



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**



***Auditoria e Optimização Energética  
de uma Unidade Fabril***

**MIGUEL SÉRGIO MARTINS VIEIRA**  
(Bacharel em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Professor João Manuel Vinhas Frade  
Eng. Aurélio Freitas Fernandes

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João M. F. Calado

Vogais:

Prof. Armando C. Costa Inverno  
Prof. Francisco M.F. Severo  
Prof. João Manuel Vinhas Frade  
Eng. Aurélio Freitas Fernandes

## Agradecimentos

Os meus primeiros agradecimentos vão para os meus pais, Aurélio Vieira e Goretti Vieira e para a minha namorada, Liliana Vicente, que sempre me apoiaram e muita força me deram no decorrer desta Tese de Mestrado.

Em seguida, agradeço à Logoplaste na pessoa do Eng. Aurélio Freitas Fernandes por me ter proporcionado a oportunidade de demonstrar aquilo que aprendi e desenvolvi ao longo de 5 anos de estudo no ISEL. Agradeço a sua ajuda, as suas ideias e o seu bom senso na tomada de decisões.

Ao Professor e Orientador João Vinhas Frade, os meus sinceros agradecimentos por ter partilhado o seu, tão vasto, conhecimento nesta área de estudo e me ter orientado ao longo do percurso. Apenas, desta forma, foi possível alcançar os objectivos que nos propusemos no início deste trabalho.

Agradeço ainda ao Jorge Valentim, *Plant Manager da Logoplaste Mealhada*, que reuniu os meios no local para que o trabalho desenvolvido fosse além do teórico, passando à prática, com resultados visíveis e concretos.

Aos meus colegas Pedro Martins e Bruno Machado, que me forneceram os elementos necessários à compreensão do processo de injeção de préformas e a todos as pessoas que me ajudaram a desenvolver este trabalho, o meu muito obrigado.

Por fim, gostaria ainda de agradecer ao Professor José Novais por me ter “aberto a porta” à vida profissional e recomendado à Logoplaste.

## Resumo

A crise do petróleo em 1973 preocupou a população mundial e, desde então, os temas relacionados com a energia têm sido debatidos, sendo um dos mais importantes, a *Melhoria da Eficiência Energética*. O objectivo de corresponder às necessidades energéticas com a melhoria da eficiência em vez de aumentar a produção de energia tem sido, fortemente, ambicionado nos últimos anos.

Esta Tese de Mestrado surge através da necessidade de uma unidade fabril reduzir a sua factura energética, que tem sido crescente ao longo dos últimos anos, de forma a melhorar a sua competitividade. O principal objectivo deste trabalho será, portanto, a *melhoria da eficiência energética* e, conseqüente, redução dos consumos energéticos e encargos associados. Foi definida como meta energética, situar o consumo específico abaixo dos *900 kWh/ton*, sendo que, *850 kWh/ton* é a média dos consumos específicos deste tipo de indústria.

Para a execução deste trabalho realizou-se numa primeira fase uma *Auditoria Energética* com o objectivo de recolher informação sobre as várias formas de energia consumidas e as necessidades energéticas específicas de cada utilização. Através deste levantamento e da análise dos registos históricos foram identificados os principais consumidores de energia e as principais áreas de intervenção. Após o trabalho de auditoria, foi elaborado um relatório com recomendações e medidas de racionalização energéticas. Por fim, foi desenvolvido um ante-projecto adequado a este tipo de indústria, que passa pela instalação de um Sistema de Co(Tri)geração.

Após a implementação de medidas de racionalização energética o consumo específico diminuiu de *910 kWh/ton* (Janeiro a Setembro 2008) para *850 kWh/ton* (Outubro 2008 a Abril 2009), sendo este o valor médio da indústria de produção de préformas.

Finalmente, é sugerido um modelo de gestão energética para este tipo de indústria tendo em conta o estudo desenvolvido em Cogeração.

**Palavras Chave:** Eficiência Energética, Auditoria Energética, Cogeração

## Abstract

Oil crisis in 1973 concerned worldwide population and since then energy themes have been debated, among of which, *Energy Efficiency* has become one of the most important. Meeting energy demand with higher energy efficiency instead of raising production of energy is now the main target.

The present Master Thesis is a case study which has the target to accomplish an industrial plant need – to reduce energy bill in order to get more competitive. Therefore, the main goal of the work is to improve energy efficiency, and so reducing energy consumption. In consequence, an energy target was defined - to place energy specific consumption of the plant (main energy indicator) under *900 kWh/ton*. The industry average is *850 kWh/ton*.

On the first stage, an Energy Audit has been developed with the purpose of gathering information about energy consumptions and real needs of each section of the plant. As a result, main energy consumers and main action areas were identified. On a second stage, an Audit Report was developed with recommended energy conservation measures. On the third stage, it was studied a recommended Cogeneration pre-project.

Some of the energy conservation measures were applied and energy specific consumption was reduced from *910 kWh/ton* (January to September 2008) to *850 kWh/ton* (October 2008 to April 2009). The attained results allowed the plant to place its energy specific consumption closer to industry average.

Finally, based on study of Cogeneration it is suggested an Energy Management Model to plants with similar characteristics to the studied one.

**Key words:** Energy Efficiency, Energy Audit, Cogeneration

# Índice

<i>Agradecimentos</i> .....	1
<i>Resumo</i> .....	2
<i>Abstract</i> .....	3
<i>Índice</i> .....	4
<i>Índice de Figuras</i> .....	6
<i>Índice de Tabelas</i> .....	7
<i>Glossário</i> .....	8
<b>1</b> <i>Introdução</i> .....	9
1.1 <i>Enquadramento</i> .....	9
1.2 <i>Apresentação do Trabalho/ Objectivos</i> .....	10
1.3 <i>Apresentação da Empresa</i> .....	12
1.3.1 <i>Equipamentos da Logoplaste Mealhada</i> .....	13
1.4 <i>Organização do Trabalho</i> .....	17
<b>2</b> <i>Revisão Bibliográfica</i> .....	18
2.1 <i>Auditoria Energética</i> .....	18
2.1.1 <i>Tipos de Auditorias Energéticas</i> .....	18
2.1.2 <i>O Processo de Auditoria</i> .....	19
2.1.3 <i>O Relatório da Auditoria</i> .....	20
2.2 <i>Cogeração</i> .....	20
2.2.1 <i>Sistemas de Cogeração</i> .....	23
2.2.2 <i>Tecnologias de Trigeriação</i> .....	31
2.2.3 <i>Orientação de Projectos de Cogeração</i> .....	33
<b>3</b> <i>Descrição de Actividades / Metodologia</i> .....	40

4	<i>Apresentação e Discussão de Resultados</i> .....	42
4.1	<i>Consumos Energéticos</i> .....	42
4.1.1	<i>Arrefecimento e Desumidificação dos Moldes</i> .....	47
4.1.2	<i>Secagem de Matéria-Prima – PET</i> .....	50
4.1.3	<i>Arrefecimento do Óleo das Máquinas de Injecção</i> .....	52
4.1.4	<i>Cogeração</i> .....	52
5	<i>Conclusões</i> .....	58
5.1	<i>Objectivos realizados</i> .....	58
5.2	<i>Limitações / dificuldades &amp; trabalho futuro</i> .....	60
5.2.1	<i>Arrefecimento e Desumidificação dos Moldes</i> .....	60
5.2.2	<i>Secagem de Matéria-Prima – PET</i> .....	61
5.2.3	<i>Arrefecimento do Óleo das Máquinas de Injecção</i> .....	61
5.2.4	<i>Outros Trabalhos Futuros</i> .....	62
5.3	<i>Apreciação Final</i> .....	63
6	<i>Bibliografia</i> .....	64
7	<i>ANEXOS</i> .....	65
7.1	<i>ANEXO A – Planta da Unidade Fabril Plastikit – Logoplaste Mealhada</i> .....	65

## Índice de Figuras

<i>Figura 1 – Evolução do Consumo Energético da Logoplaste Mealhada desde 2002 até 2007 (o valor de 2008 refere-se a um valor esperado pela Husky®) [7].</i>	11
<i>Figura 2 - Gama de Produtos produzidos pela Logoplaste.</i>	12
<i>Figura 3 - Máquina de Injecção Netstal.</i>	13
<i>Figura 4 – Préformas PET.</i>	13
<i>Figura 5 – Periféricos: Equipamentos dos Sistemas de Arrefecimento.</i>	14
<i>Figura 6 - Secador de Matéria-Prima PET.</i>	15
<i>Figura 7 - Diagrama dos Sistemas Consumidores de Energia.</i>	16
<i>Figura 8 - Esquema típico de representação - Cogeração/Trigeração [8].</i>	21
<i>Figura 9 – Comparação dos rendimentos de um sistema de cogeração e de um sistema convencional de produção separada de electricidade e calor [10].</i>	22
<i>Figura 10 - Funcionamento típico dum sistema com Turbina a Gás [10].</i>	23
<i>Figura 11 - Funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor de contrapressão [10].</i>	25
<i>Figura 12 - Esquema generalizado de um sistema de Cogeração em Ciclo Combinado [10].</i>	26
<i>Figura 13 – Esquema geral de funcionamento dum sistema de Cogeração com motor alternativo [10].</i>	27
<i>Figura 14 - Esquema típico de representação de uma célula de combustível [8].</i>	29
<i>Figura 15 - Esquema de um sistema de cogeração equipado com microturbina [7].</i>	29
<i>Figura 16 - Princípio básico de uma máquina de frio por absorção [8].</i>	31
<i>Figura 17 - Etapas dum projecto de cogeração.</i>	34
<i>Figura 18 - Consumo de Energia Eléctrica de 2006 a 2008.</i>	42
<i>Figura 19 - Produção Mensal de 2006 a 2008.</i>	43
<i>Figura 20 - Consumo estimado de energia da fábrica [9].</i>	44
<i>Figura 21 - Consumo de energia por sistemas.</i>	45
<i>Figura 22 - Consumo de energia dos vários sistemas de arrefecimento.</i>	46
<i>Figura 23 - Curva da bomba Grundfos CR60-80 ®.</i>	49
<i>Figura 24 - Esquema de funcionamento do equipamento de Secagem PET [9].</i>	50
<i>Figura 25 - Perfil de Consumo Eléctrico - Agosto 2008.</i>	55
<i>Figura 26 - Esquema de Princípio da Instalação.</i>	56
<i>Figura 27 - Consumo específico da fábrica [kWh/ton].</i>	58

## Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Vantagens e Limitações dos diferentes Sistemas de Cogeração [7].</i>	30
<i>Tabela 2 - Características dos Refrigeradores de Absorção [8].</i>	33
<i>Tabela 3 - A possibilidade de uma utilização económica da cogeração torna-se maior à medida que mais questões forem respondidas com “sim” [6].</i>	37
<i>Tabela 4 - Características operacionais e custos típicos dos diferentes tipos de sistemas de cogeração [5].</i>	38
<i>Tabela 5 - Comparação de produções, consumos energéticos e consumos específicos (2006 a Set 2008).</i>	43
<i>Tabela 6 - Necessidade de caudal por máquina.</i>	47
<i>Tabela 7 - Comparação das Necessidades e Consumos Reais de água fria.</i>	47
<i>Tabela 8 - Necessidades Eléctricas.</i>	53
<i>Tabela 9 - Necessidades de Frio.</i>	53
<i>Tabela 10 - Necessidades de Calor.</i>	54
<i>Tabela 11 - Evolução do Consumo Específico – 2006 a Abril 2009.</i>	58

## **Glossário**

PET – Polyethylene Terephthalate

PP – Polypropylene

HDPE - High Density Polyethylene

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

CHP – Combined Heat Power (Cogeração)

VED – Válvula de Equilíbrio Dinâmico

C.O.P. – Coefficient of Performance

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

O tema deste Trabalho de Projecto da disciplina de “*Dissertação, Trabalho de Projecto ou Estágio de Natureza Profissional*” do Mestrado em Engenharia Mecânica é *Auditoria e Optimização Energética de uma Unidade Fabril*. Acções deste tipo visam a redução dos consumos energéticos dos processos ou edifícios (comerciais ou de serviços) e são, por sua vez, ferramentas essenciais a um Desenvolvimento Sustentado pois:

1. Localmente, permitem uma optimização dos processos, redução das facturas energéticas, aumento da competitividade das organizações e por vezes redução do impacte ambiental;
2. A nível nacional, um benefício está na redução da “dívida externa” devido à aquisição de Energia Primária, uma vez que Portugal não tem reservas a serem exploradas e o “mix” energético é como se sabe constituído maioritariamente por combustíveis fósseis. A evolução da política energética nas últimas décadas e a avançada idade de grande parte do parque industrial e dos edifícios existentes, faz com que as actividades de *Reabilitação Energética* possam desempenhar um papel importante na redução da dependência externa.
3. Outro benefício é, a redução de emissões de gases poluentes (gases com efeito de estufa, gases que deterioram a camada de ozono, gases que provocam chuvas ácidas).

De facto, a gestão da energia é necessária para permitir traçar directrizes que conduzam à redução dos desperdícios energéticos que ocorrem não só devido às limitações dos processos tecnológicos, mas também por descuido dos consumidores e outras deficiências inerentes à falta de manutenção dos equipamentos.

Um dos primeiros passos para uma posterior redução do consumo energético é a correcta quantificação da energia consumida. O processo de medição das formas de energia envolvidas num dado processo fabril permitirá obter uma visão global da situação energética desse mesmo processo. É necessário encontrar um uso adequado para a energia rejeitada de processo de fabrico, muito antes de ser considerado qualquer outro processo de recuperação de energia.

Na realidade, não faz sentido investir recursos no estudo, e concepção, de um dado sistema de recuperação de energia, se no final se concluir que não existe uma utilização adequada para a energia economizada. De notar que, aparentes reduções nos custos de energia, poderão implicar custos adicionais noutros sectores fabris, inviabilizando economicamente o processo.

Ao identificar e caracterizar os principais consumidores de energia numa indústria, ou processo, torna-se possível estudar medidas que possam conduzir a uma maior eficiência energética, assim como, a uma redução do consumo específico de energia ( $kWh/kg_{prod}$ ) e consequentemente diminuir o custo de produção.

## ***1.2 Apresentação do Trabalho/ Objectivos***

Este trabalho surge através da necessidade da instalação fabril em estudo reduzir a sua factura energética, que tem sido crescente ao longo dos últimos anos, de forma a melhorar a sua competitividade.

O *principal objectivo* deste trabalho será, portanto, a *melhoria da eficiência energética* e, consequente, redução dos consumos e encargos associados. Foi definida como meta, situar o consumo específico da Logoplaste Mealhada abaixo dos  $900 kWh/ton$ , sendo que, o valor  $850 kWh/ton$  é a média dos consumos específicos deste tipo de indústria como é visível na Figura 1.

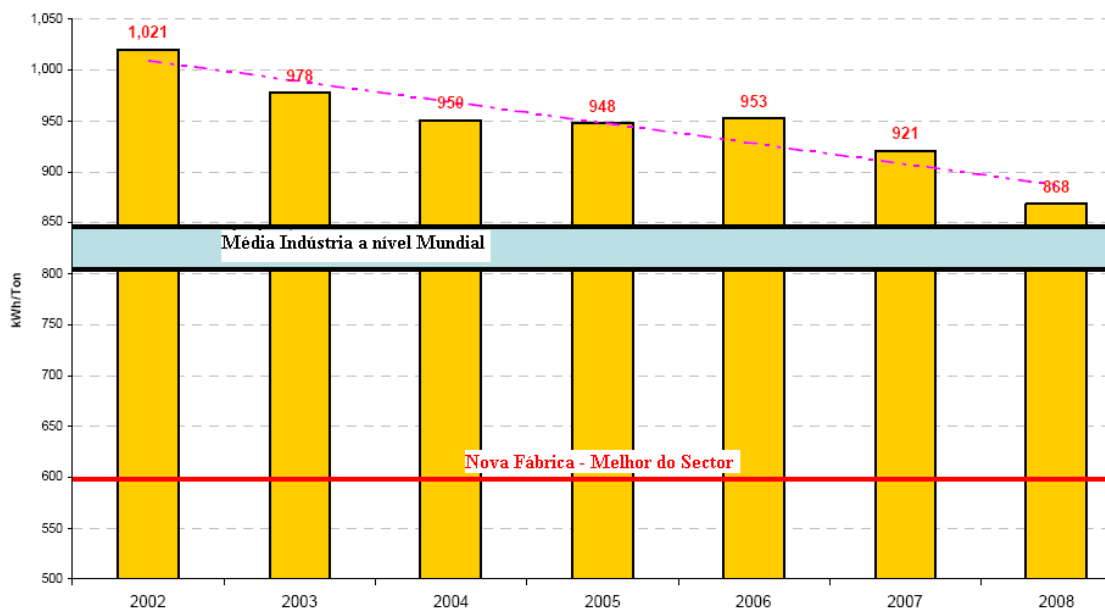


Figura 1 – Evolução do Consumo Energético da Logoplaste Mealhada desde 2002 até 2007 (o valor de 2008 refere-se a um valor esperado pela Husky®) [7].

Será importante definir uma utilização racional do consumo de energia, com o intuito de determinar como e onde é consumida e, se esse consumo é o mais adequado.

Numa primeira fase serão avaliadas as condições de funcionamento da instalação, de modo a identificar áreas de melhoria relativamente ao consumo de energia e à eficácia do(s) processo(s) por forma a otimizar os consumos específicos.

Paralelamente pretende-se com este trabalho inculir nos profissionais desta empresa:

- Maior sensibilização para as questões energéticas, não só na fábrica em estudo, como nas restantes fábricas do grupo Logoplaste em Portugal;
- Maior cuidado na selecção de equipamentos e projectos de sistemas de arrefecimento

É objectivo ainda, desenvolver um modelo de gestão energética que sirva de referência em projectos neste tipo de indústria.

### 1.3 Apresentação da Empresa

A Logoplaste é um grupo industrial que produz embalagens rígidas de plástico para algumas das empresas mais reputadas no mundo, nos sectores de bebidas e alimentação, higiene pessoal, higiene da casa, óleos e lubrificantes.

Fundada em 1976, há mais de 30 anos que a empresa é pioneira no desenvolvimento na Europa e no resto do mundo da produção *in-house*, através do conceito "*hole in the wall*", fornecendo embalagens de plástico "*just-in-time*" em unidades integradas nas fábricas do cliente.

Actualmente, a Logoplaste gere 52 fábricas e mais de 250 máquinas, em 17 países: Angola, Áustria, Brasil, Canadá, EUA, Espanha, França, Holanda, Irlanda, Itália, Malásia, México, Portugal, República Checa, Reino Unido, Rússia e Ucrânia. As últimas tecnologias em moldação por injeção, estiragem-sopro e extrusão-sopro são utilizadas na produção de embalagens para um vasto leque de segmentos de mercado.

A fábrica seleccionada é a Logoplaste Mealhada, sendo que esta assume um papel fundamental no Grupo, pois é responsável pela produção de pré-formas (matéria prima PET) que irão ser transformadas em garrafas nas unidades fabris de estiragem-sopro (dentro do Grupo e não só).



Figura 2 - Gama de Produtos produzidos pela Logoplaste.

### 1.3.1 Equipamentos da Logoplaste Mealhada

Os equipamentos principais são máquinas de injeção (Figura 3), responsáveis por transformar a matéria-prima (PET) em préformas (Figura 4). Estas máquinas são constituídas, basicamente, por um motor principal, responsável por gerar energia para accionar as bombas hidráulicas responsáveis pelos movimentos da máquina e por resistências eléctricas que irão aquecer o PET até à temperatura de fusão para que possa ser injectado.



Figura 3 - Máquina de Injecção Netstal.



Figura 4 – Préformas PET.

Além disso, existem os equipamentos auxiliares ou periféricos responsáveis por garantir ar comprimido a  $7\text{ bar}$  (para o comando de válvulas) e água fria para o arrefecimento e desumidificação dos moldes e do circuito hidráulico (Figura 5).



a – Refrigerador e bombas de circulação.



b – Torre de Arrefecimento.



c - Dry Cooler / Air Blaster.



d – Central de Bombagem de água fria para moldes.

Figura 5 – Periféricos: Equipamentos dos Sistemas de Arrefecimento.

Um equipamento auxiliar fundamental é o secador de matéria-prima (PET). O PET por ser, altamente, higroscópico tem de ser seco antes de ser processado. Este equipamento é constituído por resistências eléctricas, responsáveis pelo aquecimento do ar que irá secar o PET. Necessita de água fria para que a humidade possa ser retirada do ar saturado, depois de este ter passado pelos grânulos de PET.



Figura 6 - Secador de Matéria-Prima PET.

A fábrica utiliza, quase unicamente, a electricidade como fonte energética. O gás propano é apenas utilizado como apoio aos painéis solares nas águas quentes sanitárias. Como tal, o presente trabalho está focado, apenas, nos consumos eléctricos.

Resumindo, as máquinas de injeção assumem um papel central na fábrica, sendo à volta destas que os vários sistemas de apoio trabalham. O diagrama seguinte pretende demonstrar os principais equipamentos / sistemas consumidores de energia.

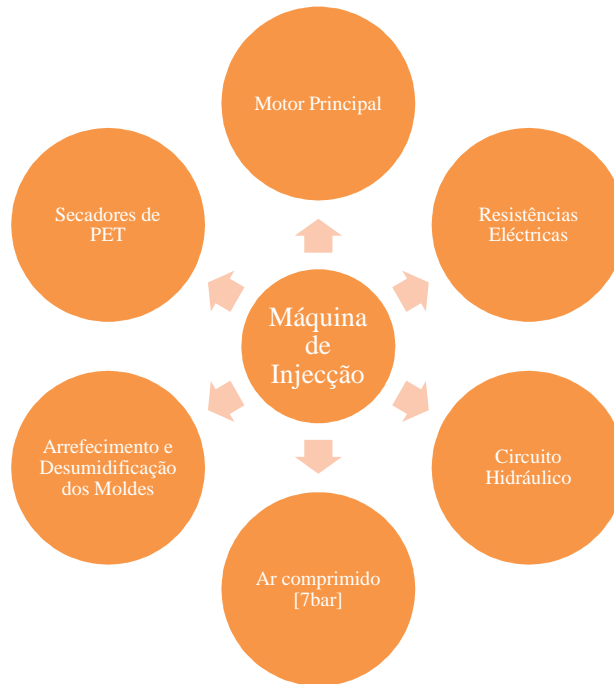


Figura 7 - Diagrama dos Sistemas Consumidores de Energia.

A fábrica, resumidamente, é constituída pelos seguintes equipamentos:

- 12 Máquinas de Injecção
- 12 Secadores de PET
- 12 Desumidificadores de Moldes
- 8 *Refrigeradores*
- 55 Bombas de circulação de água
- 2 Compressores B.P
- 3 U.T.A
- 3 Torres de Arrefecimento de água
- 3 Dry Coolers / Air Blasters

No ANEXO A – *Planta da Unidade Fabril Plastikit – Logoplaste Mealhada*, é visível a disposição dos equipamentos na fábrica.

## ***1.4 Organização do Trabalho***

O presente texto começa por apresentar uma revisão bibliográfica, onde os fundamentos teóricos para o trabalho em estudo são discutidos, de forma a sustentar todas as actividades desenvolvidas.

Segue-se uma secção onde são descritas todas as fases e metodologias utilizadas no decorrer do trabalho.

Nas últimas duas secções são apresentados e discutidos os resultados e as conclusões obtidas, assim como futuros trabalhos que poderão ser desenvolvidos no âmbito deste tema.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Auditoria Energética

Uma Auditoria Energética pode ser, simplesmente, definida como um processo que tem por objectivo avaliar o modo como um edifício ou fábrica utiliza as diferentes formas de energia e identificar oportunidades de redução de consumos [2].

Há uma relação entre o custo de uma auditoria energética, a quantidade de informação recolhida e analisada e o número de medidas de poupança de energia identificadas. Desta forma, em primeiro lugar é necessário definir qual o custo que estamos dispostos a suportar e que irá definir o tipo de auditoria. Em segundo lugar, a auditoria dependerá do tipo de instalação, p.e., numa auditoria a um edifício de escritórios será dada mais atenção à envolvente, às necessidades de iluminação, aquecimento/arrefecimento e ventilação ao passo que, no sector industrial é enfatizado os requisitos do processo [2].

#### 2.1.1 Tipos de Auditorias Energéticas

Uma Auditoria Energética pode ser de 2 tipos [3]: Auditoria Deambulatória ou Auditoria Detalhada.

##### ➤ Auditoria Deambulatória

Como o próprio nome indica, esta auditoria consiste em caminhar pela instalação para inspeccionar visualmente os equipamentos/sistemas de utilização de energia. É o tipo de auditoria mais simples, contudo, é uma oportunidade para se efectuar comparações com outras instalações do mesmo género, para além de proporcionar uma estimativa do potencial de optimização energética e uma lista de pequenas melhorias que podem ser feitas facilmente e a baixo custo. Neste tipo de auditoria é ainda recolhida informação para auditorias posteriores mais detalhadas, se os resultados preliminares resultantes desta auditoria assim o justificarem.

### ➤ *Auditoria Detalhada*

Neste tipo de auditoria a recolha e análise dos dados é mais cuidada e detalhada. É feita uma desagregação de consumos com base nas diferentes utilizações (p.e., aquecimento, arrefecimento, processo, iluminação, etc.). Todas as oportunidades de racionalização de consumos devem ser determinadas. Uma análise técnico-económica viabilizará as diversas oportunidades de redução de consumos.

### **2.1.2 O Processo de Auditoria**

O Processo de Auditoria Energética consiste basicamente em 3 fases [1]. Numa primeira fase, é feito um levantamento em termos energéticos das várias formas de energia consumidas e das necessidades energéticas específicas de cada utilização e/ou de cada divisão da fábrica.

Neste levantamento pretende-se:

- Identificar os principais consumidores de energia;
- Identificar se existe ou não recuperação de calor nos sistemas utilizados;
- Definir os regimes de funcionamento dos vários sectores da fábrica;
- Efectuar o levantamento das produções mensais, das horas de funcionamento, bem como, as características técnicas e respectivo factor de utilização dos equipamentos existentes nos vários sectores da empresa.

Numa segunda fase procede-se à análise dos registos históricos dos consumos das diversas formas de energia envolvidas.

Numa terceira fase, com o objectivo de diminuir a factura energética da empresa, efectua-se a identificação das principais áreas de intervenção tendo em vista a racionalização dos consumos energéticos. Esta fase inclui a elaboração de balanços energéticos e a avaliação da desagregação dos consumos. Estes balanços energéticos, e mássicos, deverão ser efectuados não só à instalação global, mas também a cada um dos sectores e/ou serviços da empresa, aos equipamentos de maiores consumos de cada sector e, caso existam, às instalações de transformação de energia.

Esta distribuição conveniente das quantidades de energia pelas várias secções e departamentos, existentes na empresa em análise, permite avaliar os pesos relativos das formas de energia consumidas, possibilitando a identificação de estratégias de actuação no sentido de solucionar rapidamente, e com sucesso, as situações mais críticas.

A refrigeração é uma componente de fundamental importância em diversas indústrias, tendo maior expressão na indústria alimentar e química. A refrigeração representa um consumo de energia muito significativo nestas indústrias podendo atingir os 90% em alguns dos casos. Há contudo um conjunto de alternativas que podem conduzir a uma poupança de energia significativa podendo representar até 20% de redução. Na maioria dos casos estas reduções são efectuadas à custa de investimentos e que representam tipicamente um período de retorno do investimento aceitável [1].

### ***2.1.3 O Relatório da Auditoria***

As actividades desenvolvidas durante uma auditoria energética visam identificar todos os sistemas de energia, avaliar a condição geral de todo o sistema, analisar o impacto das melhorias propostas e por fim escrever um relatório. O relatório deverá explicar as condições actuais do edifício, qual o perfil de consumos e quais os equipamentos que mais energia consomem. Por fim, deverão ser indicadas melhorias nos processos e nas acções de manutenção e as oportunidades de racionalização de consumos (ORC's) [2].

## ***2.2 Cogeração***

Um consumidor de energia eléctrica e térmica em regimes definidos tem a possibilidade de satisfazer estas necessidades a custos inferiores recorrendo a sistemas de cogeração.

O modo mais usual de satisfazer as necessidades energéticas é o recurso à compra de energia eléctrica à rede fornecedora, e de combustíveis para produção de energia térmica.

A cogeração surgiu como alternativa para obtenção de energias eléctrica e térmica a custos inferiores aos convencionais.

Substituindo o combustível fóssil pelo calor que normalmente é dissipado no processo de geração de energia, este sistema tem uma eficiência três, ou até mesmo quatro vezes superior ao convencional. Pode aplicar-se à indústria e aos edifícios onde há necessidades de energia eléctrica e energia térmica e, usualmente, em situações em que o número de horas anuais de operação seja superior a 4.500 horas.

A cogeração pode, então, ser definida como a geração simultânea de múltiplas formas de energia útil, normalmente energia eléctrica e térmica, num sistema integrado, a partir de uma única fonte primária [7].

A energia térmica proveniente de uma instalação de cogeração pode, neste caso, ser utilizada para produzir frio, através de um ciclo de absorção. Este processo “alargado” de Cogeração é conhecido por Trigeração ou produção combinada de electricidade, calor e frio.



Figura 8 - Esquema típico de representação - Cogeração/Trigeração [8].

Um sistema de cogeração é mais eficiente do que o sistema tradicional para obtenção do mesmo serviço de electricidade e calor, composto por um sistema gerador e por uma caldeira. A Figura 9 ilustra o acréscimo no rendimento global do processo.

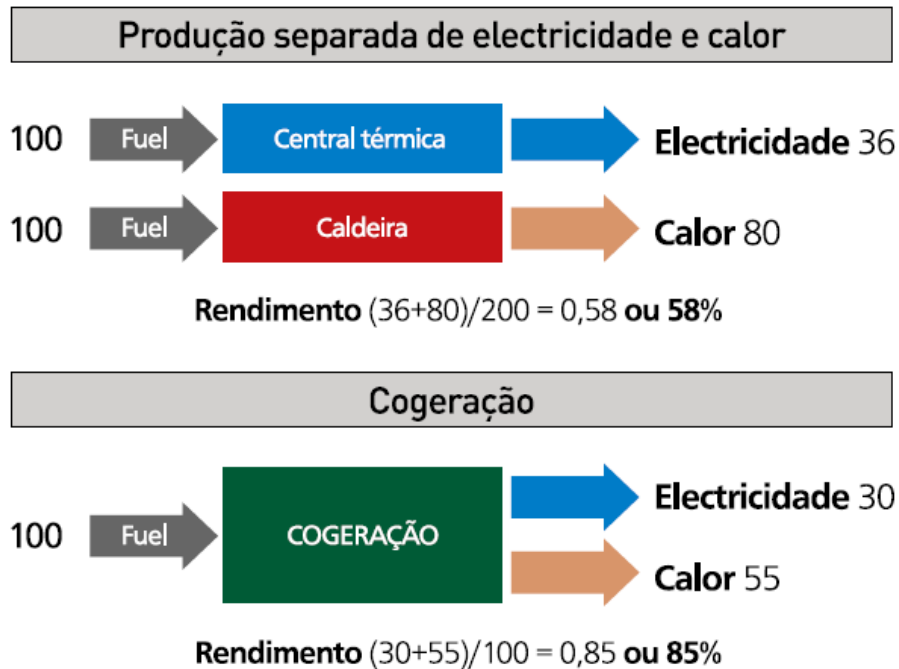


Figura 9 – Comparação dos rendimentos de um sistema de cogeração e de um sistema convencional de produção separada de electricidade e calor [10].

Os potenciais utilizadores de Cogeração são instalações que verificam as seguintes características [8]:

- Necessidades simultâneas e contínuas de energia térmica e energia eléctrica;
- Disponibilidade de combustíveis de qualidade;
- Período de funcionamento de pelo menos 4.500-5.000 horas por ano;
- Espaço suficiente e uma adequada localização para a implementação do novo equipamento;
- Calor residual disponível de elevada qualidade;

A implementação de sistemas de cogeração reduz a necessidade de construção de novas centrais de produção de energia eléctrica, com as conseqüentes vantagens económicas e ambientais, aumentando a competitividade das empresas que a ela recorram na produção de energia eléctrica.

A utilização de sistemas de cogeração implica uma redução de impacto ambiental que não pode ser negligenciável, para além da disseminação da produção de energia eléctrica levar a uma correspondente redução de perdas em linha.

### 2.2.1 Sistemas de Cogeração

Os sistemas de cogeração são, de uma forma geral, classificados de acordo com o tipo de Máquina utilizada para a produção de energia eléctrica.

De acordo com este critério teremos sistemas de cogeração com as seguintes designações:

- Cogeração com Turbina a Gás
- Cogeração com Turbina de Vapor
- Cogeração em Ciclo Combinado
- Cogeração com Motor Alternativo
- Tecnologias Emergentes: Pilhas de Combustível e Micro-Turbinas

#### 2.2.1.1 Cogeração com Turbina a Gás

Nestes sistemas, o combustível é queimado numa câmara de combustão, sendo os gases daí provenientes encaminhados para uma turbina na qual a sua energia será transformada em energia mecânica.

Energias residuais, na forma de caudais significativos de gases quentes (cerca de 500°C), podem ser total ou parcialmente utilizados na alimentação térmica do processo.

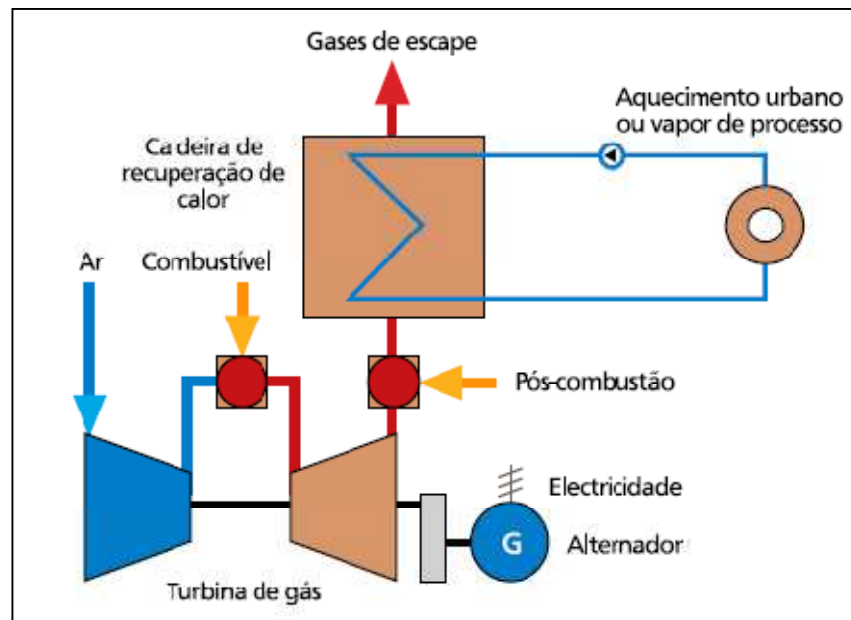


Figura 10 - Funcionamento típico dum sistema com Turbina a Gás [10].

A energia mecânica gerada pode ser utilizada das seguintes formas:

- Produção de energia eléctrica com um alternador;
- Accionamento de bombas, compressores, ventiladores, etc.;

A exaustão de gases poderá ser utilizada das seguintes formas:

- Aplicação directa em processos de combustão a baixa temperatura e processos de secagem. A turbina a gás gera um único fluxo de calor constituído por gases a alta temperatura, susceptíveis de serem utilizados em processos nos quais é possível a combustão directa. Prescindindo da utilização de fluidos intermédios, este sistema é, teoricamente, o de maior eficiência térmica.
- Produção de vapor a baixa pressão utilizando um queimador de recuperação, sendo esta a aplicação mais vantajosa no caso de ser requerida a utilização de vapor no processo de produção. Estes sistemas são designados como cogeração de ciclo simples (único) com turbina de gás, compreendendo uma turbina de gás, um alternador e um queimador, que produz vapor a partir dos gases de exaustão da turbina.

Em ambos os casos existe a possibilidade de aumentar a energia dos gases, através de “caldeiras de pós-combustão” com um acréscimo de combustível e utilizando o oxigénio que contém, adaptando-a às necessidades do sistema de cogeração.

O uso de Turbinas a Gás na Cogeração proporciona uma eficiência global de aproximadamente 75% que se pode justificar do seguinte modo: da energia total intrínseca ao combustível utilizado na combustão, cerca de 30% é convertida em energia mecânica, aproximadamente 50% encontra-se contida nos gases de exaustão (que são expulsos a temperaturas da ordem dos 500-600 °C), parte da restante energia (cerca de 20%) é absorvida pelo sistema de refrigeração, sendo o resto perdido no meio ambiente [8].

### 2.2.1.2 Cogeração com Turbina de Vapor

Neste tipo de turbina a energia mecânica é produzida pela expansão de vapor a alta pressão produzido por uma caldeira convencional.

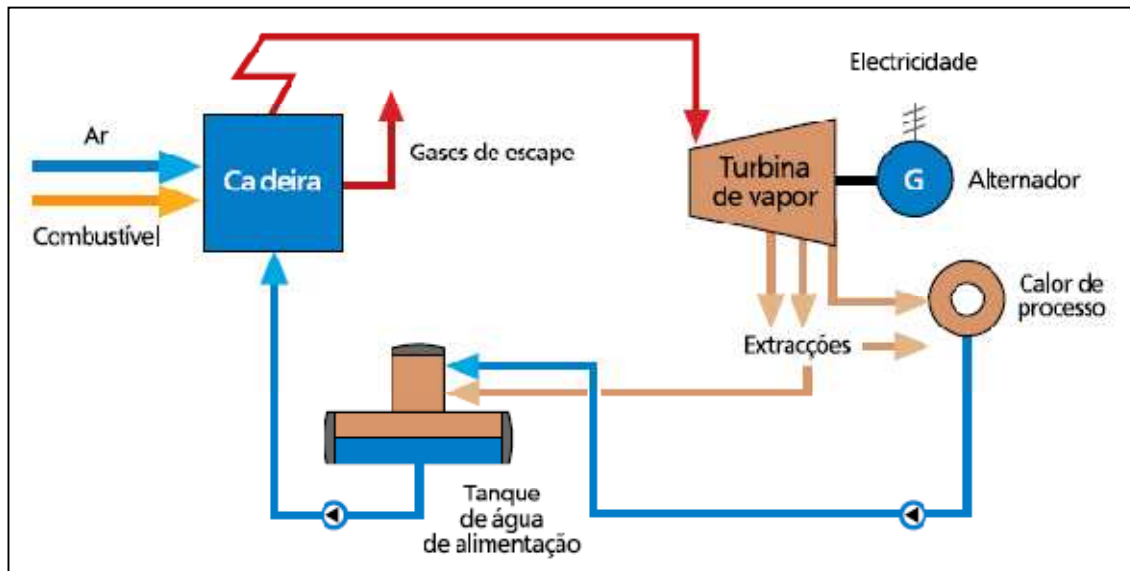


Figura 11 - Funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor de contrapressão [10].

Este sistema produz menos energia mecânica ou eléctrica por unidade de combustível do que a produzida por turbina de gás equivalente; tem contudo, tem uma eficiência global superior podendo atingir os 85-90%.

As turbinas de vapor classificam-se em dois tipos de acordo com a pressão de vapor à saída da turbina:

- “*Contrapressão*” – Turbinas com pressão de saída superior à atmosférica (back pressure).
- “*De condensação*” – Turbinas com pressão de vapor à saída inferior à pressão atmosférica. Estas últimas terão de ser equipadas com um condensador (extracção/condensação).

Ambas permitem sub-tiragens de vapor, intermédias, tornando possível a utilização de vapor em diversas condições.

Apresentam ainda a vantagem, por não trabalharem directamente com os gases de combustão, têm a possibilidade de utilização de qualquer tipo de combustível – gás, fuel, carvão, resíduos, etc.

Como nos casos de turbinas de gás que possuam caldeira (queimador) de recuperação, estes sistemas produzem vapor a baixa pressão que poderá ser directamente utilizado no processo.

Outras possíveis aplicações de turbinas de vapor são aquelas em que existam grandes quantidades de calor residual de processos industriais, como por exemplo fornalhas de indústria vidreira, metalúrgica, etc, podendo este calor ser utilizado na produção de vapor para produção de energia mecânica ou eléctrica em turbinas de condensação – conhecidos como “ciclos inferiores” (*bottoming cycles*).

### 2.2.1.3 Cogeração em Ciclo Combinado

Consiste na aplicação conjunta de uma turbina de gás e de uma turbina a vapor de contrapressão para produção de energia eléctrica.

Os gases de exaustão da primeira são utilizados para produção de vapor a alta pressão numa caldeira, que pode ser uma caldeira de recuperação ou uma caldeira convencional. Este vapor acciona a turbina de vapor que fornecerá vapor a baixa pressão para utilização directa no processo.

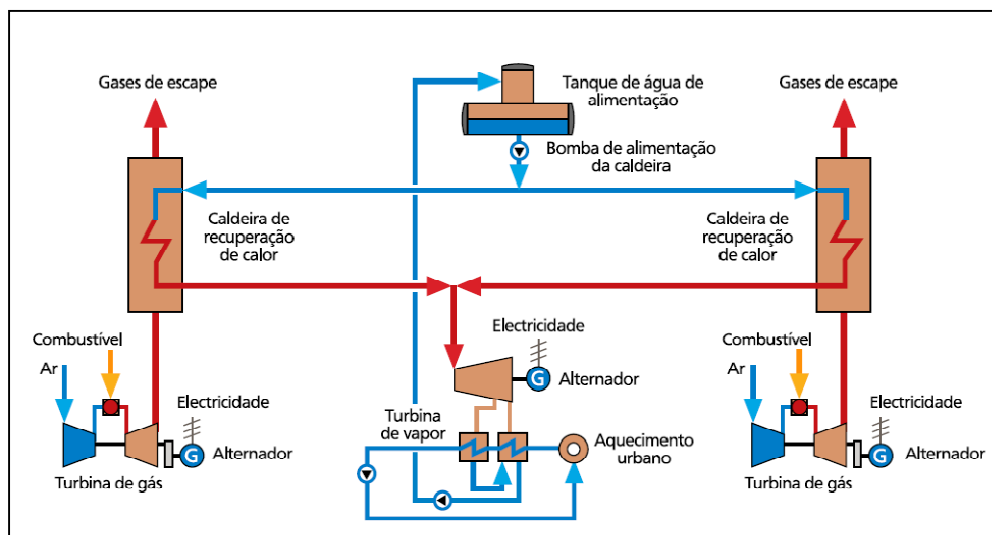


Figura 12 - Esquema generalizado de um sistema de Cogeração em Ciclo Combinado [10].

Este tipo de Cogeração é predominantemente utilizado em situações em que se deseja produzir energia eléctrica 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 eléctrica, comparativamente às alternativas anteriormente descritas.

#### 2.2.1.4 Cogeração com Motor Alternativo

Os motores alternativos, como por exemplo diesel ou de explosão, podem também ser utilizados em sistemas de cogeração.

De uma forma geral estão associados à satisfação de necessidades industriais de energia eléctrica, em projectos de Cogeração, sempre que as necessidades térmicas sejam pouco significativas, ou quando os consumos de energia sofrem variações ao longo do tempo.

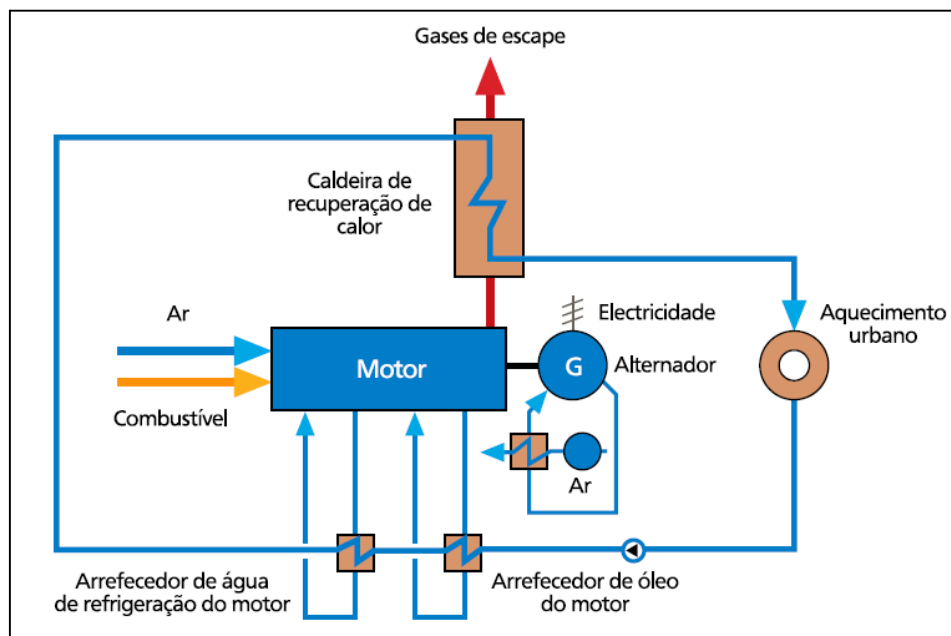


Figura 13 – Esquema geral de funcionamento dum sistema de Cogeração com motor alternativo [10].

Apesar de pouco diferirem dos sistemas de turbina de gás, existem diferenças importantes entre eles: os motores alternativos têm uma maior eficiência na produção de energia eléctrica, sendo no entanto mais difícil a utilização da energia térmica que produzem, devida à sua baixa temperatura e dispersão entre gases de escape e sistema de refrigeração do motor.

Aplicações mais usuais deste tipo de sistemas:

- Produção de vapor até *15 bar* a partir dos gases de escape, e produção de água quente até *85-90°C* no sistema de arrefecimento do motor.
- Produção de água quente a *85-90°C* no sistema de arrefecimento do motor e aumento da sua temperatura até *100°C* com os gases de escape.
- Recuperação directa de gases de escape que podem ser utilizados nalguns processos, como por exemplo secagem, produção de *CO<sub>2</sub>*, etc.
- Geração de ar quente – Toda a energia térmica residual do motor pode ser utilizada com permutadores de calor para a produção de ar quente.

Este sistema tem a vantagem da sua grande flexibilidade operacional, permitindo-lhe uma resposta quase instantânea a flutuações de solicitação de energia sem grandes aumentos do consumo específico do motor – este facto possibilita-lhe o funcionamento contínuo, desligado da rede eléctrica exterior, no caso de utilizadores com necessidades eléctricas variáveis, ou em paralelo com a rede geral, modulando a potência para que nunca se exporte energia para a rede geral.

No que respeita ao combustível, os motores podem queimar combustíveis gasosos (gás natural, GPL, etc.) ou líquidos (gasóleo, fuel-oil, etc.).

#### *2.2.1.5 Tecnologias Emergentes: Pilhas de Combustível e Micro-Turbinas*

As pilhas de combustível, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, configuram um modo de obtenção de energia eléctrica completamente 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 electromecânico, que converte a energia química do combustível directamente em energia eléctrica, sem estágios intermédios de combustão e produção de energia mecânica.

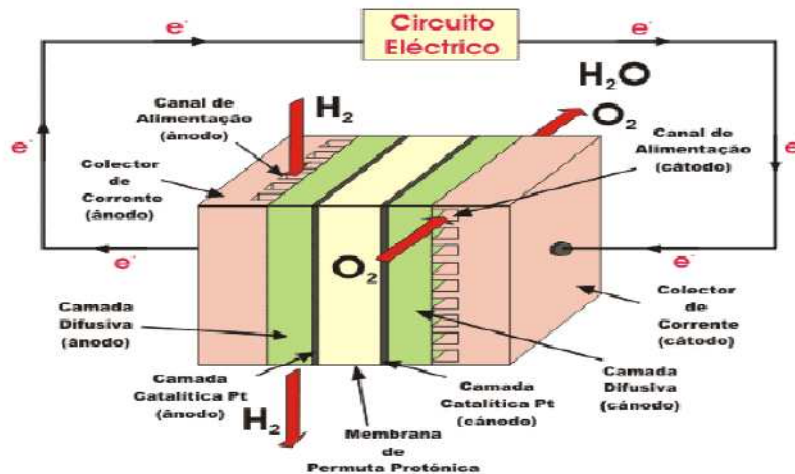


Figura 14 - Esquema típico de representação de uma célula de combustível [8].

O termo “Micro-Turbina” refere-se em geral a um sistema de dimensões relativamente reduzido composto por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador eléctrico, com uma potência total disponível não superior a 250 kW. Para sistemas semelhantes mas com potências entre 250kW e 1MW é usualmente utilizado o termo “Mini-Turbina”.

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

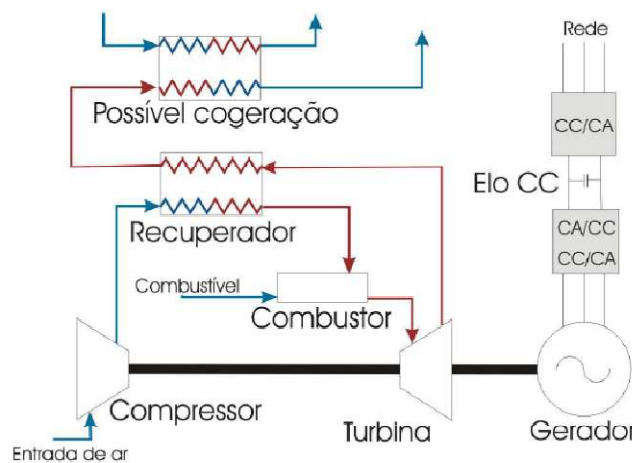


Figura 15 - Esquema de um sistema de cogeração equipado com microturbina [7].

### 2.2.1.6 Vantagens e Limitações dos Diferentes Sistemas de Cogeração

Na Tabela 1 mostra-se, em síntese, as principais vantagens e limitações de cada um dos tipos tecnológicos de sistemas de cogeração.

Tabela 1 - Vantagens e Limitações dos diferentes Sistemas de Cogeração [7].

<i>Tecnologia</i>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<i>Turbinas a gás</i>	- Fiabilidade elevada	- Operação com gás a alta pressão
	- Emissões poluentes baixas	- Rendimento reduzido a carga Parcial
	- Calor a temperaturas elevadas (500-600°C)	- Potência de saída diminui com o aumento da temperatura ambiente
	- Não necessita de refrigeração	- Ineficiente em processos com reduzidas necessidades térmicas
<i>Motores de explosão Ou Motores de combustão interna</i>	- Rendimento eléctrico elevado	- Custos de manutenção elevados
	- Bom desempenho com carga Parcial	- Calor de baixa temperatura
	- Arranque rápido	- Emissões poluentes relativamente Elevadas
	- Energia térmica a dois níveis de temperatura - gases de escape e arrefecimento do motor	- Necessita de refrigeração
	- Manutenção no local com pessoal não especializado	- Ruído de baixa frequência
- Operação com gás a baixa Pressão		
<i>Turbinas a vapor</i>	- Rendimento global elevado	- Arranque lento
	- Operação com diversos tipos de Combustível	- Rendimento eléctrico baixo
	- Grandes quantidades de calor Disponíveis	
	- Vida útil e fiabilidade elevadas	
	- Vapor a alta pressão	
<i>Micro-turbinas</i>	- Dimensões compactas	- Custos elevados
	- Peso reduzido	- Calor de baixa temperatura
	- Emissões poluentes baixas	- Tecnologia em maturação
	- Não necessita de refrigeração	
<i>Pilhas de combustível</i>	- Emissões poluentes baixas	- Custos elevados
	- Ruído baixo	- Fiabilidade incerta
	- Não tem peças rotativas	- Tecnologia em maturação
	- Modularidade	- Necessidade de pré-processamento do combustível (excepto H puro)

## 2.2.2 Tecnologias de Trigeriação

### Frio por Absorção

Num *Refrigerador* de ciclo de compressão, o frio é produzido no evaporador onde o fluido frigorígeno ou meio de trabalhos é vaporizado e o calor é rejeitado no condensador onde o fluido frigorígeno é condensado. A energia de elevação de calor de uma baixa temperatura para uma temperatura maior é fornecida como energia mecânica ao compressor. Os *Refrigeradores* de Absorção em vez de um compressor mecânico utilizam uma fonte de calor, quer por queima directa por recurso a um queimador ou por queima indirecta, sendo alimentados por vapor, água quente ou energia térmica de desperdício. As máquinas de absorção que estão disponíveis comercialmente são alimentadas por vapor, por água quente ou por gases de combustão [8].

O princípio básico de uma máquina de refrigeração por absorção pode ser ilustrado na figura seguinte.

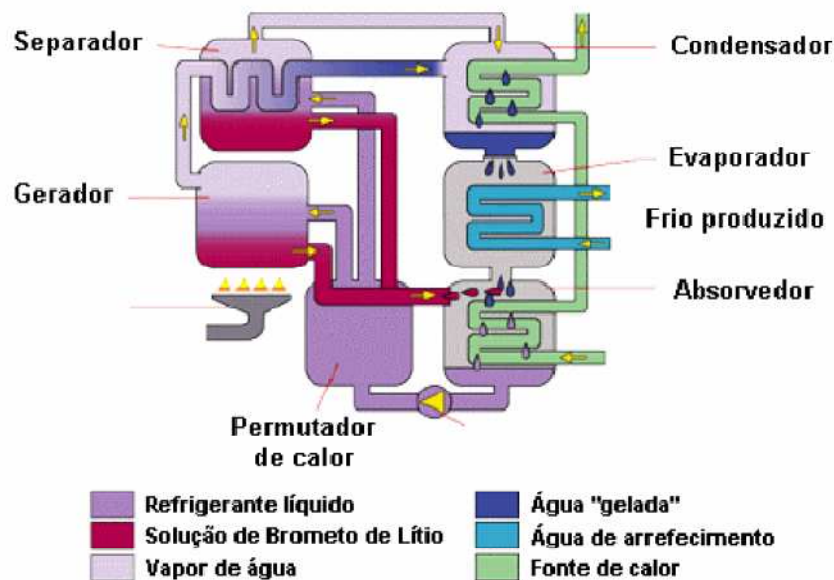


Figura 16 - Princípio básico de uma máquina de frio por absorção [8].

Normalmente, o par amoníaco-água é sobretudo encontrado em aplicações de refrigeração, com temperaturas de evaporação inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ . O par água-brometo de lítio é muitíssimo utilizado em aplicações de arrefecimento de ar, em que sejam necessárias temperaturas superiores a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Relativamente aos sistemas de frio por absorção que utilizam brometo de lítio como absorvente e água como refrigerante, a fonte de calor (energia calorífica proveniente do sistema de Cogeração, em princípio) deve estar a uma temperatura mínima de  $60-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ou tão elevada como  $150^{\circ}\text{C}$  se se considerar um sistema de duplo efeito. Para sistemas que utilizam amoníaco como refrigerante o requisito da fonte de calor é  $100-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  (sistema de simples efeito) [8].

O “*Coefficient Of Performance (COP)*” destes equipamentos é aproximadamente 0,7 para o sistema água-brometo de lítio e aproximadamente 0,6 para o sistema amoníaco-água [8].

As vantagens da absorção sobre os *Refrigeradores* de compressão de vapor são:

- O consumo eléctrico muito baixo;
- As poucas partes móveis da sua concepção que levam a um aumento da fiabilidade e a custos de manutenção baixos;
- Os níveis reduzidos de ruído e vibrações;
- A ausência de emissões de substâncias nocivas para a camada de ozono.

A Tabela 2 sintetiza as gamas de variação dos principais parâmetros respeitantes a *Refrigeradores de Absorção*.

Tabela 2 - Características dos *Refrigeradores* de Absorção [8].

Índices	NH <sub>3</sub> – Absorção		LiBr – Absorção	
	Simples		Simples	Duplo
<i>Número de efeitos</i>	Simples		Simples	Duplo
<i>Capacidade de Refrigeração [kW]</i>	20 – 2500		300 – 5000	300 – 5000
<i>COP Térmico</i>	0,6 - 0,7		0,5 – 0,6	0,9 – 1,1
<i>Gama de Temp. [°C]</i>	120 -132		120 – 132	150 – 170
<i>Custo do Equipamento [€/kW]</i>	350 – 500		250 – 265	265 - 280

### 2.2.3 *Orientação de Projectos de Cogeração*

Uma vez aceite a possibilidade de instalação de uma estação de cogeração, e aprovação por parte do investidor da opção por um dos sistemas possíveis, torna-se necessário esquematizar um estudo prévio da resposta do sistema de cogeração em projecto.

Devemos ter sempre presente que os projectos de cogeração são altamente flexíveis, não havendo soluções rígidas para cada um dos tipos de consumidores de energia.

O desenvolvimento de um projecto de cogeração requer um cuidadoso planeamento, por parte da empresa interessada, tendo em conta as seguintes etapas principais que estão sistematizadas no quadro da figura seguinte (Figura 17).

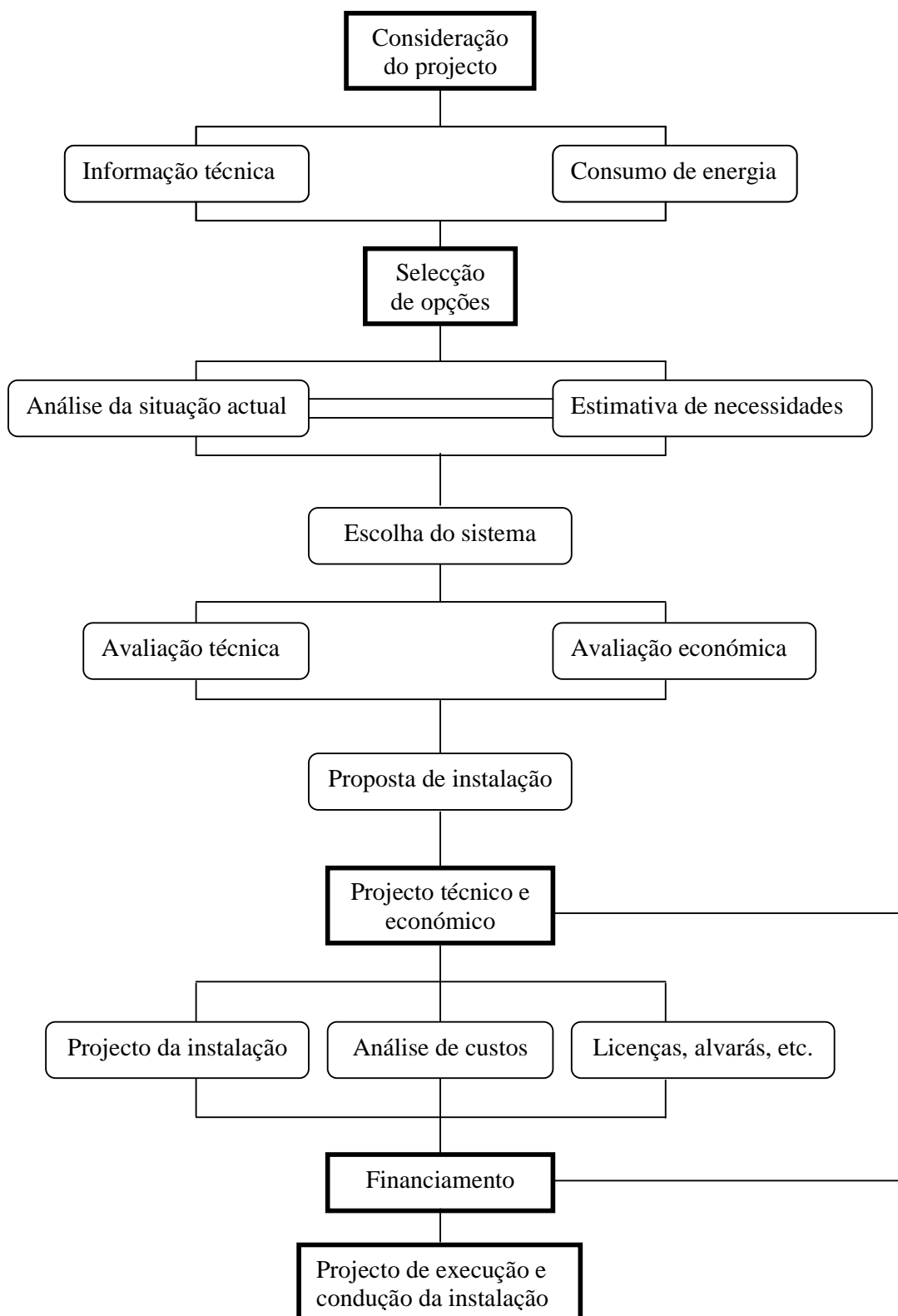


Figura 17 - Etapas dum projecto de cogeração.

### 2.2.3.1 *Estudo prévio*

Qualquer projecto de cogeração deverá ser precedido de um rigoroso estudo de viabilidade que, considerando o sistema mais conveniente às necessidades do utilizador, avalie as vantagens económicas por ele obtidas.

O estudo prévio tem de forçosamente considerar as seguintes fases [8]:

- Análise da situação existente;
- Estimativa das necessidades;
- Viabilidade técnica;
- Viabilidade económica.

O primeiro aspecto a considerar é o da definição de objectivos que servirão de base à concepção do sistema de cogeração a instalar. Este aspecto terá de considerar as necessidades de energia eléctrica e térmica, a sua correlação, e os custos actuais para a sua satisfação.

Deverão também ser consideradas possíveis variações das necessidades existentes, a sua grandeza, horário, etc.

Uma vez determinada a situação existente, torna-se necessário optar pelo sistema mais vantajoso para o caso em estudo: turbinas de gás ou vapor, motor alternativo, tendo em conta a estrutura de consumos de energias térmica e eléctrica, e outros factores como por exemplo o período de funcionamento, combustível disponível, etc.

A escolha do sistema será determinada por vários critérios:

#### *TURBINAS DE VAPOR*

- Quando for possível o uso de desperdícios de combustível ou efluentes com nível térmico suficiente.
- Quando for necessária a substituição de um gerador de vapor, para que o seu custo não seja acrescentado ao do sistema de cogeração a instalar.
- Como complemento de uma turbina de ciclo combinado de forma a aumentar a produção de energia eléctrica relativamente à produção de energia térmica.

### *TURBINAS DE GÁS*

- Quando houver uma contínua necessidade de energia.
- Quando o gás natural estiver disponível.
- Quando a produção de energia térmica for predominante.
- Quando o consumidor necessite de grande quantidade de vapor a alta pressão.
- Consumidores com necessidade de gases a alta temperatura ( $400-500^{\circ}\text{C}$ ).

### *MOTOR ALTERNATIVO*

- Quando houver flutuações na solicitação de energia, ou quando o funcionamento não for contínuo.
- Quando for necessário vapor a baixa pressão, ou água quente até  $115^{\circ}\text{C}$ , ou gases quentes ( $90-150^{\circ}\text{C}$ ).
- Quando o consumidor tiver uma alta relação Electricidade/Calor.
- Quando o fornecimento de energia necessitar de ser escalonado.
- Quando o gás natural não estiver disponível e não existirem restrições ambientais (possibilidade de instalação de motores diesel).

Uma vez seleccionado o sistema, é necessário escolher o equipamento auxiliar, e configurar a instalação de cogeração de forma a satisfazer as necessidades do consumidor.

A etapa seguinte consistirá na avaliação técnica do sistema, determinando os consumos de electricidade e combustível e estimar a economia de energia, tendo em conta as regulamentações em vigor que possam restringir a utilização de sistemas de cogeração.

Uma lista de verificação como primeiro passo indicativo, com o objectivo de facilitar a primeira avaliação do potencial de aplicação de um sistema de Cogeração, é apresentada a seguir:

Tabela 3 - A possibilidade de uma utilização económica da cogeração torna-se maior à medida que mais questões forem respondidas com “sim” [6].

1. Consumo de energia térmica (vapor, água quente) p.e.: Consumo de combustíveis para a produção de calor	Superior a 80 m <sup>3</sup> /ano de fuel óleo  Ou  Superior a 80.000 m <sup>3</sup> de gás	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>  Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
2. Elevado Consumo de electricidade	Superior a 500 MWh/ano	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
3. Elevada potência de base do diagrama de carga eléctrico	Mínimo de 100 kWe durante 5000 horas/ano	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
4. Razão de Consumos Electricidade/ Calor	Superior a 0,7	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
5. Existe autoprodução de energia eléctrica, através de um gerador a diesel ou por outro meio similar?		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>

Segue-se a etapa mais decisiva do estudo prévio - o estudo económico da nova instalação.

Em primeiro lugar teremos de estimar a economia anual a obter com o uso de cogeração, calculando os novos custos de energia (térmica e eléctrica) e os novos custos de manutenção.

A Tabela 4 apresenta um quadro resumo das principais características operacionais e custos típicos dos diversos tipos de sistemas de cogeração.

Tabela 4 - Características operacionais e custos típicos dos diferentes tipos de sistemas de cogeração [5].

Tecnologia	Turbina a Gás	Motor de explosão a GN	Motor de Compressão Interna	Turbinas a Vapor	Microturbinas	Pilhas de Combustível
<b>Rendimento Eléctrico</b>	15% a 35%	22% a 40%	25% a 45%	10% a 40%	18% a 27%	35% a 40%
<b>Rendimento Térmico</b>	40% a 60%	40% a 60%	40% a 60%	40% a 60%	40% a 60%	20% a 50%
<b>Rendimento Global</b>	60% a 85%	70% a 80%	70% a 85%	60% a 85%	55% a 75%	55% a 90%
<b>Potência Típica [MWe]</b>	0,2 a 100	0,05 a 5	0,015 a 30	0,5 a 100	0,03 a 0,35	0,01 a 0,25
<b>Relação Calor/Electricidade</b>	1,25 a 2	0,4 a 1,7	0,4 a 1,7	2 a 10	1 a 2,5	1,1
<b>Desempenho com carga parcial</b>	Mau	Razoável	Bom	Bom	Razoável	Muito Bom
<b>Investimento [€/kWe]</b>	600 a 800	700 a 1400	700 a 1400	700 a 900	1300 a 2500	> 2500
<b>O&amp;M [€/MWh]</b>	2 a 7	7 a 15	6 a 12	3	10	2 a 12
<b>Disponibilidade</b>	90% a 98%	92% a 97%	92% a 97%	99%	90% a 98%	> 98%
<b>Revisões [x 1000 h]</b>	30 a 50	24 a 60	25 a 30	> 50	5 a 40	10 a 40
<b>Arranque</b>	10 min a 1 h	10 seg	10 seg	1 h a 1 dia	1 min	3 h a 2 dias
<b>Pressão do Combustível [bar]</b>	8 a 35	0,07 a 3,1	< 0,35	NA	3 a 7	0,03 a 3
<b>Ruído</b>	Médio	Alto	Alto	Alto	Médio	Baixo
<b>Densidade de Potência [kW/m<sup>2</sup>]</b>	20 a 500	35 a 50	35 a 50	> 100	5 a 70	5 a 20
<b>NOx [kg/MWh]</b>	0,2 a 2	0,5	1 a 14	0,9	0,07	0,01

### 2.2.3.2 *Projecto Detalhado e Financiamento*

Depois de decidir qual o sistema de cogeração mais apropriado, é necessário executar o projecto técnico e económico detalhado, que considerarão os meios de financiamento escolhidos.

Existindo variados tipos de administração do projecto, podemos basicamente classificá-los em 3 tipos:

- Aquisição, a um fornecedor, de uma instalação do tipo “chave na mão”: A entidade interessada contrata um empreiteiro geral, que subcontrata os diferentes elementos do projecto.
- Aquisição por administração directa da instalação, em que cada secção do projecto (engenharia, equipamento, montagem, trabalhos de construção civil, etc.) é executada separadamente.
- Compra de um sistema: trata-se de um meio-termo entre os dois anteriores, consistindo na compra de cada sistema componente dum projecto de chave na mão.

No que respeita ao projecto financeiro, existem três opções:

- Recursos próprios
- Empréstimo bancário
- Parcerias financeiras:
  - ✓ *Joint venture*
  - ✓ Partilha de economias
  - ✓ Venda de energia

### 2.2.3.3 *Execução e Acompanhamento do Projecto*

O estágio final do projecto é o da execução, arranque e condução da obra.

### 3 Descrição de Actividades / Metodologia

Para a realização da Auditoria Energética foi, em primeiro lugar necessário estabelecer contacto com os responsáveis pela instalação, os quais, não só aceitaram colaborar e fornecer toda a informação possível como também permitiram a realização de visitas para medição de alguns parâmetros de funcionamento.

Realizaram-se algumas visitas ao local com o objectivo de conhecer as principais etapas de produção e alguns dos seus requisitos. Os inquéritos e pedidos de esclarecimento, efectuados no local e através dos meios de comunicação, permitiram conhecer as formas de energia envolvidas (energia eléctrica, energia solar e queima de gás para aquecimento de águas sanitárias).

A *1ª fase* foi um período de recolha de informação. Foi feito um levantamento em termos energéticos das várias formas de energia consumidas e das necessidades energéticas específicas de cada utilização.

Neste levantamento:

- Identificou-se os principais consumidores de energia;
- Definiu-se os regimes de funcionamento da fábrica;
- Efectuou-se o levantamento das produções mensais, das horas de funcionamento, bem como, as características técnicas dos equipamentos existentes na fábrica.

Numa segunda fase procedeu-se à análise dos registos históricos dos consumos das diversas formas de energia envolvidas (neste caso apenas da energia eléctrica pelas razões já mencionadas).

Numa terceira fase, e com o objectivo de diminuir a factura energética da empresa, efectuou-se a identificação das principais áreas de intervenção tendo em vista a racionalização dos consumos energéticos. Esta fase incluiu a elaboração de balanços energéticos e a avaliação da desagregação dos consumos. Estes balanços foram feitos a cada tipo de sistema existente na fábrica: Equipamentos Principais (máquinas de injeção), Periféricos (equipamento de frio e ar comprimido) e Equipamentos Auxiliares (secadores de PET e Ar Condicionado).

Esta desagregação de consumos pelos diversos tipos de sistemas, existentes na fábrica em análise, permitiu avaliar os pesos relativos das formas de energia consumidas, possibilitando a identificação de estratégias de actuação no sentido de solucionar rapidamente, e com sucesso, as situações mais críticas.

Após o trabalho de auditoria, elaborou-se um relatório com recomendações e medidas de racionalização energéticas de rápida e não onerosa execução.

Por fim, foi desenvolvido um modelo de gestão energética adequado a este tipo de indústria, que passa pela instalação de um Sistema de Co(Tri)geração.

## 4 Apresentação e Discussão de Resultados

### 4.1 Consumos Energéticos

Através da análise das facturas eléctricas dos últimos 3 anos obteve-se a seguinte informação:

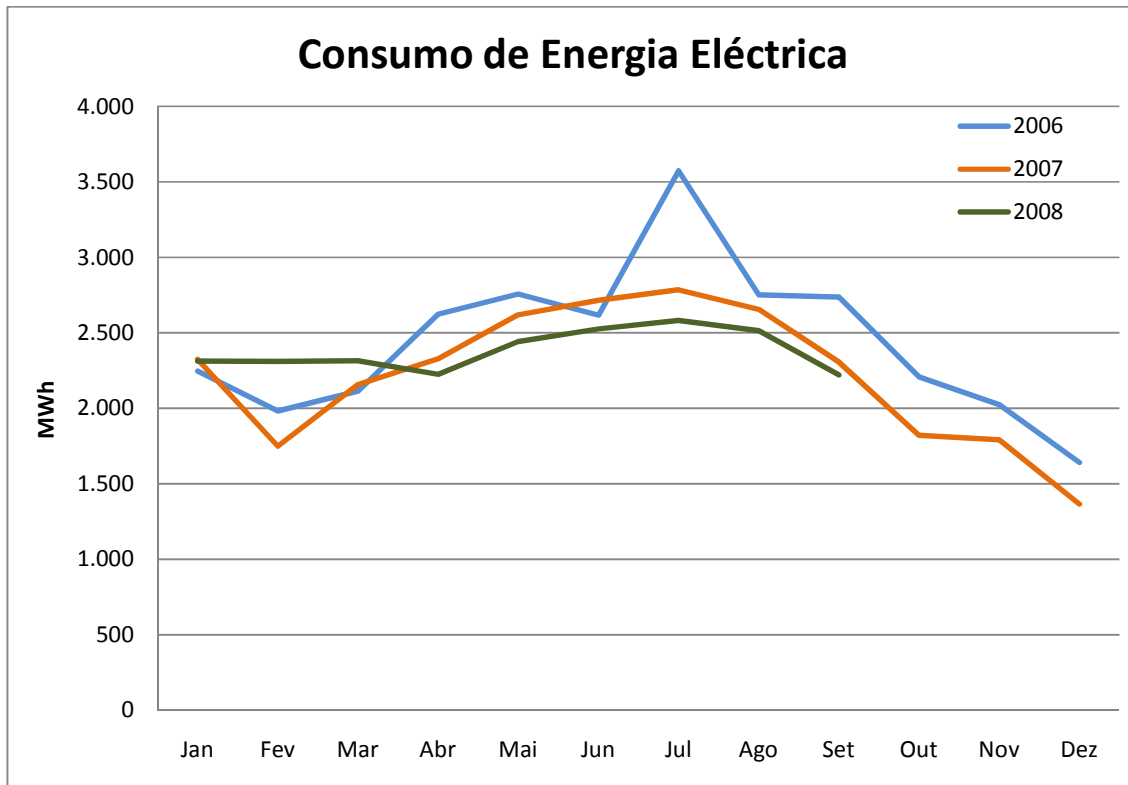


Figura 18 - Consumo de Energia Eléctrica de 2006 a 2008.

É notória a redução de consumos que esta unidade fabril tem vindo a conseguir ao longo destes 3 anos: 2006 a 2008. Contudo, isto não se fica a dever à redução dos níveis de produção, como é perceptível no seguinte gráfico:

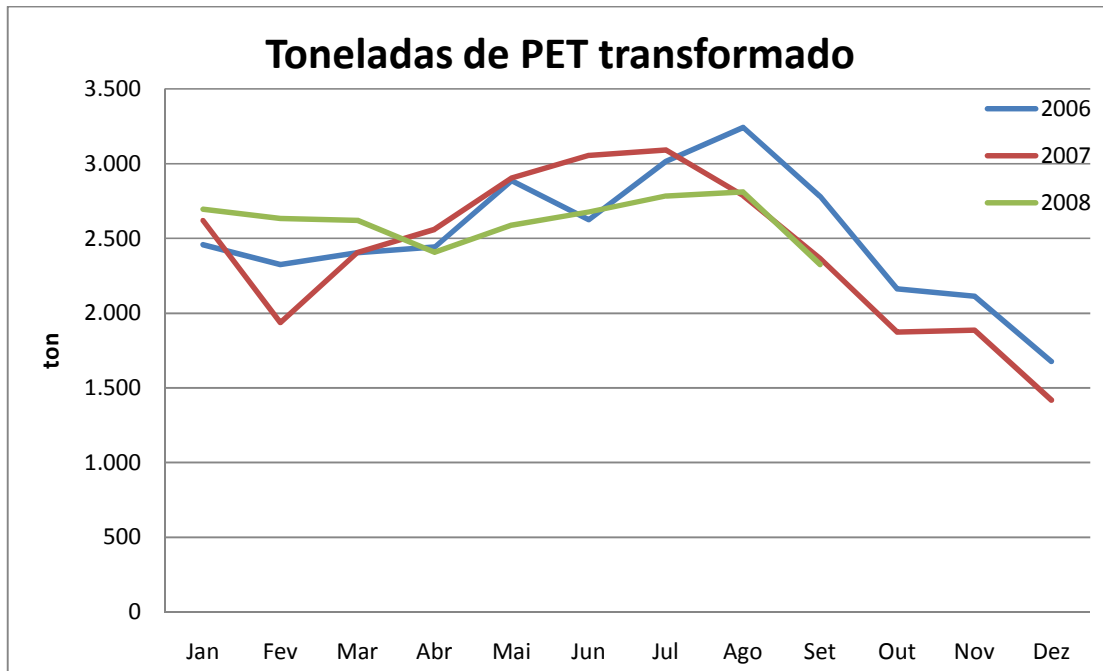


Figura 19 - Produção Mensal de 2006 a 2008.

Verifica-se ainda que, nos meses de Verão os consumos energéticos são superiores, não só devido ao aumento de produção, como também, à menor eficiência dos sistemas de frio.

Em resumo:

Tabela 5 - Comparação de produções, consumos energéticos e consumos específicos (2006 a Set 2008).

	2006	2007	Jan - Set 2008
<b>Produção Total [ton]</b>	30.131	28.900	23.543
<b>Consumo Energético [MWh]</b>	29.275	26.617	21.452
<b>Consumo Específico [kWh/ton]</b>	972	921	911

O consumo específico, antes de terem sido executadas medidas de racionalização de consumos, era de *911 kWh/ton*.

Uma empresa conceituada na Indústria de produção de préformas – *Husky Injection Molding Systems Ltd.* – efectua de 3 em 3 anos auditorias à Logoplaste Mealhada. A última foi realizada em Abril de 2008, de onde foi retirada a seguinte informação:

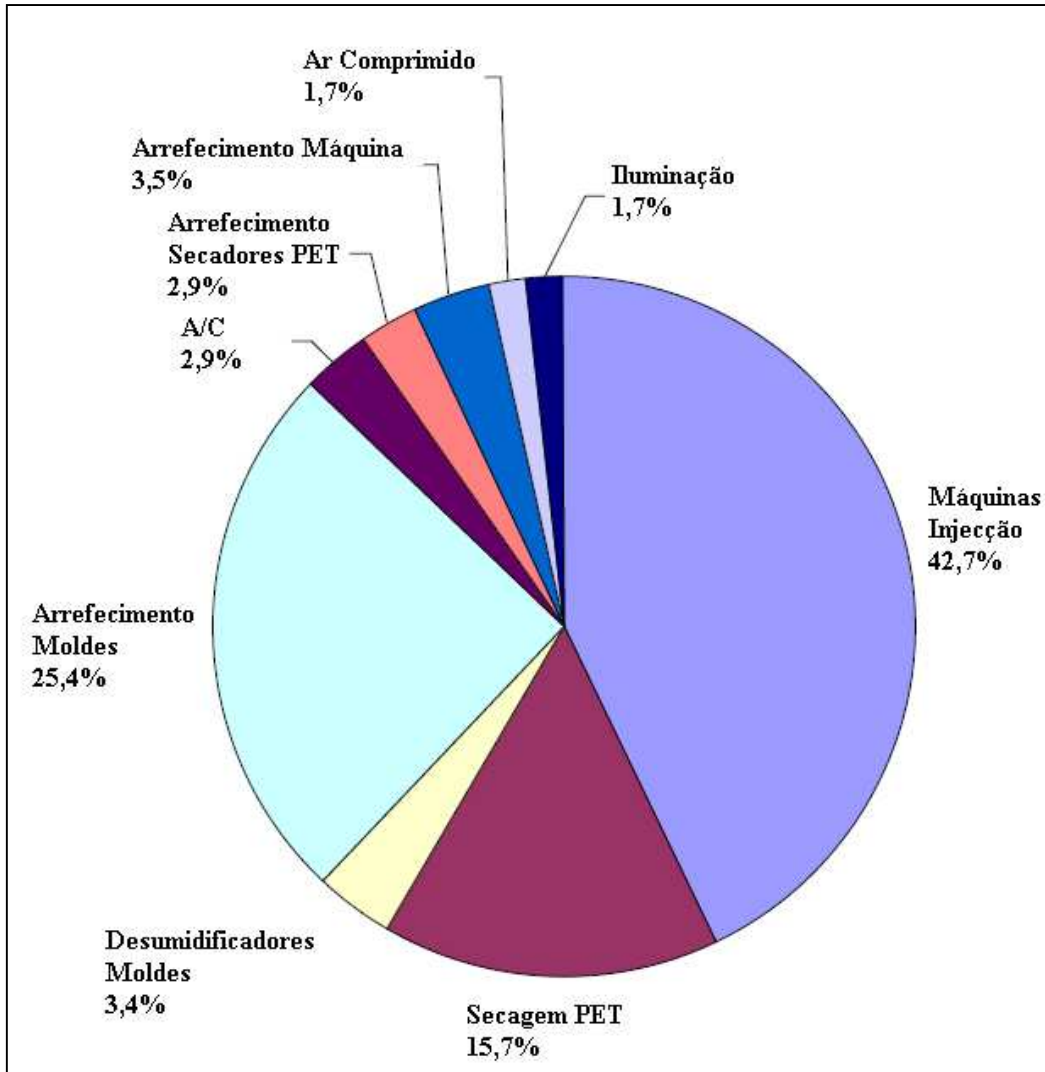


Figura 20 - Consumo estimado de energia da fábrica [9].

Deste diagrama, é perceptível o peso que o consumo das máquinas de injeção tem no consumo de energia – 42%. O arrefecimento assume também um papel fundamental com 38% do consumo total de energia. Por fim a secagem do PET (apenas o aquecimento) representa 16% do consumo de energia.

A Figura 20 pode ser resumida no seguinte:

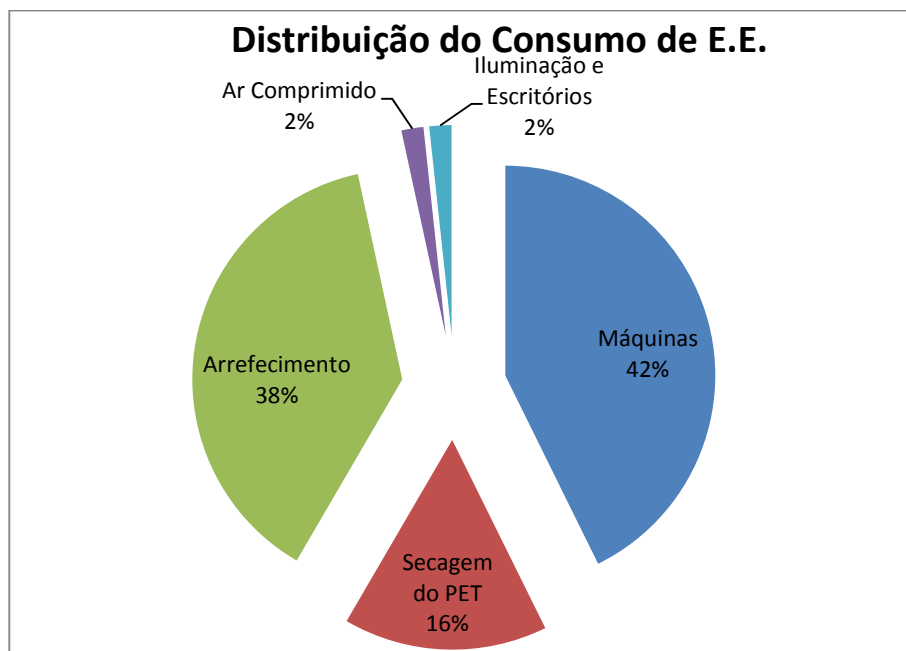


Figura 21 - Consumo de energia por sistemas.

Através da análise deste diagrama, identificou-se o *Sistema de Arrefecimento* como o sistema a intervir pelas seguintes razões:

1. Embora as máquinas de injeção representem os maiores consumidores de energia, qualquer intervenção no equipamento será sempre onerosa, pois implica substituição de componentes (inclusive, substituição da própria máquina por outra mais recente). Será um processo a efectuar em conjunto com os próprios fabricantes dos equipamentos. Por esta razão foi decidido, não elaborar nenhum estudo sobre o equipamento em questão.
2. O Sistema de Arrefecimento constitui o segundo maior consumidor de energia.
3. O Sistema de Arrefecimento e os vários subsistemas que o constituem estão longe de estarem optimizados, ao contrário dos equipamentos principais e os próprios processos de injeção, sendo esta uma, clara, oportunidade de melhoria.

Começou-se por perceber qual dos sistemas de arrefecimento teria um maior peso.

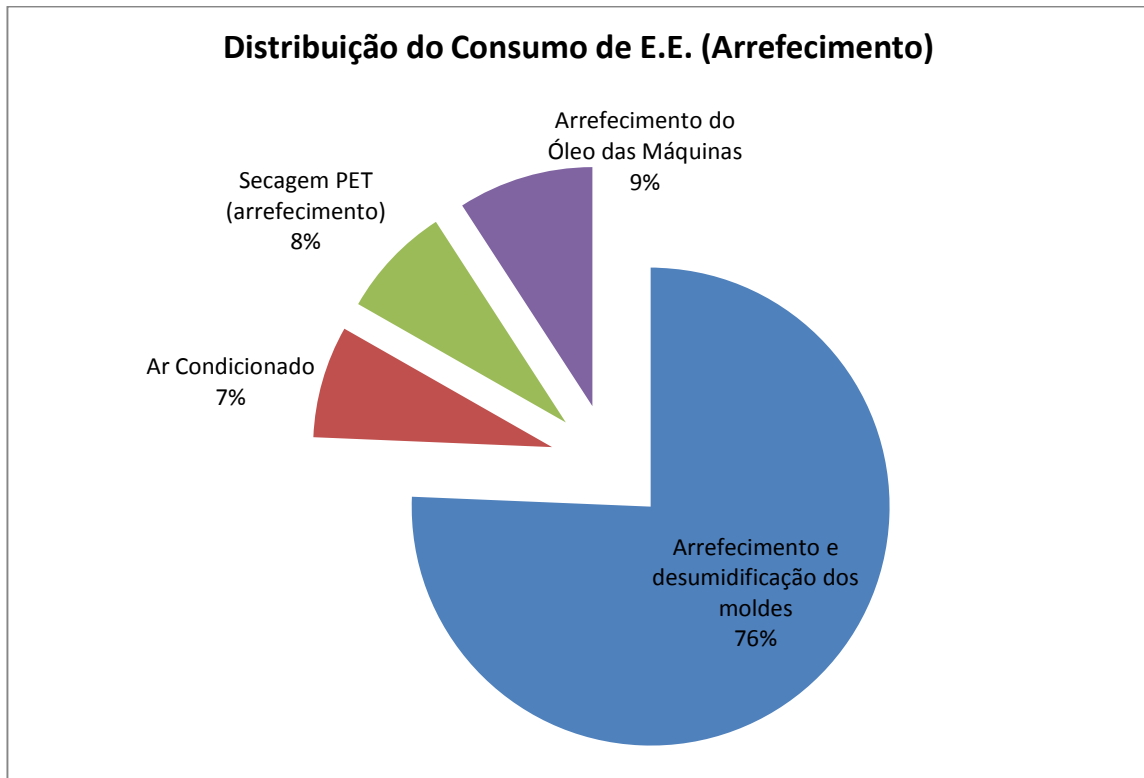


Figura 22 - Consumo de energia dos vários sistemas de arrefecimento.

O arrefecimento e desumidificação dos moldes foi o subsistema de arrefecimento que se apresentou com maior peso dos vários sistemas de frio.

Por este motivo, decidiu-se começar por aprofundar o estudo, tentando identificar os motivos/causas para tal.

#### 4.1.1 Arrefecimento e Desumidificação dos Moldes

Identificou-se quais as reais necessidades exigidas pelos fabricantes das máquinas de injeção e moldes.

Existem 3 tipos de máquinas de injeção nesta unidade fabril:

- Netstal® – 48 cavidades
- Netstal® – 72 cavidades
- Husky® – 48 cavidades

A Tabela 6 identifica as necessidades de caudal para arrefecimento e desumidificação dos moldes:

Tabela 6 - Necessidade de caudal por máquina.

<i>Máquina</i>	<i>Necessidade de caudal [m<sup>3</sup>/h]</i>
<i>Netstal® - 48 cav.</i>	60
<i>Netstal® - 72 cav.</i>	75
<i>Husky® - 48 cav.</i>	60

A tabela seguinte apresenta as necessidades totais de caudal da fábrica para o arrefecimento e desumidificação dos moldes e o consumo real (medido através de um caudalímetro ultra sónico) em *Maio de 2008*.

Tabela 7 - Comparação das Necessidades e Consumos Reais de água fria.

<i>Necessidade de caudal (Total)</i> <i>[m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Consumo em Maio 2008 (Total)</i> <i>[m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Diferença</i> <i>[m<sup>3</sup>/h]</i>
735	1295	560

Concluiu-se que havia um consumo de água fria (à temperatura de 6°C)  $560 \text{ m}^3/\text{h}$  superiores ao exigido pelos fabricantes das máquinas de injeção. A explicação para este facto, era o mau (ou a falta de) balanceamento hidráulico da instalação. O consumo de água variava de máquina para máquina para um determinado número de máquinas em funcionamento e quando se ligavam ou desligavam máquinas havia também, variação nos caudais sendo que em todas as máquinas Netstal® o caudal era *sempre* superior ao exigido. Nas máquinas Husky® foi medido o caudal exigido pelos fabricantes –  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ .

13 bombas com motores eléctricos de 22 kWe e 4 bombas de 30 kWe eram responsáveis pela circulação dos  $1295 \text{ m}^3/\text{h}$  de água fria. O consumo energético deste grupo de bombas era cerca de  $390 \text{ kWh/h}$ .

Como as centrais de bombagem são de velocidade variável, a solução passou pela instalação de válvulas de equilíbrio dinâmico à saída de cada uma das máquinas. Estas válvulas têm a característica de manter o caudal constante, independentemente, da pressão a montante. Foram instaladas 9 válvulas nas 9 Netstal® – 48 cavidades.

Assim, o caudal total foi reduzido para  $820 \text{ m}^3/\text{h}$ , e o *set point* de pressão de 6 para 5 bar. Foi ainda testado o funcionamento da instalação com *set point* de pressão a 4,5 bar com sucesso. Contudo, neste regime as bombas passariam a funcionar “fora de curva” (representado na figura seguinte a azul).

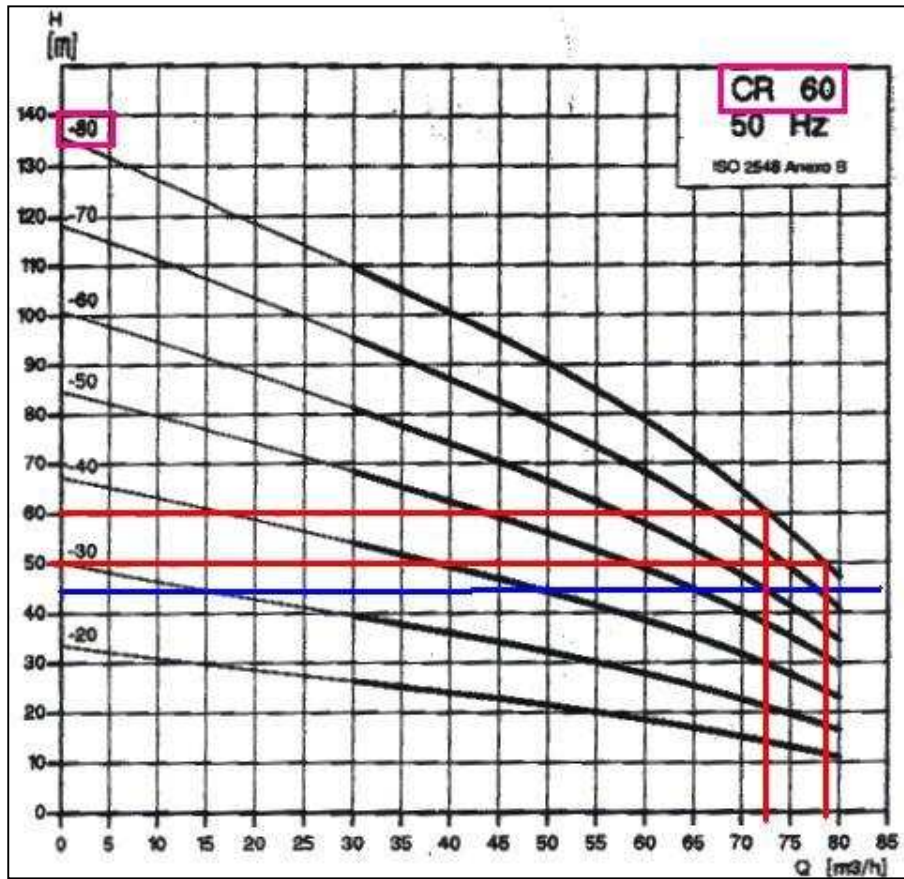


Figura 23 - Curva da bomba Grundfos CR60-80 @.

O nº de bombas em funcionamento reduziu-se para 12 com motores de 22 kWe, e o respectivo consumo eléctrico passou para 265 kWh, o que representa uma *diminuição* de 125 kWh/h.

Considerando que o sistema ficou a funcionar desta forma desde Outubro 2008, a *Redução dos Consumos Energéticos* até final de 2008 foi de cerca de 165 MWh. Em 2009, estima-se que a redução seja de 800 MWh.

Uma vez que, com o equipamento instalado não é possível reduzir mais o consumo, sugere-se a instalação de uma nova central de bombagem ajustada à instalação, i.e., com o *set point* de pressão a 4,5 bar. Feita uma consulta ao mercado foram obtidos os seguintes valores: consumo energético estimado – 160 kWh (actual – 265 kWh) – *Redução do Consumo Energético* de 105 kWh (700 MWh/ano).

#### 4.1.2 Secagem de Matéria-Prima – PET.

Continuou-se o estudo aos vários sistemas de arrefecimento, passando à *Secagem da Matéria-Prima – PET*.

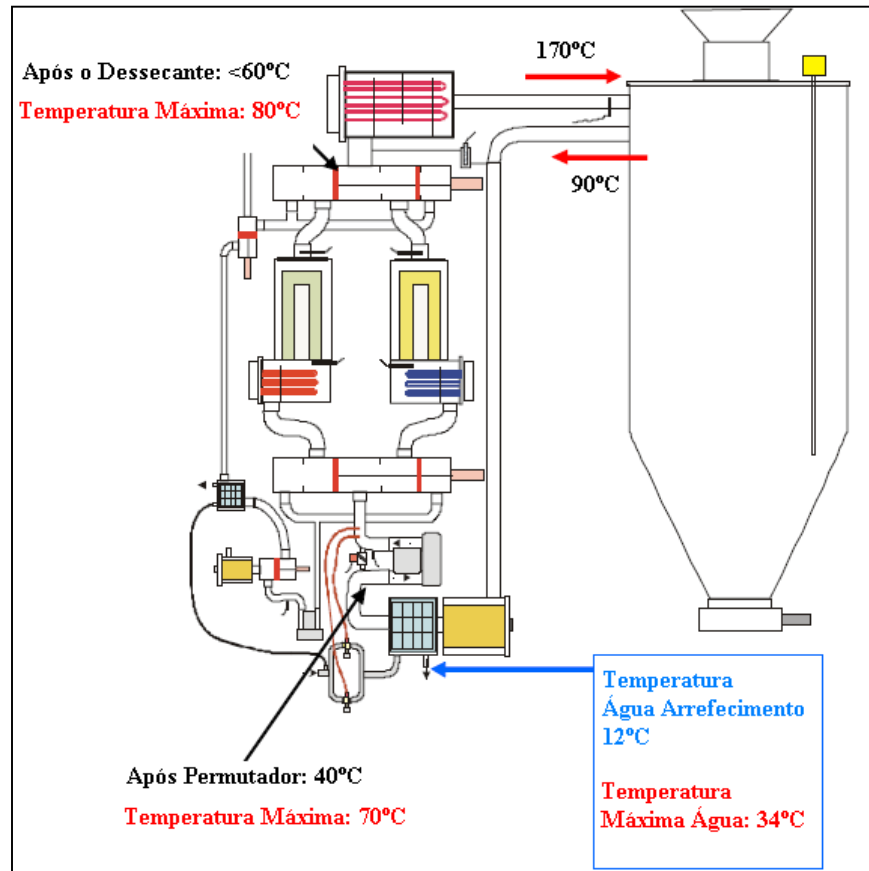


Figura 24 - Esquema de funcionamento do equipamento de Secagem PET [9].

A secagem do PET é feita através de ar quente, da seguinte forma:

- O Ar vindo da Tremonha (depois de ter absorvido a humidade do PET) é arrefecido, num permutador ar-água.
- A uma temperatura mais baixa passa por um dessecante (sílica gel) para o qual, através de um processo de adsorção, liberta a humidade absorvida do PET.
- Para poder absorver de novo a humidade, é aquecido e feito passar pela Tremonha, finalizando o ciclo.

A necessidade de arrefecer o ar surge pela melhor eficiência da sílica gel quanto mais baixa for a temperatura do ar. Contudo, existe um ponto de saturação, onde se deixa de ter vantagens em continuar a diminuir a temperatura do ar. Essa temperatura é cerca de 70°C à entrada da sílica gel [9]. Segundo medições efectuadas pela Husky®, a temperatura do ar à saída do permutador seria de 40°C. Explica-se pelo facto da temperatura da água de arrefecimento ser cerca de 12°C, sendo esta fornecida por um Refrigerador.

Feita uma consulta ao fornecedor dos equipamentos de secagem do PET sobre a possibilidade de a água de arrefecimento poder ser fornecida a 30°C em vez dos 12°C, havia um total desconhecimento sobre essa matéria.

Foi decidido, em conjunto com a fábrica, testar o arrefecimento do ar com água proveniente das torres de arrefecimento existentes na fábrica. Foi testado em 3 *secadores* durante 1 semana de funcionamento contínuo, sendo a temperatura da água cerca de 25 a 30°C. Com esta alteração, chegou-se à conclusão que a eficiência de secagem e o próprio processo de injeção não sofreram alterações.

Por esta razão, 3 *equipamentos* de secagem passaram a ser fornecidos por água de uma das torres de arrefecimento (a 27°C). A alteração nos restantes 9 *equipamentos* obriga a um investimento – aquisição de uma Torre de Arrefecimento e um *Dry Cooler*. Contudo, enquanto este investimento não é efectuado, alterou-se o *Set Point do Refrigerador* de 12°C para 19°C (máxima temperatura possível de ser configurada).

Sugere-se ainda a substituição dos equipamentos de secagem actuais para outros de última geração com consumos energéticos muito mais baixos. Os valores fornecidos pelo fabricante Piovan® foram os seguintes:

- Secadores actuais: 100 kWh
- Novos Secadores: 43 kWh
- Redução do Consumo Energético estimado, considerando 7000 h/ano: 400MWh/ano
- Redução do Consumo Energético estimado, considerando 12 equipamentos: 4800 MWh/ano

### **4.1.3 Arrefecimento do Óleo das Máquinas de Injecção**

Em relação ao arrefecimento do óleo das máquinas, este era feito através de *3 torres de arrefecimento e 3 Dry Coolers*. A temperatura nominal do óleo das máquinas é cerca de 50°C.

As necessidades de caudal e de capacidade frigorífica foram aferidas, chegando-se à conclusão de que o arrefecimento poderia ser feito com recurso a apenas *2 torres de arrefecimento e 2 Dry Coolers*, utilizando apenas uma central de bombagem para efectuar a circulação.

Foi testada esta solução com êxito, sendo apenas necessárias as *3 torres de arrefecimento* quando a temperatura exterior é superior a 38°C.

### **4.1.4 Cogeração**

A Logoplaste Mealhada pode ser caracterizada como um utilizador intensivo e regular de energia eléctrica e térmica:

- Electricidade
- Calor para a Secagem do PET
- Frio através de Refrigeradores de Absorção

Tendo em conta um dos objectivos propostos – desenvolver um modelo de gestão energética - decidiu-se estudar a aplicação de um sistema de Co(tri)geração a esta unidade fabril.

A tabela seguinte mostra um levantamento às necessidades eléctricas da fábrica:

Tabela 8 - Necessidades Eléctricas.

<i>Equipamento</i>	<i>Consumo Eléctrico [kWh]</i>
<b>Máquina de Injecção (12 un)</b>	<b>2000</b>
<b>Secagem PET – Ventiladores (12 un)</b>	<b>250</b>
<b>Compressores B.P</b>	<b>150</b>
<b>Bombagem de água fria para moldes e desumidificadores</b>	<b>200</b>
<b>Bombagem de água fria para arrefecimento do óleo das máquinas</b>	<b>100</b>
<b>Bombagem de água fria para os Secadores PET</b>	<b>20</b>
<b>Bombagem do Ar Condicionado</b>	<b>20</b>
<b>Desumidificação dos Moldes</b>	<b>200</b>
<b>Gabinets e iluminação</b>	<b>60</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3000</b>

As necessidades de frio estimam-se que sejam as seguintes:

Tabela 9 - Necessidades de Frio.

<i>Necessidades Frio</i>	<i>Potência Total [kW]</i>
<b>Arrefecimento e desumidificação dos moldes</b>	<b>1300</b>
<b>Arrefecimento do óleo das máquinas</b>	<b>500</b>
<b>Arrefecimento dos Secadores PET</b>	<b>600</b>
<b>Ar Condicionado</b>	<b>600</b>
<b>Total</b>	<b>3000</b>

Se for considerado um Refrigerador de Absorção a água-brometo de lítio para satisfazer estas necessidades, com uma eficiência de 0,9, as necessidades de calor serão cerca de  $3300kW$ .

O Total das necessidades de Calor será, portanto, as seguintes:

Tabela 10 - Necessidades de Calor.

<i>Necessidades Calor</i>	<i>Potência Total</i> <i>[kW]</i>
<b>Secagem PET</b>	1000
<b>Arrefecimento por absorção</b>	3300
<b>Total</b>	<b>4300</b>

A razão Calor / Electricidade é, portanto, cerca de  $1,43$ .

De entre as 3 tecnologias de cogeração apresentadas: Turbina a Gás, Motor Alternativo ou Turbina a Vapor, a que apresenta melhores condições para ser implementada é a Turbina a Gás pelas seguintes razões:

- A razão Calor / Electricidade ( $1,43$ ) é muito baixa para implementação de uma turbina a vapor (*vide Tabela 4*);
- O consumo eléctrico é contínuo e muito regular ao longo do ano – mínimo de  $2000 MWh$  e máximo de  $2500 MWh$  (com excepção dos últimos 2 meses do ano, devido a manutenção do parque de máquinas – consumo mínimo de  $1500 MWh$ );
- O consumo eléctrico é contínuo e regular ao longo do dia. É visível na Figura 25 o aumento do consumo de energia nas horas de maior calor devido ao maior consumo das unidades de frio;

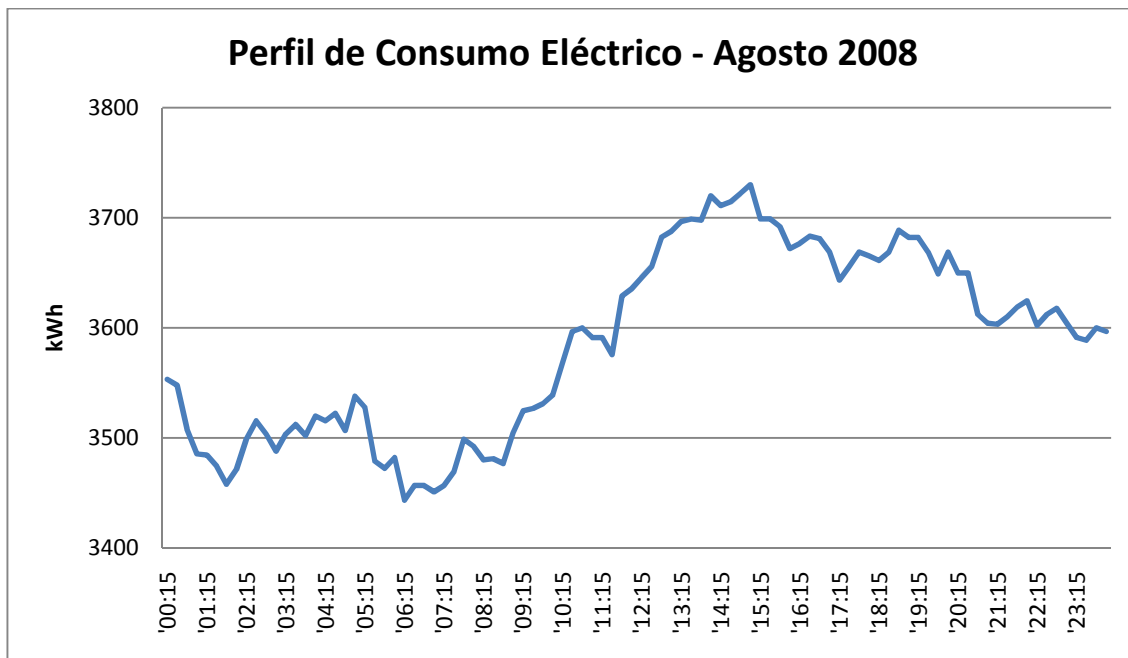


Figura 25 - Perfil de Consumo Eléctrico - Agosto 2008.

- Existe gás natural disponível;
- Apresenta o Investimento mais baixo (*vide Tabela 4 – 600 a 800 €/kWe instalados*);
- As necessidades de energia térmica são predominantes (razão Calor / Electricidade de 1,43);
- Elevada fiabilidade;
- Emissão de poluentes baixas e
- Não necessita de refrigeração.

4.1.4.1 Esquema de Princípio da Instalação

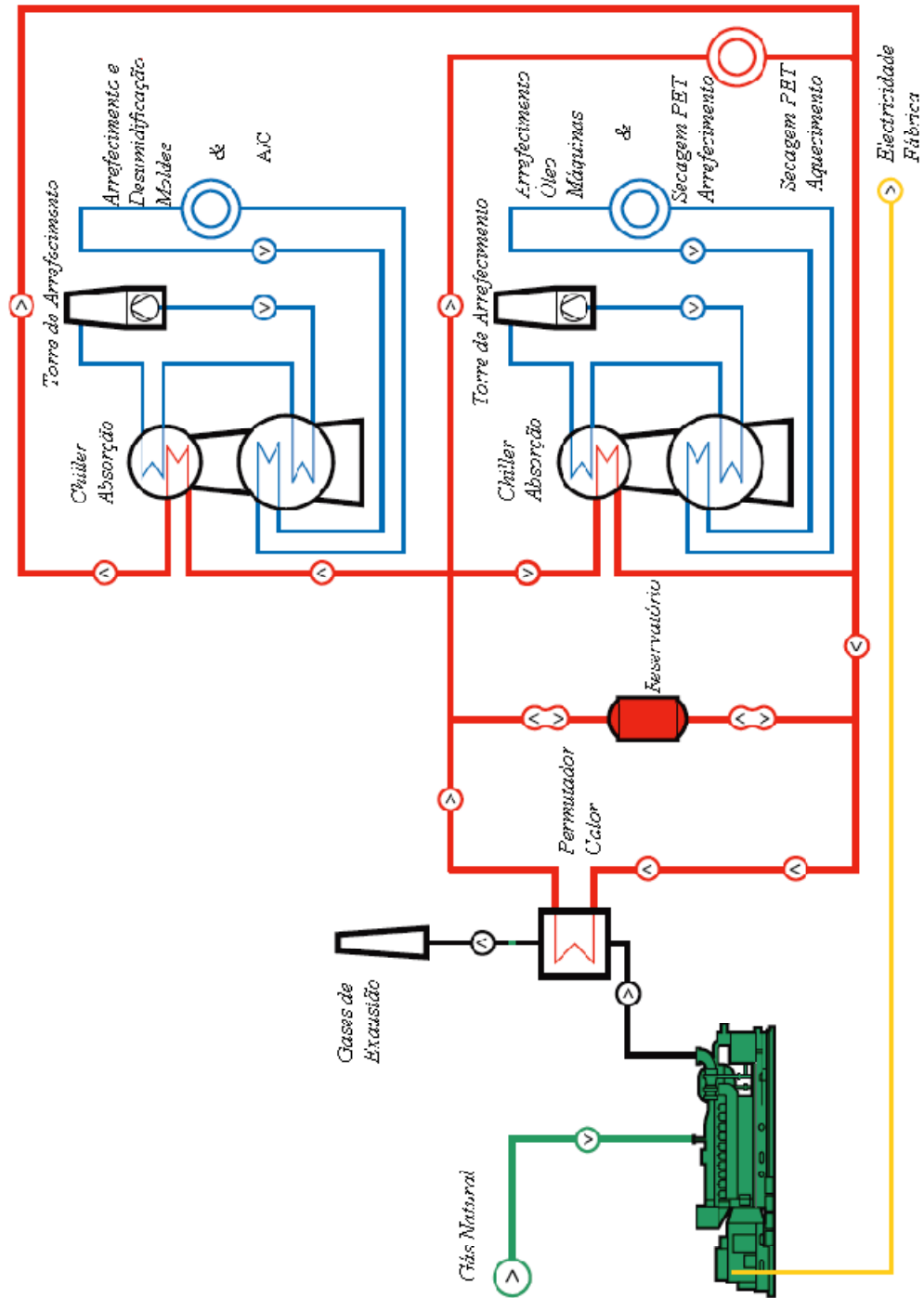


Figura 26 - Esquema de Princípio da Instalação.

#### 4.1.4.2 Descrição do funcionamento da instalação

A única fonte de energia é o gás natural, sendo a electricidade gerada pela turbina consumida pelos diversos equipamentos da fábrica (máquinas de injeção, compressores, bombas, escritórios, iluminação, Ar Condicionado, etc.).

Em termos térmicos o calor dissipado pela turbina é aproveitado para gerar vapor através de um permutador de calor.

Os sistemas de frio passariam a ser apenas dois:

- Arrefecimento, Desumidificação dos Moldes e A/C – *Set Point*: 6/7°C
- Arrefecimento do Óleo das Máquinas de Injeção e Secagem de PET – *Set Point*: 25 a 30°C

Os *Refrigeradores* de absorção produzem o frio necessário à instalação, sendo necessário um permutador de calor no sistema de arrefecimento do óleo das máquinas e secagem PET.

#### 4.1.4.3 Selecção de Equipamentos

A turbina a Gás a seleccionar será, portanto, uma turbina de cerca de 3 MWe.

Considerando um rendimento eléctrico de 30% e que será possível aproveitar pelo menos 45% do calor rejeitado, i.e., 4,5 MWt, o rendimento global do sistema seria de 75%.

O permutador de calor a seleccionar terá de ser capaz de aproveitar 4,5 MWt dos gases de exaustão. Em relação aos *Refrigeradores de Absorção*, serão necessários dois: um para o sistema de arrefecimento, desumidificação dos moldes e Ar Condicionado com uma capacidade frigorífica de 1,8 MWt e um para o sistema de arrefecimento do óleo das máquinas e secagem PET com capacidade frigorífica de cerca de 1,2 MWt. Terão ainda de ter uma eficiência de pelo menos 90%.

## 5 Conclusões

### 5.1 Objectivos realizados

Pode-se afirmar que o *principal objectivo* deste trabalho – a *melhoria da eficiência energética* e consequente redução dos consumos e encargos associados – foi **concretizado**, como é perceptível através da Tabela 11:

Tabela 11 - Evolução do Consumo Específico – 2006 a Abril 2009.

	2006	2007	2008	Out. 2008 <sup>1</sup> a Abr. 2009
<b>Consumo Específico</b> [kWh/ton]	972	921	902	<b>849</b>

A *Meta Energética* definida – situar o consumo específico abaixo dos *900 kWh/ton* – foi **atingida**. A média entre Outubro de 2008<sup>1</sup> e Abril de 2009 (7 meses) é de cerca de *850 kWh/ton*, sendo esta, inclusive, a média deste tipo de indústria.

Graficamente, é visível a diminuição dos consumos energéticos após as melhorias efectuadas nos sistemas de arrefecimento (Outubro 2008).

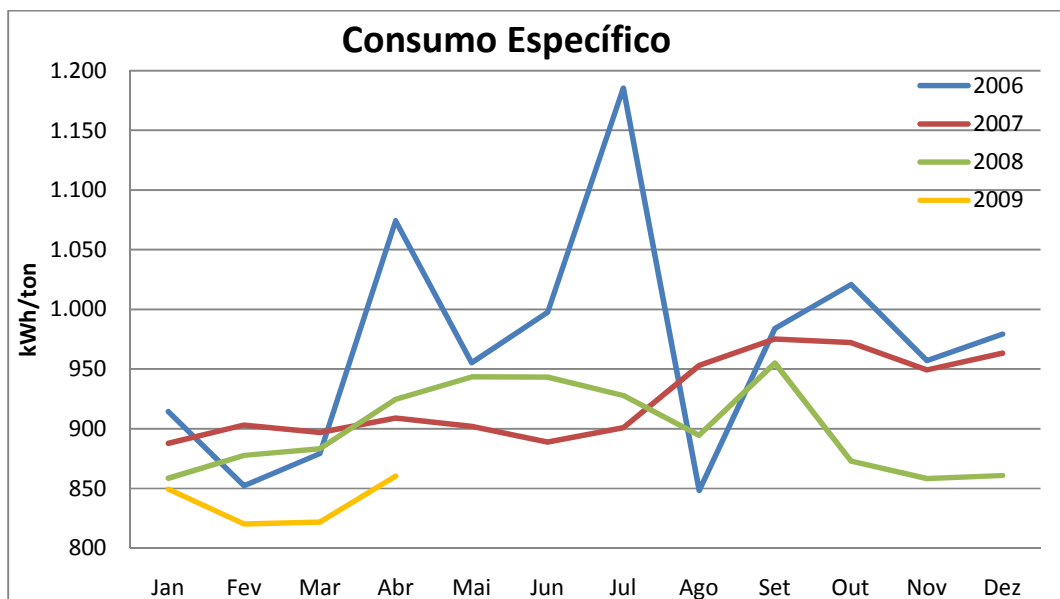


Figura 27 - Consumo específico da fábrica [kWh/ton].

<sup>1</sup> Data de implementação de algumas medidas de racionalização energética propostas.

No ano 2008, a partir do mês de Outubro, o consumo específico ficou abaixo dos *900 kWh/ton*, objectivo, à muito, ambicionado pela direcção da fábrica, e poucas vezes conseguido ao longo dos últimos 3 anos. Pode se afirmar que, as optimizações que foram feitas nos *3 sistemas de arrefecimento da fábrica* foram cruciais para atingir este objectivo.

De notar que, nos primeiros meses de 2009, o valor continua abaixo dos *900 kWh/ton*, sendo a média deste ano (Janeiro até Abril) cerca de *840 kWh/ton*.

Paralelamente, foi possível cumprir os seguintes objectivos:

- Criou-se uma maior sensibilização para as questões energéticas, não só na fábrica em estudo, como nas restantes fábricas do grupo Logoplaste em Portugal e
- Existe, agora, um maior cuidado na selecção de equipamentos e projectos de sistemas de arrefecimento.

Uma vez que as fábricas de produção de préformas são utilizadores intensivos (*7000 h/ano*) e regulares de energia eléctrica e térmica, o estudo desenvolvido permitiu concluir que, o modelo de gestão energética a ser aplicado a este tipo de indústria passa por um sistema de co(tri)geração, cujo esquema de princípio está representado na Figura 26:

- Electricidade para os diversos sistemas eléctricos
- Calor para a Secagem do PET
- Produção de Frio através de *Refrigeradores de Absorção* tendo em conta, apenas dois sistemas
  - Arrefecimento, Desumidificação dos Moldes e A/C – *Set Point: 6/7°C*
  - Arrefecimento do Óleo das Máquinas de Injecção e Secagem de PET – *Set Point: 25 a 30°C*

## 5.2 Limitações / dificuldades & trabalho futuro

A grande limitação / dificuldade deste trabalho foi o facto de todas as optimizações terem sido feitas com a fábrica em funcionamento contínuo. Nos subcapítulos seguintes são referidas as limitações/dificuldades sentidas e o trabalho futuro que poderá vir a ser desenvolvido em cada sistema.

Considera-se que os trabalhos futuros recomendados serão fundamentais para a Logoplaste Mealhada situar o seu consumo específico *próximo* dos *800 kWh/ton*.

### 5.2.1 Arrefecimento e Desumidificação dos Moldes

#### 5.2.1.1 Limitações / dificuldades

As limitações/dificuldades encontradas neste sistema foram as seguintes:

1. Instalação das válvulas de equilíbrio dinâmico foi feita máquina a máquina ao mesmo tempo que se procedia à mudança dos moldes para começar a produzir outra referência.
2. Não foi possível instalar a V.E.D na máquina de 72 cavidades, pois era necessário alterar o diâmetro da tubagem para uma secção maior.
3. A diminuição do *set point* de pressão de *6 bar* para *5 bar* (e posteriormente para *4,5 bar*) foi feita com as máquinas em produção.

#### 5.2.1.2 Trabalho futuro

O trabalho que pode vir a ser desenvolvido é o seguinte:

1. Instalação da válvula de equilíbrio dinâmico na máquina de 72 cavidades - permitirá reduzir o caudal de *150 m<sup>3</sup>/h* para *75 m<sup>3</sup>/h*.
2. Instalação de uma nova central de bombagem, ajustada à instalação, i.e., com o *set point* de pressão a *4,5 bar*. Consumo energético estimado – *160 kWh* (actual – *265 kWh*) – Redução do Consumo Energético de *105 kWh* (*700MWh/ano*).
3. Se for decidido avançar com o projecto de Cogeração, a instalação de Refrigeradores de Absorção, é aconselhada, caso contrário, é recomendado o estudo da alteração dos actuais Refrigeradores arrefecidos a ar (C.O.P de 3) para Refrigeradores arrefecidos a água (C.O.P. de 5).

## **5.2.2 Secagem de Matéria-Prima – PET**

### *5.2.2.1 Limitações / dificuldades*

As limitações/dificuldades encontradas neste sistema foram as seguintes:

1. Uma vez mais, a ligação dos secadores de PET ao circuito de água a 25°C foi feita ao mesmo tempo que se procedia à mudança dos moldes para começar a produzir outra préforma.
2. Alguma falta de conhecimento e apoio por parte do fabricante dos equipamentos, revelando desconhecimento sobre a possibilidade de utilizar água a 25°C para o arrefecimento dos secadores.

### *5.2.2.2 Trabalho futuro*

O trabalho que pode vir a ser desenvolvido é o seguinte:

1. Colocar os restantes secadores de PET a serem arrefecidos por água entre 25 e os 30°C.
2. Uma vez que alguns dos equipamentos já estão obsoletos, sugere-se a instalação de equipamentos novos com tecnologias de última geração – *Redução do Consumo Energético estimado de 400 MWh/ano.equipamento.*

## **5.2.3 Arrefecimento do Óleo das Máquinas de Injecção**

### *5.2.3.1 Limitações / dificuldades*

As limitações/dificuldades encontradas neste sistema foram as seguintes:

1. Alguma falta de conhecimento da fábrica sobre a razão que leva, por vezes, a temperatura do óleo das máquinas subir até 60°C (temperatura máxima permitida). Quando isto acontecia, era procedimento habitual diminuir o *set point* de temperatura das torres de arrefecimento. Foi explicado que o problema estaria nos permutadores de calor das máquinas e não na temperatura da água, sendo que o *set point* não tem sido tantas vezes alterado.

### 5.2.3.2 Trabalho futuro

O trabalho que pode vir a ser desenvolvido é o seguinte:

1. Eliminação do circuito primário e secundário de circulação de água. É possível com o mesmo grupo de bombas responsável pela circulação de água na fábrica, fazer a água passar pelas torres de arrefecimento, chegando ao depósito à temperatura de 25 a 30°C. Desta forma, é eliminado o grupo de bombas responsável pela circulação de água entre o depósito e as torres de arrefecimento – *Redução do Consumo Energético estimado de 30 MWh/ano.*

### 5.2.4 Outros Trabalhos Futuros

- Estudar o sistema do Ar Condicionado. É recomendado colocar junto a cada máquina de injeção (por cima do fuso) uma extracção de ar para remoção do calor gerado para aquecimento do PET.
- Os secadores de PET são equipamentos que libertam muito calor para o ar envolvente. Assim é recomendado colocá-los numa sala devidamente climatizada, fora da sala de produção.
- Pedir um ponto de ligação à rede eléctrica nacional e desenvolver e adaptar o projecto de Cogeração à legislação vigente em Portugal.

### 5.3 *Apreciação Final*

Em termos gerais, a Logoplaste Mealhada encontra-se entre as melhores unidades fabris da Europa, sendo certificada ISO 9001 e OHSAS 18001. Contudo, em termos energéticos, pode afirmar-se que não estava otimizada.

Foi desenvolvido um processo de auditoria dirigido à indústria, identificando os principais consumidores de energia e as principais áreas de intervenção. Concluiu-se que havia um grande desperdício de energia nos sistemas de arrefecimento principalmente, por falta de controlo dos caudais, na circulação de água fria.

Foram identificadas eventuais medidas com vista à racionalização dos consumos energéticos, algumas das quais, tendo sido aplicadas proporcionaram uma redução do consumo energético. Todas as outras acções estudadas encontram-se referidas no *capítulo 5.2 - Limitações / dificuldades & trabalho futuro*, sendo fortemente recomendada a sua implementação, com vista a dar continuidade à diminuição dos consumos energéticos e consequente melhoria dos indicadores energéticos.

A Logoplaste Mealhada caracteriza-se por ser um grande consumidor de energia, tanto na forma de calor/frio como na forma de energia eléctrica. Dadas estas características, é aconselhada a instalação de um sistema de cogeração visando a redução das facturas energéticas e o aumento da competitividade.

Como conclusão final, é de reforçar a ideia de que a gestão da energia na indústria deverá constituir um campo de acção prioritário, não só por razões económicas, mas também pela pressão ambiental, sobretudo na indústria portuguesa que apresenta consumos energéticos superiores à média europeia. Torna-se, portanto, imperiosa a melhoria dos indicadores energéticos, sendo que a cogeração se apresenta como uma resposta credível às preocupações da União Europeia.

## 6 Bibliografia

- [1] SÁ, E. S.; ALEXANDRE, J. L. (2007). *Auditorias Energéticas no Sector de Frio Industrial. Medidas de Poupança e de Eficiência Energética*. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, 23-25 Outubro, Cusco, Peru.
- [2] THUMANN, A.; YOUNGER, W. J. (2003). *Handbook of Energy Audits – 6<sup>th</sup> Edition*. The Fairmont Press.
- [3] European Commission – Centre for Renewable Energy Sources (2000). *Energy Audit Guide – Part A: Methodology And Technics*. ADAPT
- [4] European Commission – Centre for Renewable Energy Sources (2000). *Energy Audit Guide – Part B: System Retrofits For Energy Efficiency*. ADAPT
- [5] European Commission – Centre for Renewable Energy Sources (2000). *Energy Audit Guide – Part C: Best Practice Case Studies*. ADAPT
- [6] EC-ASEAN (2004). *Cogeneration Project Development Guide*. Carl Bro Intelligent Solutions.
- [7] CASTRO, R. M. G. (2008). *Introdução à Cogeração*. DEEC / Área Científica de Energia – Instituto Superior Técnico.
- [8] BRANDÃO, S. S. (2004). *Cogeração*. DEEC – Universidade de Coimbra
- [9] ARCHILA, S. COOKE, G. (2008). *Plant Audit: Plastikit – Logoplaste Mealhada, Portugal*. Husky Injection Molding Systems, Ltd.®
- [10] COGEN Portugal. (2009). *Manual de Apoio ao Cogrador*.

## **7 ANEXOS**

### ***7.1 ANEXO A – Planta da Unidade Fabril Plastikit – Logoplaste Mealhada***

