	51,40	04/06/2016	111281,50	34,00
06/01/2016	104351,41	84,30	05/06/2016	111315,50	68,50
07/01/2016	104435,71	83,80	06/06/2016	111384,00	84,20
08/01/2016	104519,51	46,10	07/06/2016	111468,20	109,00
09/01/2016	104565,60	0	08/06/2016	111577,20	98,80
10/01/2016	104565,60	36,11	09/06/2016	111676,00	58,61
11/01/2016	104601,71	62,70	10/06/2016	111734,61	46,90
12/01/2016	104664,41	54,50	11/06/2016	111781,51	40,90
13/01/2016	104718,91	65,70	12/06/2016	111822,41	67,60
14/01/2016	104784,61	54,40	13/06/2016	111890,01	81,70
15/01/2016	104839,01	31,20	14/06/2016	111971,71	76,30
16/01/2016	104870,21	0,00	15/06/2016	112048,01	70,29
17/01/2016	104870,21	32,09	16/06/2016	112118,30	73,50
18/01/2016	104902,30	49,10	17/06/2016	112191,80	71,90
19/01/2016	104951,40	54,90	18/06/2016	112263,70	43,90
20/01/2016	105006,30	75,60	19/06/2016	112307,60	78,10
21/01/2016	105081,90	76,70	20/06/2016	112385,70	107,90
22/01/2016	105158,60	57,10	21/06/2016	112493,60	124,50
23/01/2016	105215,70	0,00	22/06/2016	112618,10	100,00
24/01/2016	105215,70	40,00	23/06/2016	112718,10	93,61
25/01/2016	105255,70	62,42	24/06/2016	112811,71	84,40
26/01/2016	105318,12	66,89	25/06/2016	112896,11	60,09
27/01/2016	105385,01	65,90	26/06/2016	112956,20	95,41
28/01/2016	105450,91	56,99	27/06/2016	113051,61	131,80
29/01/2016	105507,90	28,40	28/06/2016	113183,41	107,90
30/01/2016	105536,30	0,00	29/06/2016	113291,31	61,90
31/01/2016	105536,30	37,91	30/06/2016	113353,21	132,40
01/02/2016	105574,21	-	01/07/2016	113485,61	-
<b>Total</b>		1378,8	<b>Total</b>		2450,11

A.5. Circuito de água quente do PVCH- Energia do PVCH ao CHAS

Neste contador lê-se a energia fornecida pelo permutador de vapor à corrente de água quente que alimenta o CHAS.

Tabela A.5 - Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 6.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	21900,19	2,04	31/05/2016	22646,09	-
02/01/2016	21902,23	0,39	01/06/2016	22657,97	8,7
03/01/2016	21902,62	7,6	02/06/2016	22666,67	9,25
04/01/2016	21910,22	6,21	03/06/2016	22675,92	8,81
05/01/2016	21916,43	2,2	04/06/2016	22684,73	9,48
06/01/2016	21918,63	2,56	05/06/2016	22694,21	9,15
07/01/2016	21921,19	1,07	06/06/2016	22703,36	9,35
08/01/2016	21922,26	0,89	07/06/2016	22712,71	9,91
09/01/2016	21923,15	1,11	08/06/2016	22722,62	8
10/01/2016	21924,26	0,08	09/06/2016	22730,62	6,83
11/01/2016	21924,34	0,11	10/06/2016	22737,45	11,29
12/01/2016	21924,45	0,26	11/06/2016	22748,74	8,87
13/01/2016	21924,71	0,7	12/06/2016	22757,61	9,06
14/01/2016	21925,41	2,86	13/06/2016	22766,67	9,24
15/01/2016	21928,27	1,4	14/06/2016	22775,91	9,1
16/01/2016	21929,67	0	15/06/2016	22785,01	9,26
17/01/2016	21929,67	5,1	16/06/2016	22794,27	9,47
18/01/2016	21934,77	0,96	17/06/2016	22803,74	9,24
19/01/2016	21935,73	3,29	18/06/2016	22812,98	6,54
20/01/2016	21939,02	5,11	19/06/2016	22819,52	9,302
21/01/2016	21944,13	7,71	20/06/2016	22828,822	9,578
22/01/2016	21951,84	1,03	21/06/2016	22838,4	9,56
23/01/2016	21952,87	0,67	22/06/2016	22847,96	9,59
24/01/2016	21953,54	7,61	23/06/2016	22857,55	9,57
25/01/2016	21961,15	2,23	24/06/2016	22867,12	9,19
26/01/2016	21963,38	4,65	25/06/2016	22876,31	8,53
27/01/2016	21968,03	3,29	26/06/2016	22884,84	8,64
28/01/2016	21971,32	7,05	27/06/2016	22893,48	8,89
29/01/2016	21978,37	1,14	28/06/2016	22902,37	8,96
30/01/2016	21979,51	0	29/06/2016	22911,33	6,11
31/01/2016	21979,51	2,71	30/06/2016	22917,44	12,29
01/02/2016	21982,22	-	01/07/2016	22929,73	-
<b>Total</b>		82,03	<b>Total</b>		271,76

## A.6. Circuito de água gelada do CHAS

Neste contador lê-se a energia do circuito de água gelada do CHAS.

Tabela A.6-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 7.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	81328,62	5,86	31/05/2016	86576,19	-
02/01/2016	81334,48	0	01/06/2016	86672,71	81,3
03/01/2016	81334,48	27,26	02/06/2016	86754,01	68
04/01/2016	81361,74	48,73	03/06/2016	86822,01	43,21
05/01/2016	81410,47	39,94	04/06/2016	86865,22	25,93
06/01/2016	81450,41	66,44	05/06/2016	86891,15	55,65
07/01/2016	81516,85	66,99	06/06/2016	86946,8	66,49
08/01/2016	81583,84	31,5	07/06/2016	87013,29	86,42
09/01/2016	81615,34	4	08/06/2016	87099,71	78,26
10/01/2016	81619,34	28,65	09/06/2016	87177,97	46,48
11/01/2016	81647,99	49,09	10/06/2016	87224,45	36,38
12/01/2016	81697,08	43,11	11/06/2016	87260,83	32,59
13/01/2016	81740,19	51,95	12/06/2016	87293,42	53,73
14/01/2016	81792,14	43,24	13/06/2016	87347,15	64,14
15/01/2016	81835,38	24,26	14/06/2016	87411,29	59,63
16/01/2016	81859,64	0	15/06/2016	87470,92	54,03
17/01/2016	81859,64	25,81	16/06/2016	87524,95	57,1
18/01/2016	81885,45	39,17	17/06/2016	87582,05	55,51
19/01/2016	81924,62	44,67	18/06/2016	87637,56	35,6
20/01/2016	81969,29	59,5	19/06/2016	87673,16	61,64
21/01/2016	82028,79	60,62	20/06/2016	87734,8	85,18
22/01/2016	82089,41	45,28	21/06/2016	87819,98	98,97
23/01/2016	82134,69	0	22/06/2016	87918,95	79,18
24/01/2016	82134,69	31,57	23/06/2016	87998,13	74,15
25/01/2016	82166,26	49,89	24/06/2016	88072,28	66,3
26/01/2016	82216,15	52,62	25/06/2016	88138,58	48,37
27/01/2016	82268,77	51,92	26/06/2016	88186,95	74,83
28/01/2016	82320,69	44,99	27/06/2016	88261,78	104,36
29/01/2016	82365,68	22,02	28/06/2016	88366,14	85,57
30/01/2016	82387,7	0	29/06/2016	88451,71	49,73
31/01/2016	82387,7	30,18	30/06/2016	88501,44	104,27
01/02/2016	82417,88	-	01/07/2016	88605,71	-
<b>Total</b>		1089,26	<b>Total</b>		1933

## A.7. Circuito água gelada do CHAD

Neste contador lê-se a energia do circuito de água gelada do CHAD.

Tabela A.7 - Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 8.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	24197,83	0	31/05/2016	25288,31	-
02/01/2016	24197,83	0	01/06/2016	25361,60	55,58
03/01/2016	24197,83	0	02/06/2016	25417,18	49,23
04/01/2016	24197,83	0	03/06/2016	25466,41	39,03
05/01/2016	24197,83	0	04/06/2016	25505,44	1,19
06/01/2016	24197,83	0	05/06/2016	25506,63	25,05
07/01/2016	24197,83	0	06/06/2016	25531,68	52,56
08/01/2016	24197,83	0	07/06/2016	25584,24	70,89
09/01/2016	24197,83	0	08/06/2016	25655,13	56,92
10/01/2016	24197,83	0	09/06/2016	25712,05	34,35
11/01/2016	24197,83	0	10/06/2016	25746,40	16,36
12/01/2016	24197,83	0	11/06/2016	25762,76	0,00
13/01/2016	24197,83	0	12/06/2016	25762,76	25,23
14/01/2016	24197,83	0	13/06/2016	25787,99	51,33
15/01/2016	24197,83	0	14/06/2016	25839,32	47,46
16/01/2016	24197,83	0	15/06/2016	25886,78	42,23
17/01/2016	24197,83	0	16/06/2016	25929,01	41,91
18/01/2016	24197,83	0	17/06/2016	25970,92	43,01
19/01/2016	24197,83	0	18/06/2016	26013,93	0,00
20/01/2016	24197,83	0	19/06/2016	26013,93	28,71
21/01/2016	24197,83	0	20/06/2016	26042,64	71,35
22/01/2016	24197,83	0	21/06/2016	26113,99	92,26
23/01/2016	24197,83	0	22/06/2016	26206,25	68,07
24/01/2016	24197,83	0	23/06/2016	26274,32	58,29
25/01/2016	24197,83	0	24/06/2016	26332,61	51,85
26/01/2016	24197,83	0	25/06/2016	26384,46	0,00
27/01/2016	24197,83	0	26/06/2016	26384,46	34,71
28/01/2016	24197,83	0	27/06/2016	26419,17	83,40
29/01/2016	24197,83	0	28/06/2016	26502,57	71,00
30/01/2016	24197,83	0	29/06/2016	26573,57	33,74
31/01/2016	24197,83	0	30/06/2016	26607,31	70,68
01/02/2016	24197,83	-	01/07/2016	26677,99	-
<b>Total</b>		0	<b>Total</b>		1316,39

A.8. Circuito água gelada do CHC

Neste contador lê-se a energia do circuito de água gelada do CHC.

Tabela A.8-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 10.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	21544,05	37,14	31/05/2016	23701,1	0
02/01/2016	21581,19	36,98	01/06/2016	23701,1	6,72
03/01/2016	21618,17	37,59	02/06/2016	23707,8	0
04/01/2016	21655,76	0	03/06/2016	23707,8	13,64
05/01/2016	21655,76	0	04/06/2016	23721,4	62,38
06/01/2016	21655,76	0	05/06/2016	23783,8	29,08
07/01/2016	21655,76	0	06/06/2016	23812,9	11,43
08/01/2016	21655,76	9,09	07/06/2016	23824,3	10,96
09/01/2016	21664,85	46,7	08/06/2016	23835,3	0
10/01/2016	21711,55	17,04	09/06/2016	23835,3	37,83
11/01/2016	21728,59	0	10/06/2016	23873,1	43,67
12/01/2016	21728,59	0	11/06/2016	23916,8	69,68
13/01/2016	21728,59	0	12/06/2016	23986,5	41,56
14/01/2016	21728,59	0	13/06/2016	24028	0
15/01/2016	21728,59	9,78	14/06/2016	24028	0
16/01/2016	21738,37	30,42	15/06/2016	24028	0
17/01/2016	21768,79	15,43	16/06/2016	24028	0
18/01/2016	21784,22	0	17/06/2016	24028	0,01
19/01/2016	21784,22	0	18/06/2016	24028	48,96
20/01/2016	21784,22	0	19/06/2016	24077	42,03
21/01/2016	21784,22	0	20/06/2016	24119	0
22/01/2016	21784,22	0	21/06/2016	24119	0
23/01/2016	21784,22	77,4	22/06/2016	24119	0
24/01/2016	21861,62	40,51	23/06/2016	24119	0
25/01/2016	21902,13	1,95	24/06/2016	24119	14,61
26/01/2016	21904,08	0	25/06/2016	24133,6	87,92
27/01/2016	21904,08	0	26/06/2016	24221,6	63,16
28/01/2016	21904,08	0	27/06/2016	24284,7	7,81
29/01/2016	21904,08	9,86	28/06/2016	24292,5	0
30/01/2016	21913,94	46,32	29/06/2016	24292,5	0
31/01/2016	21960,26	4,47	30/06/2016	24292,5	6,7
01/02/2016	21964,73	-	01/07/2016	24299,2	-
<b>Total</b>		420,68	<b>Total</b>		598,15

A.9. Circuito de água quente- Ala Sul Nascente

Neste contador pode ler-se a energia de água quente enviada para a Ala Sul Nascente do hospital.

Tabela A.9-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 11.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	35584,32	35,01	31/05/2016	40636,41	-
02/01/2016	35619,33	33,04	01/06/2016	40661,66	14,69
03/01/2016	35652,37	33,67	02/06/2016	40676,35	20,29
04/01/2016	35686,04	40,81	03/06/2016	40696,64	20,97
05/01/2016	35726,85	41,87	04/06/2016	40717,61	19,06
06/01/2016	35768,72	33,35	05/06/2016	40736,67	16,02
07/01/2016	35802,07	35,07	06/06/2016	40752,69	17,65
08/01/2016	35837,14	35,92	07/06/2016	40770,34	17,38
09/01/2016	35873,06	34,09	08/06/2016	40787,72	15,22
10/01/2016	35907,15	35,66	09/06/2016	40802,94	17,07
11/01/2016	35942,81	39,23	10/06/2016	40820,01	19,5
12/01/2016	35982,04	35,82	11/06/2016	40839,51	13,9
13/01/2016	36017,86	34,86	12/06/2016	40853,41	16,65
14/01/2016	36052,72	37,32	13/06/2016	40870,06	21,75
15/01/2016	36090,04	39,57	14/06/2016	40891,81	25,64
16/01/2016	36129,61	39	15/06/2016	40917,45	27,34
17/01/2016	36168,61	36,86	16/06/2016	40944,79	23,75
18/01/2016	36205,47	40,09	17/06/2016	40968,54	24,37
19/01/2016	36245,56	35,94	18/06/2016	40992,91	16,09
20/01/2016	36281,50	35,37	19/06/2016	41009,00	16,23
21/01/2016	36316,87	32,75	20/06/2016	41025,23	14,01
22/01/2016	36349,62	29,71	21/06/2016	41039,24	15,04
23/01/2016	36379,33	27,13	22/06/2016	41054,28	19,04
24/01/2016	36406,46	24,61	23/06/2016	41073,32	17,16
25/01/2016	36431,07	34,02	24/06/2016	41090,48	17,23
26/01/2016	36465,09	41,98	25/06/2016	41107,71	10,88
27/01/2016	36507,07	37,64	26/06/2016	41118,59	10,46
28/01/2016	36544,71	45,15	27/06/2016	41129,05	10,96
29/01/2016	36589,86	44,3	28/06/2016	41140,01	16,12
30/01/2016	36634,16	40,84	29/06/2016	41156,13	12,34
31/01/2016	36675,00	37,34	30/06/2016	41168,47	25,54
01/02/2016	36712,34	-	01/07/2016	41194,01	-
<b>Total</b>		1128,02	<b>Total</b>		532,35



A.10. Circuito água quente- Ala Sul

No contador de entalpia 12 pode ler-se a energia de água quente enviada para a Ala Sul do hospital.

Tabela A.10-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 12.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	35003,27	32,3	31/05/2016	39905,41	-
02/01/2016	35035,57	51,69	01/06/2016	39938,65	18,04
03/01/2016	35087,26	12,29	02/06/2016	39956,69	23,9
04/01/2016	35099,55	39,49	03/06/2016	39980,59	23,19
05/01/2016	35139,04	40,12	04/06/2016	40003,78	22,59
06/01/2016	35179,16	35,27	05/06/2016	40026,37	19,53
07/01/2016	35214,43	39,85	06/06/2016	40045,90	19,58
08/01/2016	35254,28	36,36	07/06/2016	40065,48	21,04
09/01/2016	35290,64	34,07	08/06/2016	40086,52	19,96
10/01/2016	35324,71	36,68	09/06/2016	40106,48	22,03
11/01/2016	35361,39	39,23	10/06/2016	40128,51	21,23
12/01/2016	35400,62	35,5	11/06/2016	40149,74	18,77
13/01/2016	35436,12	36,04	12/06/2016	40168,51	19,77
14/01/2016	35472,16	37,51	13/06/2016	40188,28	23,58
15/01/2016	35509,67	39,88	14/06/2016	40211,86	26,25
16/01/2016	35549,55	38,11	15/06/2016	40238,11	27,55
17/01/2016	35587,66	37,54	16/06/2016	40265,66	25,56
18/01/2016	35625,20	32,09	17/06/2016	40291,22	23,54
19/01/2016	35657,29	43,01	18/06/2016	40314,76	16,24
20/01/2016	35700,30	35,29	19/06/2016	40331,00	19,49
21/01/2016	35735,59	33,77	20/06/2016	40350,49	17,33
22/01/2016	35769,36	31,04	21/06/2016	40367,82	18,22
23/01/2016	35800,40	27,15	22/06/2016	40386,04	20,95
24/01/2016	35827,55	26,88	23/06/2016	40406,99	21,16
25/01/2016	35854,43	31,45	24/06/2016	40428,15	20,13
26/01/2016	35885,88	38,77	25/06/2016	40448,28	14,58
27/01/2016	35924,65	34,49	26/06/2016	40462,86	15,1
28/01/2016	35959,14	36,95	27/06/2016	40477,96	15,49
29/01/2016	35996,09	37,89	28/06/2016	40493,45	18,79
30/01/2016	36033,98	34,26	29/06/2016	40512,24	11,4
31/01/2016	36068,24	31,18	30/06/2016	40523,64	30,17
01/02/2016	36099,42	-	01/07/2016	40553,81	-
<b>Total</b>		1096,15	<b>Total</b>		615,16

## A.11. Circuito água quente- Ala Central

Neste contador pode ler-se a energia de água quente enviada para a Ala Central do hospital.

Tabela A.11-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 13.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	26771,31	26,86	31/05/2016	30486,77	-
02/01/2016	26798,17	22,93	01/06/2016	30513,13	17,54
03/01/2016	26821,10	25,48	02/06/2016	30530,67	18,66
04/01/2016	26846,58	30,66	03/06/2016	30549,33	21,41
05/01/2016	26877,24	27,77	04/06/2016	30570,74	20,71
06/01/2016	26905,01	23,31	05/06/2016	30591,45	16,9
07/01/2016	26928,32	23,74	06/06/2016	30608,35	16,55
08/01/2016	26952,06	23,36	07/06/2016	30624,90	19,07
09/01/2016	26975,42	25,04	08/06/2016	30643,97	16,76
10/01/2016	27000,46	26,41	09/06/2016	30660,73	19,36
11/01/2016	27026,87	27,88	10/06/2016	30680,09	19,1
12/01/2016	27054,75	24,96	11/06/2016	30699,19	16,98
13/01/2016	27079,71	24,3	12/06/2016	30716,17	18,12
14/01/2016	27104,01	27,44	13/06/2016	30734,29	19,64
15/01/2016	27131,45	28,68	14/06/2016	30753,93	20,9
16/01/2016	27160,13	27,88	15/06/2016	30774,83	21,53
17/01/2016	27188,01	27,05	16/06/2016	30796,36	20,8
18/01/2016	27215,06	28,26	17/06/2016	30817,16	21,36
19/01/2016	27243,32	24,93	18/06/2016	30838,52	14,74
20/01/2016	27268,25	24,55	19/06/2016	30853,26	17,1
21/01/2016	27292,80	23,83	20/06/2016	30870,36	16,29
22/01/2016	27316,63	23,5	21/06/2016	30886,65	18,35
23/01/2016	27340,13	22,04	22/06/2016	30905,00	19,35
24/01/2016	27362,17	22,44	23/06/2016	30924,35	17,99
25/01/2016	27384,61	26,55	24/06/2016	30942,34	18,12
26/01/2016	27411,16	26,41	25/06/2016	30960,46	13,68
27/01/2016	27437,57	27,08	26/06/2016	30974,14	16,95
28/01/2016	27464,65	30,8	27/06/2016	30991,09	16,45
29/01/2016	27495,45	30,02	28/06/2016	31007,54	17,84
30/01/2016	27525,47	27,69	29/06/2016	31025,38	11,17
31/01/2016	27553,16	26,39	30/06/2016	31036,55	25,54
01/02/2016	27579,55	-	01/07/2016	31062,09	-
<b>Total</b>		808,24	<b>Total</b>		548,96

A.12. Circuito água quente- Ala Norte

Neste contador pode ler-se a energia de água quente enviada para a Ala Norte do hospital.

Tabela A.12-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 14.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	34177,01	25,73	31/05/2016	37583,17	-
02/01/2016	34202,74	21,23	01/06/2016	37599,51	9,12
03/01/2016	34223,97	23,22	02/06/2016	37608,63	11,71
04/01/2016	34247,19	31,69	03/06/2016	37620,34	11,99
05/01/2016	34278,88	31,74	04/06/2016	37632,33	11,38
06/01/2016	34310,62	20,07	05/06/2016	37643,71	9,67
07/01/2016	34330,69	19,68	06/06/2016	37653,38	10,19
08/01/2016	34350,37	21,42	07/06/2016	37663,57	10,93
09/01/2016	34371,79	19,58	08/06/2016	37674,50	10,09
10/01/2016	34391,37	22,8	09/06/2016	37684,59	11,57
11/01/2016	34414,17	26,96	10/06/2016	37696,16	12,68
12/01/2016	34441,13	23,38	11/06/2016	37708,84	8,84
13/01/2016	34464,51	20,46	12/06/2016	37717,68	10,54
14/01/2016	34484,97	26,79	13/06/2016	37728,22	12,95
15/01/2016	34511,76	28,97	14/06/2016	37741,17	14,99
16/01/2016	34540,73	26,74	15/06/2016	37756,16	16,48
17/01/2016	34567,47	25,35	16/06/2016	37772,64	14,75
18/01/2016	34592,82	25,75	17/06/2016	37787,39	15,43
19/01/2016	34618,57	22,48	18/06/2016	37802,82	9,75
20/01/2016	34641,05	20,56	19/06/2016	37812,57	10,9
21/01/2016	34661,61	17,89	20/06/2016	37823,47	8,93
22/01/2016	34679,50	16,98	21/06/2016	37832,40	9,41
23/01/2016	34696,48	14,79	22/06/2016	37841,81	11,57
24/01/2016	34711,27	14,36	23/06/2016	37853,38	11,15
25/01/2016	34725,63	23,33	24/06/2016	37864,53	10,84
26/01/2016	34748,96	22,55	25/06/2016	37875,37	7,72
27/01/2016	34771,51	20,74	26/06/2016	37883,09	8,16
28/01/2016	34792,25	26,1	27/06/2016	37891,25	8,19
29/01/2016	34818,35	26,58	28/06/2016	37899,44	10,24
30/01/2016	34844,93	22,9	29/06/2016	37909,68	6,87
31/01/2016	34867,83	20,75	30/06/2016	37916,55	16,21
01/02/2016	34888,58	-	01/07/2016	37932,76	-
<b>Total</b>		711,57	<b>Total</b>		333,25

A.13. Circuito água fria- Ala Sul Nascente

Neste contador pode ler-se a energia de água fria enviada para a Ala Sul Nascente do hospital.

Tabela A.13-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 15.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	27976,09	8,15	31/05/2016	29715,51	-
02/01/2016	27984,24	7,03	01/06/2016	29753,97	32,04
03/01/2016	27991,27	13,49	02/06/2016	29786,01	22,8
04/01/2016	28004,76	11,47	03/06/2016	29808,81	19,43
05/01/2016	28016,23	8,78	04/06/2016	29828,24	14,82
06/01/2016	28025,01	15,81	05/06/2016	29843,06	26,55
07/01/2016	28040,82	15,84	06/06/2016	29869,61	27
08/01/2016	28056,66	10,53	07/06/2016	29896,61	37,29
09/01/2016	28067,19	8,59	08/06/2016	29933,90	30,59
10/01/2016	28075,78	8,54	09/06/2016	29964,49	24,69
11/01/2016	28084,32	11,89	10/06/2016	29989,18	19,97
12/01/2016	28096,21	10,4	11/06/2016	30009,15	23,08
13/01/2016	28106,61	12,6	12/06/2016	30032,23	25,48
14/01/2016	28119,21	10,32	13/06/2016	30057,71	22,71
15/01/2016	28129,53	7,18	14/06/2016	30080,42	21,37
16/01/2016	28136,71	4,8	15/06/2016	30101,79	19,67
17/01/2016	28141,51	7,28	16/06/2016	30121,46	20,75
18/01/2016	28148,79	8,55	17/06/2016	30142,21	20,84
19/01/2016	28157,34	9,86	18/06/2016	30163,05	20,31
20/01/2016	28167,20	15,14	19/06/2016	30183,36	31,75
21/01/2016	28182,34	17,32	20/06/2016	30215,11	37,93
22/01/2016	28199,66	17,77	21/06/2016	30253,04	49,92
23/01/2016	28217,43	13,77	22/06/2016	30302,96	33,51
24/01/2016	28231,20	17,59	23/06/2016	30336,47	30,76
25/01/2016	28248,79	12,98	24/06/2016	30367,23	32,68
26/01/2016	28261,77	13,54	25/06/2016	30399,91	35,25
27/01/2016	28275,31	14,66	26/06/2016	30435,16	46,43
28/01/2016	28289,97	11,7	27/06/2016	30481,59	49,29
29/01/2016	28301,67	8,59	28/06/2016	30530,88	37,13
30/01/2016	28310,26	8,47	29/06/2016	30568,01	17,98
31/01/2016	28318,73	9,94	30/06/2016	30585,99	38,12
01/02/2016	28328,67	-	01/07/2016	30624,11	-
<b>Total</b>		352,58	<b>Total</b>		870,14

A.14. Circuito água fria- Ala Sul

No contador de entalpia 16 pode ler-se a energia de água fria enviada para a Ala Sul do hospital.

Tabela A.14-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 16.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	20001,85	6,51	31/05/2016	21818,69	-
02/01/2016	20008,36	5,62	01/06/2016	21855,12	27,75
03/01/2016	20013,98	10,13	02/06/2016	21882,87	25,42
04/01/2016	20024,11	8	03/06/2016	21908,29	20,22
05/01/2016	20032,11	5,97	04/06/2016	21928,51	19,47
06/01/2016	20038,08	11,51	05/06/2016	21947,98	23,85
07/01/2016	20049,59	12,6	06/06/2016	21971,83	24,91
08/01/2016	20062,19	8,47	07/06/2016	21996,74	33,03
09/01/2016	20070,66	7,22	08/06/2016	22029,77	28,66
10/01/2016	20077,88	7,34	09/06/2016	22058,43	26,49
11/01/2016	20085,22	9,64	10/06/2016	22084,92	19,24
12/01/2016	20094,86	8,2	11/06/2016	22104,16	23,01
13/01/2016	20103,06	9,77	12/06/2016	22127,17	25,41
14/01/2016	20112,83	7,82	13/06/2016	22152,58	26,56
15/01/2016	20120,65	6,53	14/06/2016	22179,14	23,87
16/01/2016	20127,18	4,63	15/06/2016	22203,01	23,85
17/01/2016	20131,81	5,84	16/06/2016	22226,86	23,79
18/01/2016	20137,65	6,7	17/06/2016	22250,65	22,56
19/01/2016	20144,35	6,5	18/06/2016	22273,21	19,15
20/01/2016	20150,85	11,43	19/06/2016	22292,36	27,53
21/01/2016	20162,28	12,52	20/06/2016	22319,89	31,99
22/01/2016	20174,80	12,98	21/06/2016	22351,88	37,78
23/01/2016	20187,78	8,81	22/06/2016	22389,66	32,17
24/01/2016	20196,59	12,19	23/06/2016	22421,83	31,19
25/01/2016	20208,78	10,98	24/06/2016	22453,02	30,43
26/01/2016	20219,76	9,73	25/06/2016	22483,45	30,54
27/01/2016	20229,49	10,64	26/06/2016	22513,99	34,07
28/01/2016	20240,13	9,63	27/06/2016	22548,06	37,99
29/01/2016	20249,76	6,51	28/06/2016	22586,05	32,06
30/01/2016	20256,27	7,19	29/06/2016	22618,11	18,04
31/01/2016	20263,46	7,92	30/06/2016	22636,15	37,92
01/02/2016	20271,38	-	01/07/2016	22674,07	-
<b>Total</b>		269,53	<b>Total</b>		818,95

## A.15. Circuito de água fria- Ala Central

Neste contador pode ler-se a energia de água fria enviada para a Ala Central do hospital.

Tabela A.15-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 17.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	10299,41	4,36	31/05/2016	11060,73	-
02/01/2016	10303,77	3,68	01/06/2016	11077,73	13,69
03/01/2016	10307,45	6,74	02/06/2016	11091,42	11,35
04/01/2016	10314,19	3,28	03/06/2016	11102,77	9,31
05/01/2016	10317,47	1,92	04/06/2016	11112,08	7,73
06/01/2016	10319,39	6,72	05/06/2016	11119,81	11,51
07/01/2016	10326,11	7,6	06/06/2016	11131,32	11,98
08/01/2016	10333,71	3,05	07/06/2016	11143,30	15,55
09/01/2016	10336,76	4,55	08/06/2016	11158,85	13,66
10/01/2016	10341,31	4,62	09/06/2016	11172,51	11,63
11/01/2016	10345,93	3,99	10/06/2016	11184,14	8,97
12/01/2016	10349,92	3,41	11/06/2016	11193,11	8,84
13/01/2016	10353,33	4,98	12/06/2016	11201,95	12,16
14/01/2016	10358,31	3,14	13/06/2016	11214,11	11,6
15/01/2016	10361,45	2,57	14/06/2016	11225,71	11,21
16/01/2016	10364,02	2,81	15/06/2016	11236,92	10,39
17/01/2016	10366,83	3,89	16/06/2016	11247,31	10,75
18/01/2016	10370,72	1,8	17/06/2016	11258,06	10,74
19/01/2016	10372,52	2,41	18/06/2016	11268,80	7,73
20/01/2016	10374,93	5,06	19/06/2016	11276,53	13,11
21/01/2016	10379,99	7,02	20/06/2016	11289,64	15,91
22/01/2016	10387,01	6,77	21/06/2016	11305,55	19,55
23/01/2016	10393,78	5,15	22/06/2016	11325,10	14,31
24/01/2016	10398,93	7,53	23/06/2016	11339,41	13,78
25/01/2016	10406,46	4,42	24/06/2016	11353,19	13,96
26/01/2016	10410,88	4,49	25/06/2016	11367,15	12,11
27/01/2016	10415,37	5	26/06/2016	11379,26	16,6
28/01/2016	10420,37	3,64	27/06/2016	11395,86	17,57
29/01/2016	10424,01	2,03	28/06/2016	11413,43	12,74
30/01/2016	10426,04	4,36	29/06/2016	11426,17	6,07
31/01/2016	10430,40	4,53	30/06/2016	11432,24	16,58
01/02/2016	10434,93	-	01/07/2016	11448,82	-
<b>Total</b>		135,52	<b>Total</b>		371,09

A.16. Circuito água fria- Ala Norte

Neste contador pode ler-se a energia de água fria enviada para a Ala Norte do hospital.

Tabela A.16-Valores recolhidos na central relativos ao contador de entalpia 18.

Janeiro	GJ	Por dia (24h)	Junho	GJ	Por dia (24h)
		GJ			GJ
01/01/2016	24815,14	6,57	31/05/2016	26086,92	-
02/01/2016	24821,71	5,83	01/06/2016	26108,30	18,55
03/01/2016	24827,54	9,73	02/06/2016	26126,85	13,23
04/01/2016	24837,27	7,08	03/06/2016	26140,08	10,55
05/01/2016	24844,35	4,66	04/06/2016	26150,63	12,39
06/01/2016	24849,01	9,56	05/06/2016	26163,02	16,13
07/01/2016	24858,57	10,07	06/06/2016	26179,15	17,30
08/01/2016	24868,64	6,39	07/06/2016	26196,45	22,41
09/01/2016	24875,03	7,16	08/06/2016	26218,86	19,46
10/01/2016	24882,19	7,76	09/06/2016	26238,32	16,99
11/01/2016	24889,95	6,22	10/06/2016	26255,31	11,97
12/01/2016	24896,17	6,28	11/06/2016	26267,28	14,28
13/01/2016	24902,45	7,32	12/06/2016	26281,56	17,27
14/01/2016	24909,77	5,54	13/06/2016	26298,83	13,58
15/01/2016	24915,31	4,84	14/06/2016	26312,41	12,80
16/01/2016	24920,15	4,56	15/06/2016	26325,21	10,94
17/01/2016	24924,71	5,72	16/06/2016	26336,15	10,53
18/01/2016	24930,43	5,23	17/06/2016	26346,68	10,28
19/01/2016	24935,66	7,26	18/06/2016	26356,96	12,53
20/01/2016	24942,92	9,1	19/06/2016	26369,49	19,85
21/01/2016	24952,02	9,53	20/06/2016	26389,34	23,18
22/01/2016	24961,55	9,17	21/06/2016	26412,52	28,93
23/01/2016	24970,72	7,97	22/06/2016	26441,45	20,43
24/01/2016	24978,69	10,53	23/06/2016	26461,88	20,06
25/01/2016	24989,22	7,54	24/06/2016	26481,94	19,81
26/01/2016	24996,76	7,86	25/06/2016	26501,75	24,52
27/01/2016	25004,62	8,3	26/06/2016	26526,27	30,91
28/01/2016	25012,92	6,55	27/06/2016	26557,18	30,80
29/01/2016	25019,47	4,65	28/06/2016	26587,98	20,74
30/01/2016	25024,12	7,38	29/06/2016	26608,72	11,67
31/01/2016	25031,50	6,93	30/06/2016	26620,39	24,12
01/02/2016	25038,43	-	01/07/2016	26644,51	-
<b>Total</b>		223,29	<b>Total</b>		536,21

## B – Informação relativa à caldeira de água quente.

Neste subcapítulo será fornecida toda a informação técnica que foi utilizada para as conclusões retiradas sobre a caldeira de água quente no corpo do trabalho, desde os dados de fabrico, os valores retirados na central e os cálculos feitos.

Todos os exemplos de cálculo apresentados neste capítulo são referentes ao depósito de 30 m<sup>3</sup>.

### B.1. Características operacionais da caldeira de água quente (CAQ)

Para a realização dos cálculos foi necessário analisar os dados técnicos da caldeira apresentados em seguida.

Daqui foi possível retirar, entre outros dados, o rendimento da caldeira. Sabendo que a caldeira se trata do modelo LRR 50 e admitindo-se que trabalhou sempre à sua capacidade máxima, o rendimento encontrado nestes documentos é de 92,2%.

**LRR 49 - 54**

**4. Datos técnicos**

**4.1. Datos principales / requisitos mínimos**

Presión máx. de funcionamiento		6,0 bar
Presión de prueba (otras presiones bajo demanda)		9,0 bar
Bridas ida y retorno caldera		PN 6
Temperatura máx. de puesta en marcha		110°C
Temperatura mínima de puesta en marcha	con gasóleo con metano con gas licuado	60 °C 70 °C 70 °C
Temp. mínima de retorno:	con gasóleo con metano con gas licuado	50 °C 60 °C 60 °C
Temperatura mínima de humos con gasóleo	Contenido S 0,05% 0,1% 0,2% 0,5%	110°C 115°C 120°C 125°C
con metano	Contenido S 10 mg/nm3 150 mg/nm3	95°C 110°C
Contenido CO <sub>2</sub> máximo (humos secos)	con gasóleo con metano con gas licuado	15,5% 11,7% 13,7%

**4.2. Presión mínima de funcionamiento**

LRR	49	50	51	52	53	54
bar rel.	1,3			1,65		

**4.3. Calidad de agua requerida**

**Primer relleno**

Dureza total: <10° df (100 mg CaCO<sub>3</sub>/l; 84 mg MgCO<sub>3</sub>/l)

**Agua complementaria**

Dureza total: <1° df (10 mg CaCO<sub>3</sub>/l; 8,4 mg MgCO<sub>3</sub>/l)

**Agua de circulación**

Dureza total: <1° df

Valor pH (20°C): 8,3 – 9,5

Fosfatos (PO<sub>4</sub>): < 30 mg/l

Cloruros (Cl): < 50 mg/l

Oxígeno (O<sub>2</sub>): < 0,1 mg/l

Figura B.1- Dados técnicos da caldeira de água quente com o modelo LRR50.



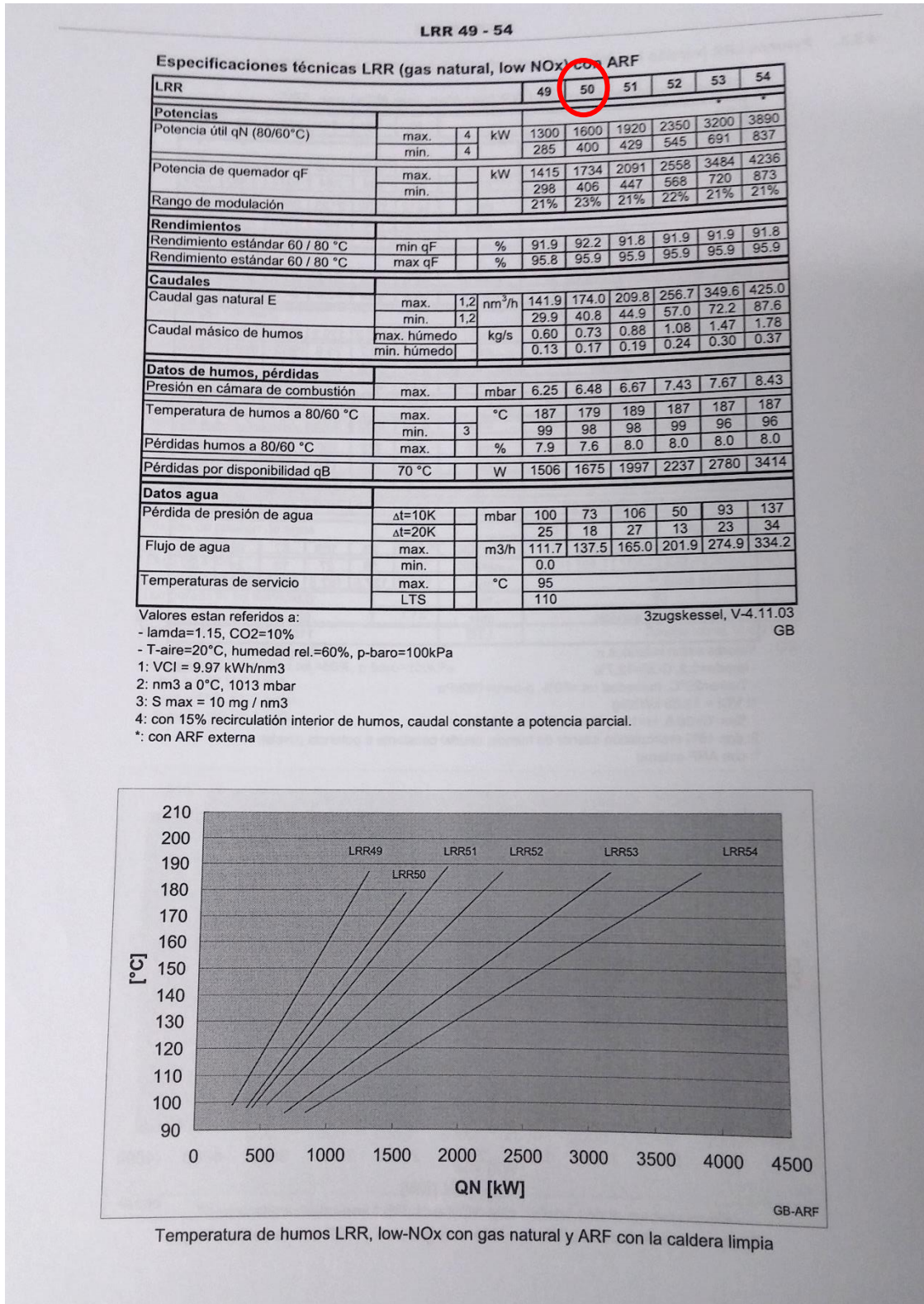


Figura B.2-Dados técnicos da caldeira de água quente com o modelo LRR50.

B.2. Valores lidos na central relativos ao funcionamento da caldeira e respetivos cálculos

Com o intuito de calcular o caudal de água produzido pela caldeira durante o mês de janeiro, foram recolhidos da central os dados apresentados na tabela seguinte.

Não foram recolhidos os mesmos dados para o mês de junho uma vez que durante este período a caldeira apenas foi ligada para a manutenção e nunca para aquecer água.

Tabela B.1- Dados relativos ao funcionamento da caldeira de água quente para o mês de janeiro.

Janeiro	Funcionamento da CAQ	Funcionamento da CAQ/por dia	Leitura gás	Consumo gás por dia	Temperatura entrada da água	Temperatura de saída da água
	Horas	Horas/por dia	Nm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup>	°C	°C
01/01/2016	1862	11	335917	2844	71	80
02/01/2016	1880	18	338761	2417	71	79
03/01/2016	1895	15	341178	2554	71	80
04/01/2016	1910	15	343732	967	71	79
05/01/2016	1915	5	344699	17	68	78
06/01/2016	1920	5	344716	1712	68	79
07/01/2016	1924	4	346428	668	71	80
08/01/2016	1928	4	347096	1200	70	80
09/01/2016	1934	6	348296	2501	70	81
10/01/2016	1950	16	350797	2274	72	80
11/01/2016	1964	14	353071	666	71	80
12/01/2016	1967	3	353737	789	65	74
13/01/2016	1970	3	354526	686	69	78
14/01/2016	1974	4	355212	769	68	79
15/01/2016	1977	3	355981	1463	67	78
16/01/2016	1984	7	357444	3016	69	79
17/01/2016	2000	16	360460	2561	70	81
18/01/2016	2013	13	363021	1338	71	80
19/01/2016	2020	7	364359	747	69	79
20/01/2016	2024	4	365106	642	70	80
21/01/2016	2027	3	365748	740	70	80
22/01/2016	2031	4	366488	968	71	81
23/01/2016	2038	7	367456	1884	71	81
24/01/2016	2052	14	369340	1339	72	79
25/01/2016	2064	12	370679	922	73	79
26/01/2016	2069	5	371601	767	70	80
27/01/2016	2073	4	372368	600	69	79
28/01/2016	2076	3	372968	968	63	74
29/01/2016	2080	4	373936	1457	68	78

<b>30/01/2016</b>	2086	6	375393	2927	65	75
<b>31/01/2016</b>	2104	18	378320	2231	71	79
<b>Total</b>		253		44634		

Através dos dados recolhidos na instalação foi possível calcular o caudal de água, potência e energia produzidas pela caldeira utilizando as equações seguintes.

**Caudal de água produzido pela caldeira (kg/s)**

$$Caudal\ GN\ (Nm^3) \times PCI\ \left(\frac{kWh}{Nm^3}\right) \times rendimento = \dot{m}H_2O\ \left(\frac{kg}{s}\right) \times cp\ \left(\frac{kJ}{kgK}\right) \times (T_{saídaH_2O} - T_{entradaH_2O}) \quad (b.1)$$

Considerando:

- Rendimento da caldeira = 92,2% (Valor retirado dos dados técnicos da caldeira)
- PCI= 10,636 kWh/Nm<sup>3</sup>
- CP= 4,184 kJ/kgK

Obtém-se:

$$\frac{2844}{11} \times 10,636 \times 0,922 = \dot{m}H_2O \times 4,184 \times (80 - 71) \leftrightarrow \dot{m}H_2O = 67,33\ kg/s$$

**Potência produzida pela caldeira**

$$Potência\ (kW) = \dot{m}H_2O\ \left(\frac{kg}{s}\right) \times cp\ \left(\frac{kJ}{kgK}\right) \times \Delta T \quad (b.2)$$

$$Potência\ (kW) = 67,33 \times 4,184 \times (80 - 71) = 2535,398\ kW$$

**Energia produzida pela caldeira**

$$Energia\ \left(\frac{kW}{h}\right) = Potência\ (kW) \times horas_{funcionamento} \quad (b.3)$$

$$Energia\ \left(\frac{kW}{h}\right) = 2535,398 \times 11 = 27889,37\ kW/h$$

A partir dos cálculos realizados anteriormente foi possível construir a tabela seguinte com todos os valores calculados para cada dia do mês de janeiro e os respetivos totais por mês.

Tabela B.2- Valores calculados de caudal de água, potência e energia produzidos pela caldeira no mês de janeiro.

Janeiro	$\dot{m}_{H_2O}$ (kg/s)	$m_{H_2O}$ (kg)	Potência (kW)	Energia(kWh)
01/01/2016	67,33	2666289	2535,39	27889,38
02/01/2016	39,33	2549217	1316,78	23702,05
03/01/2016	44,34	2394410	1669,70	25045,53
04/01/2016	18,89	1019898	632,19	9482,78
05/01/2016	0,797	14343,96	33,34	166,71
06/01/2016	72,95	1313201	3357,71	16788,54
07/01/2016	43,49	626259,1	1637,67	6550,67
08/01/2016	70,31	1012515	2941,92	11767,67
09/01/2016	88,81	1918408	4087,63	24525,79
10/01/2016	41,64	2398394	1393,73	22299,74
11/01/2016	12,39	624384	466,50	6531,06
12/01/2016	68,49	739698,2	2579,08	7737,24
13/01/2016	59,55	643134,3	2242,39	6727,18
14/01/2016	40,96	589866,5	1885,28	7541,11
15/01/2016	103,91	1122204	4782,25	14346,75
16/01/2016	100,98	2544787	4225,15	29576,08
17/01/2016	34,10	1964432	1569,64	25114,17
18/01/2016	26,80	1254393	1009,30	13120,95
19/01/2016	25,01	630290,4	1046,48	7325,37
20/01/2016	37,62	541695,3	1573,93	6295,70
21/01/2016	57,81	624384	2418,91	7256,73
22/01/2016	56,72	816761,8	2373,15	9492,59
23/01/2016	63,081	1589648	2639,32	18475,24
24/01/2016	32,023	1613997	937,91	13130,76
25/01/2016	30,013	1296581	753,46	9041,49
26/01/2016	35,95	647165,6	1504,30	7521,50
27/01/2016	35,16	506257,3	1470,96	5883,83
28/01/2016	68,75	742510,8	3164,19	9492,59
29/01/2016	85,37	1229362	3571,98	14287,91
30/01/2016	114,34	2469692	4783,88	28703,31
31/01/2016	36,31	2353042	1215,45	21878,06
<b>Total</b>	1613,26	40457219	65819,59	437698,50

### B.3. Cálculo da poupança por parte da caldeira

Visto que ao longo do mês a caldeira foi ligada durante diferentes períodos, para o cálculo de energia poupada ser mais correto, foi necessário calcular o caudal médio de água durante o mês.

### **Caudal médio (m<sup>3</sup>/h)**

$$\text{Caudal médio } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) = \frac{\text{mH}_2\text{O total (kg)} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ m}^3}}{\text{Horas totais de funcionamento da caldeira (h)}} \quad (\text{b.4})$$

$$\text{Caudal médio} = \frac{\frac{40457218,85}{1000}}{253} = 159,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Como já referido no corpo do relatório, foi feito o cálculo de poupança de energia para quatro volumes diferentes de depósito. 30 m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup>, 90m<sup>3</sup> e 150m<sup>3</sup>. Para este cálculo, considerou-se apenas os dias uteis do mês (21 dias) uma vez que durante o fim de semana a caldeira funciona durante um período muito elevado e desta forma a implementação do depósito com os volumes escolhidos não irá ser vantajosa.

### **Horas em que a caldeira não é ligada pela adição do novo depósito**

$$\text{Horas (h)} = \frac{\text{Volume do depósito (m}^3\text{)}}{\text{Caudal médio } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)} \times 21 \text{ dias} \quad (\text{b.5})$$

$$\text{Horas (h)} = \frac{30}{159,9} \times 21 = 3,94 \text{h} \approx 3 \text{h} 56 \text{min}$$

### **Energia poupada (kWh)**

$$\text{Energia poupada (kWh)} = \frac{\text{Energia (kWh)}}{\text{Horas de funcionamento (h)}} \times \text{Horas poupadas (h)} \quad (\text{b.6})$$

$$\text{Energia poupada (kWh)} = \frac{437698,50}{253} \times 3,94 = 6815,84 \text{ kWh}$$

## C – Informação relativa ao chiller eléctrico.

Neste subcapítulo será fornecida toda a informação técnica que foi utilizada para as conclusões retiradas sobre CHC e CHAS no corpo do trabalho, desde os dados de fabrico, os valores retirados na central e os cálculos realizados.

Todos os exemplos de cálculo apresentados neste capítulo são referentes ao depósito de 30 m<sup>3</sup>.

### C.1. Características operacionais do chiller eléctrico (CHC)

Para a realização dos cálculos foi necessário analisar os dados técnicos do chiller apresentados em seguida.

<b>Chiller Centrifugo - (CHC)</b>	
Marca:	Trane
Modelo:	CVGF 1000
Potência frigorífica:	2.999,85 kW
Potência eléctrica absorvida:	510,6 kW
Água Gelada – Temperatura de entrada:	10°C
Temperatura de saída:	5°C
Caudal:	142,74 l/s (513,86 m <sup>3</sup> /h)
Água refrigeração – Temperatura de entrada:	29°C
Temperatura de saída:	35°C
Caudal:	139,97 l/s (503,90 m <sup>3</sup> /h)

Figura C.1- Dados técnicos do chiller eléctrico existente na instalação.

<b>Chiller de Absorção de Simples Efeito Água Quente - (CHAS)</b>	
Marca:	Carrier
Modelo:	TSA-16-LJ-53
Potência frigorífica:	1900 kW
Água Gelada:	Temperatura de entrada: 11°C Temperatura de saída: 6°C Caudal: 321,6 m <sup>3</sup> /h
Água refrigeração:	Temperatura de entrada: 28°C Temperatura de saída: 34°C Caudal: 644,5 m <sup>3</sup> /h
Água Quente:	Temperatura de entrada: 95°C Temperatura de saída: 81,5°C Caudal: 48,1 l/s ( 173,16 m <sup>3</sup> /h)

Figura C.2- Dados técnicos do chiller de absorção a água quente existente na instalação

### C.2. Valores lidos na central relativos ao funcionamento do chiller e respetivos cálculos

Com o propósito de calcular o volume de água que foi necessário para o chiller elétrico fornecer a sua energia, foi recolhido da instalação os dados do contador de entalpia que correspondia a aparelho. Com os valores reunidos foi construída a tabela A.8 que é apresentada anteriormente no anexo A.

Através desta tabela foi possível perceber que o chiller foi acionado tanto em janeiro como em junho, e a energia que este removeu da água de corrente fria foi 420,68 GJ em janeiro e 598,15 GJ em junho.

Através destes valores foi possível calcular o volume de água que o chiller necessitou durante o mês para conseguir produzir estes GJ.

#### **Cálculo do volume médio diário de água necessária pelo chiller elétrico(m<sup>3</sup>)**

$$Q (kJ) = m(kg) \times cp \left( \frac{kJ}{kgK} \right) \times \Delta T(K) \quad (c.1)$$

Considerando:

- CP= 4,184 kJ/kgK
- $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$
- Qjaneiro=420680000 kJ
- Qjunho=598150000 kJ
- Em janeiro foi ligado 15 dias e em junho 18 dias

$$420680000 = m \times 4,184 \times 3 \leftrightarrow m = \frac{3,35 \times 10^7}{1000 \times 15} \text{ kg} \approx V = 2234,3 \text{ m}^3$$

De forma a calcular o volume que o novo depósito deveria ter, calculou-se o volume médio de água corresponde à energia fornecida ao CHAS nos dois meses nos dias em que o CHC também funcionou.

### **Cálculo do volume médio diário de água necessária para o CHAS (m<sup>3</sup>)**

$$Q \text{ (kJ)} = m \text{ (kg)} \times cp \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \times \Delta T \text{ (K)} \quad (\text{c.2})$$

- CP= 4,184 kJ/kgK
- $\Delta T = 13,5^{\circ}\text{C}$
- Qjaneiro=357220000kJ
- Qjunho=1366610000 kJ
- Em janeiro foi ligado 15 dias e em junho 18 dias

$$357220000 = m \times 4,184 \times 13,5 \leftrightarrow m = \frac{6,33 \times 10^6}{1000 \times 15} \text{ kg} \approx V = 421,62 \text{ m}^3$$

De forma a ser perceptível se a adição do novo depósito é vantajosa neste caso, foi necessário calcular o volume que este deveria ter de forma a auxiliar o CHAS.

### **Cálculo do volume médio diário de depósito (m<sup>3</sup>)**

$$m_{\text{tanque}} \text{ (kg)} \times cp \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \times \Delta T_{\text{tanque}} \text{ (K)} = Q_{\text{CHAS}} \text{ (kJ)} + Q_{\text{CHC}} \text{ (kJ)} \quad (\text{c.3})$$

Considerando:

- $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$
- CP= 4,184 kJ/kgK
- QCHAS<sub>janeiro</sub>=357220000 kJ
- QCHC<sub>janeiro</sub>=420680000 kJ
- QCHAS<sub>junho</sub>=1366610000 kJ
- QCHC<sub>janeiro</sub>=598150000 kJ



$$m \times 4,184 \times 10 = 357220000 + 420680000 \leftrightarrow m = \frac{1,24 \times 10^4}{1000 \times 15} \text{ kg} \approx V = 826,3 \text{ m}^3$$

### C.3. Cálculo da poupança por parte do chiller elétrico

Tendo em consideração o volume médio diário de água necessário para remover a energia no chiller elétrico e os volumes de depósito estudados anteriormente, foi possível calcular as horas que iriam ser poupadas ao chiller elétrico pela adição do novo depósito.

#### **Horas em que o chiller não é ligado pela adição do novo depósito**

$$\text{Horas (h)} = \frac{\text{Volume do depósito (m}^3\text{)}}{\text{Caudal médio (} \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \text{)}} \times 15 \text{ dias} \quad (\text{c.4})$$

$$\text{Horas (h)} = \frac{30}{2234,3} \times 15 = 0,20 \text{ dias} \approx 0,32 \text{ horas} \approx 4,83 \text{ horas}$$

Através da consulta dos dados da placa do equipamento, a potência elétrica deste é 510,6 kW. Assim foi possível calcular a energia elétrica gasta pelo chiller.

#### **Energia poupada (kWh)**

$$\text{Energia poupada (kWh)} = \text{Potência elétrica} \times \text{Horas poupadas (h)} \quad (\text{c.5})$$

$$\text{Energia poupada (kWh)} = 510,6 \times 4,83 = 2466,2 \text{ kWh}$$

Para o cálculo da energia elétrica gasta pelo chiller elétrico, admitiu-se que o chiller trabalhou 160 horas em janeiro e 180 horas em junho.

Através da consulta dos dados da placa do equipamento, a potência elétrica deste é 510,6 kW. Através destes dados foi possível calcular a energia elétrica gasta pelo chiller.

#### **Cálculo da eletricidade gasta pelo chiller (kWh)**

$$\text{Energia (kWh)} = \text{Potência (kW)} \times \text{horas}_{\text{funcionamento}} \quad (\text{c.6})$$

$$\text{Energia (kWh)} = 510,6 \times 160 = 81696 \text{ kWh}$$

## **D – Cálculo do investimento e *payback time***

Neste subcapítulo será fornecida toda a informação que foi utilizada para o cálculo do investimento do projeto e *payback time*.

Todos os exemplos de cálculo apresentados neste capítulo são referentes ao depósito de 30 m<sup>3</sup>.

D.1. Cálculos relativos ao valor pago atualmente pela empresa em GN e o valor poupado pela adição do depósito

Depois da avaliação dos preços de gás natural praticados no mercado e escolhido o mais adequado para a empresa, foi possível calcular o quanto a empresa paga em gás natural atualmente e quanto se iria poupar com a implementação do novo depósito, através do cálculo de energia poupada apresentado no anexo B.

### **Cálculo do custo do GN atualmente (€)**

$$\begin{aligned} \text{Valor pago em GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) \\ = \text{Termo fixo GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{dia}} \right) \times 31 \text{ dias} + \text{Termo de energia GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \times \text{Energia (kWh)} \end{aligned} \quad (\text{d.1})$$

Considerando:

Termo fixo do gás natural=0,2066 €/dia

Termo de energia do gás natural=0,0468 €/kWh

$$\text{Valor pago em GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) = 0,2066 \times 31 + 0,0468 \times 437698,50 = 20490,69 \text{ €/mês}$$

### **Cálculo do valor poupado em GN (€)**

$$\begin{aligned} \text{Valor poupado em GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) = \text{Energia poupada em GN (kWh)} \times \\ \text{Termo de energia GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \end{aligned} \quad (\text{d.2})$$

O valor poupado, assim como a energia poupada, depende do volume do novo depósito. Assim, para um volume de 30m<sup>3</sup> obtém-se os seguintes valores.

$$\text{Valor poupado em GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) = 6815,84 \times 0,0468 = 318,98 \text{ €/mês}$$

Uma vez que se admitiu que a caldeira irá funcionar 4 meses por ano, foi possível calcular a poupança total de gás natura por ano.

$$\text{Valor poupado em GN} \left( \frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 318,98 \times 4 = 1275,92 \text{ €/ano}$$

D.2. Cálculos relativos ao valor pago atualmente e ao poupado pela empresa em eletricidade

Através deste cálculo da energia elétrica gasta pelo chiller foi possível encontrar o valor pago pela empresa em eletricidade. Para isto foi admitido que este trabalhou sempre em período de vazio.

#### **Cálculo do custo de eletricidade (€)**

$$\begin{aligned} \text{Valor pago em eletricidade} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) \\ = \text{Potência} \left( \frac{\text{€}}{\text{dia}} \right) \times 31 \text{ dias} + \text{Termo de Energia} \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \times \text{Energia (kWh)} \end{aligned} \quad (\text{d.3})$$

$$\text{Valor pago em eletricidade} = 1,9969 \times 31 + 0,0805 \times 81696 = 6638,43 \text{ €/mês}$$

#### **Cálculo do valor poupado em eletricidade (€)**

$$\begin{aligned} \text{Valor poupado em eletricidade} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) = \\ \text{Energia poupada em eletricidade (kWh)} \times \text{Termo de energia} \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \end{aligned} \quad (\text{d.4})$$

O valor poupado, assim como a energia poupada, depende do volume do novo depósito. Assim, para um volume de 30 m<sup>3</sup> obtém-se os seguintes valores.

$$\text{Valor poupado em eletricidade} \left( \frac{\text{€}}{\text{mês}} \right) = 2468,1 \times 0,0805 = 198,7 \text{ €/mês}$$

Relativamente ao período de funcionamento do chiller, como se observou que ele trabalhou em janeiro e junho, para o cálculo da poupança total admitiu-se que ele funcionou 6 meses do ano em regime dos meses frios e 6 meses em regime dos meses quente.

$$\text{Valor poupado em eletricidade} \left( \frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 6 \times 198,7 + 6 \times 201,2 = 2399,4 \text{ €/ano}$$

### D.3. Investimento do projeto

Para o cálculo do investimento foi necessário analisar os preços dos vários elementos que iriam fazer parte do novo projeto.

Esses elementos que irão fazer parte deste projeto são:

- Um depósito (volume variável);
- Duas válvulas de três vias;
- Tubagem;
- Isolamento.

#### D.3.1. Depósito

O depósito será semelhante ao já existente na instalação, tratando-se assim de um depósito de inércia, isolado e com proteção mecânica, equipado com acessórios. A sua constituição é de Aço tipo st 35,8 Din 2448.

Devido à dificuldade de encontrar o preço correto para este tipo de depósito, foi tido em consideração o valor do que já existe na instalação (30m<sup>3</sup>) e assim atribuído um valor ao novo depósito dependendo no seu volume.

Na tabela seguinte pode ver-se os preços utilizados para os diferentes depósitos.

*Tabela D.1- Preço dos depósitos dependendo do seu volume.*

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>90 m<sup>3</sup></b>	<b>150 m<sup>3</sup></b>
<b>Preço (€)</b>	42500	85000	127500	212500

#### D.3.2. Válvulas

Para as válvulas foi pedido um orçamento à empresa Samson. Estas serão válvulas de três vias, tipo 3260 com função diversora, DN 300, funcionam em atuadores elétricos, corpo em ferro fundido EN-JL 1040/A 126 B, vedante do obturador e da haste do obturador em EPDM e temperatura máxima permitida de 150°C

O preço fornecido pela empresa foi de 10150,5€ por cada válvula [12].

#### D.3.3. Tubagem

No caso da tubagem, esta será de Aço tipo st 35,8 Din 2448, assim como o depósito. O preço para esta foi consultado no site da empresa Humberto Poças, S.A [13]

Pré-avaliação do potencial do sistema de cogeração e estudo de oportunidades de melhoria

Na instalação a tubagem terá DN 300, e serão precisos 50 metros. Nestas condições o preço será 215,52 €/m.

#### D.3.4. Isolamento para a tubagem

O preço do isolamento foi consultado no site da empresa Armacell. [14]

Este será do tipo coquilha e com espessura de 45 mm. O preço praticado por esta empresa é de 170,81 €/unidade. Cada unidade é constituída por 6 peças de 215mm, serão precisas 39 unidades.

#### D.3.5. Investimento total do projeto

O investimento foi calculado através do somatório dos preços dos vários elementos descritos anteriormente. Foram calculados quatro investimentos diferentes, nos quais a única diferença é o preço do depósito (DAAQ3), uma vez que existem volumes diferentes para este.

Nas tabelas seguintes pode ver-se o investimento para os diferentes depósitos.

Tabela D.2- Investimento da instalação com depósito de 30 m<sup>3</sup>.

	Volume (m <sup>3</sup> )	Comprimento (m)	Quantidade	Preço (€/m)	Preço(€/uni)	Preço (€)
<b>DAAQ 3</b>	30	\	1	\	42500	42500
<b>Tubagem</b>	\	50	\	215,52		10776
<b>Válvulas</b>			2		10150,5	20301
<b>Isolamento</b>			39		170,81	6661,59
					<b>TOTAL</b>	<b>80238,59</b>

Tabela D.3- Investimento da instalação com depósito de 60 m<sup>3</sup>.

	Volume (m <sup>3</sup> )	Comprimento (m)	Quantidade	Preço (€/m)	Preço(€/uni)	Preço (€)
<b>DAAQ 3</b>	60	\	1	\	85000	85000
<b>Tubagem</b>	\	50	\	215,52		10776
<b>Válvulas</b>			2		10150,5	20301
<b>Isolamento</b>			39		170,81	6661,59
					<b>TOTAL</b>	<b>122738,6</b>

Tabela D.4- Investimento da instalação com depósito de 90 m<sup>3</sup>.

	Volume (m <sup>3</sup> )	Comprimento (m)	Quantidade	Preço (€/m)	Preço(€/uni)	Preço (€)
<b>DAAQ 3</b>	90	\	1	\	127500	127500
<b>Tubagem</b>	\	50	\	215,52		10776

<b>Válvulas</b>			2		10150,5	20301
<b>Isolamento</b>			39		170,81	6661,59
					<b>TOTAL</b>	<b>165238,6</b>

Tabela D.5- Investimento da instalação com depósito de 150 m<sup>3</sup>.

	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço (€/m)</b>	<b>Preço(€/uni)</b>	<b>Preço (€)</b>
<b>DAAQ 3</b>	150	\	1	\	212500	212500
<b>Tubagem</b>	\	50	\	215,52		10776
<b>Válvulas</b>			2		10150,5	20301
<b>Isolamento</b>			39		170,81	6661,59
					<b>TOTAL</b>	<b>250238,6</b>

#### D.4 Estudo do *payback time* do projeto

Para calcular o *payback* estimado do projeto foi considerado que a caldeira de água quente é ligada durante 4 meses por anos (janeiro, fevereiro, novembro e dezembro) e o chiller durante 12 meses.

Considerando que a poupança total é o somatório do valor poupando em gás natural com a caldeira de água quente e o poupado em eletricidade com o chiller elétrico, encontrou-se o *payback time* para este projeto.

$$\textit{Payback time (meses)} = \frac{\textit{Investimento (€)}}{\textit{Poupança (€)}} \times 12 \quad (\text{d.4})$$

$$\textit{Payback time (meses)} = \frac{80238,59}{3675,28} \times 12 = 261,9 \textit{ meses}$$