

**UNIVERSIDADE ABERTA**



UNIVERSIDADE  
**AbERTA**  
[www.uab.pt](http://www.uab.pt)

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DE CENTRAL DE  
COGERAÇÃO NUMA INDÚSTRIA DE TORNEIRAS**

**Sérgio Reis**

**Mestrado em Gestão**

2016

**UNIVERSIDADE ABERTA**



**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DE CENTRAL DE  
COGERAÇÃO NUMA INDÚSTRIA DE TORNEIRAS**

**Sérgio Reis**

**Mestrado em Gestão**

**Dissertação orientada pelo Professor Doutor Manuel Mouta Lopes**

2016

## Resumo

O presente trabalho efetua o dimensionamento e análise de viabilidade técnica e económica de uma central de cogeração numa indústria de produção de torneiras.

A cogeração pode definir-se de forma simplista como um sistema de produção e consumo de água quente e eletricidade. O que diferencia esta definição simplista da definição de um central termoelétrica é a palavra consumo, pois numa central termoelétrica a água quente, normalmente em forma de vapor, é um refugo que é simplesmente desperdiçado na maioria dos casos.

Este conceito leva o autor do presente trabalho a concluir que em qualquer local onde haja consumo significativo de águas quentes há potencial para produção otimizada de eletricidade, dependendo da escala.

A empresa onde foi realizado o trabalho, uma fábrica de torneiras, tem consumo significativo de águas quentes industriais. O sistema de cogeração idealizado é resumidamente um sistema composto por um gerador industrial de combustão interna a gás natural e um permutador de calor, que aquece águas industriais a partir dos gases de escape do gerador.

A singularidade deste trabalho está na aplicação de um sistema de cogeração a uma indústria de torneiras, algo que não é do conhecimento do autor que alguma vez tenha existido, dado que este tipo de sistema é aplicado geralmente a indústrias com alto consumo de vapor, como a indústria papelreira ou vidreira.

Verificou-se que há viabilidade técnica e económica na instalação em estudo, e que a mesma pode representar um acréscimo de competitividade significativo num tipo de indústria que pode ser considerada como consumidora intensiva de energia.

Palavras chave:

- Cogeração
- Eletricidade
- Permutador de calor
- Eficiência Energética

## **Abstract**

This paper makes the study of the design and analysis of technical and economic feasibility of a cogeneration plant in the faucet production industry.

Cogeneration can be defined simplistically as a system of production and consumption of hot water and electricity. What distinguishes this simplistic definition of a thermoelectric power plant definition is the word consumption, since the power plants produce hot water, typically in vapor form, which is simply wasted in most cases.

This concept leads the author of this study to conclude that in any place where there is significant consumption of hot water there is potential for optimized production of electricity, depending on the scale.

The company where this study was done, a manufacturer of faucets, has significant consumption of industrial hot water. The cogeneration system designed is a system composed by an internal combustion gas generator and a heat exchanger which heats water from the exhaust gases of the generator.

The uniqueness of this work is the application of a cogeneration system to one faucet industry, something that actually don't exists as far as the author knows, since this type of system is usually applied to industries with high consumption of steam, as the paper or glass industries.

The main conclusion found is that there is technical and economic viability for the installation, and that it may represent a significant increase in competitiveness for the industry that can be considered as intensive energy consuming.

Key words:

- Cogeneration
- Electricity
- Heat exchanger
- Energy Efficiency

À minha esposa, Sónia Henriques

## **Agradecimentos**

Eis-me de frente com a minha quarta carta de agradecimentos nesta senda académica que tenho procurado desenvolver ao longo da minha vida. Esta determinação que sempre tive em progredir formalmente em termos de conhecimento é-me intrínseca, a verdade é que poucos alguma vez me direcionaram para este caminho que tanto me tem enriquecido e contribuído para melhorar a minha vida aos mais diversos níveis.

Para esses poucos tenho muitos obrigados. Ao Prof. Doutor Manuel Mouta Lopes agradeço o seu pragmatismo, disponibilidade e coragem em abraçar um trabalho desconfortável pelo seu cariz de engenharia inventiva. Aos meus pais agradeço o seu apoio incontornável à minha vida, com a ajuda permanente e altruísta sem necessidade de solicitação. À minha amada esposa deixo o muito obrigado por me acompanhar diariamente, por fazer o seu melhor para o nosso melhor, por partilhar comigo o melhor que a vida tem, o nosso Amor, que me traz a segurança e conforto necessários para ultrapassar desafios como este.

Concluo com uma reflexão antes do último agradecimento. Depois de ter contacto com pessoas um pouco de todo o mundo sempre ouvi uma expressão anglo-saxónia na qual nunca refleti muito. “We are lucky, we have a lot in our plate”, somos afortunados, temos muito no nosso prato. De facto, apesar das dificuldades da vida, temos muito no nosso prato. Saúde, Amor, Amizade, inteligência capaz de superar a barreira dos diplomas, bens materiais suficientes para uma vida com confortos suficientes, somos afortunados, como privilegiados.

Depois de três dedicatórias agradeço finalmente a quem nunca me esqueci, mas a quem nunca agradei talvez por pensar que o agradecimento não seria necessário. Agradeço a Deus por tudo o que tem posto no meu prato. Quanto mais ciência encontro na minha vida, mais certo estou de que não sou eu que escolho o que encontro no meu prato, não sou eu que escolho o meu contexto, a minha origem, as minhas raízes. Agradeço a Deus por elas me terem trazido as oportunidades e provações que necessito para crescer e progredir continuamente. Depende de mim o que faço com essas oportunidades e continuarei a lutar para as honrar.

# Índice

1 – Introdução	1
1.1 – Nota Introdutória	1
1.2 – Justificação do Trabalho	1
1.3 - Descrição do Problema	3
1.4 – Estrutura da Dissertação	4
2 – Introdução à Cogeração	5
2.1 – A importância da Cogeração	5
2.2 - Cogeração vs Tecnologias Convencionais	5
2.3 - Vantagens da cogeração	6
2.4 - Cogeração em Portugal	7
3 – Instalação em Estudo	11
3.1 – Análise do Processo Produtivo	11
3.1.1 - Macharia e Fundação	11
3.1.2 Maquinagem	14
3.1.3 Lixamento e Polimento	16
3.1.4. Galvânica	19
3.1.5 Departamento de Montagem	20
3.2 – Energia Consumida	22
4- Análise de Viabilidade Técnica	27
4.1 – Princípio básico de Funcionamento da Instalação proposta	27
4.2 – Dimensionamento do Permutador de Calor	28
4.3 – Definição do sistema motor de combustão/gerador	38
5- Análise de Viabilidade Económica	42
5.1 – Estimativas de Consumo para 2016	42
5.2 – Análise de Custos de Investimento e Operação	45
5.3 – Cálculo do Retorno de Investimento	46
6- Conclusão	50
Bibliografia	52

# **1 – Introdução**

## **1.1- Nota Introdutória**

Este trabalho enquadra-se no âmbito da Dissertação do Mestrado em Gestão da Universidade Aberta, e tem como objetivo o estudo de viabilidade técnica e económica de uma instalação industrial de cogeração, baseada no aproveitamento do consumo de gás natural existente numa unidade metalúrgica de produção de torneiras, para aquecimento de águas industriais.

A eficiência energética assume particular importância para a fatura energética da generalidade das empresas em Portugal. O aproveitamento de energia residual para produção de calor ou eletricidade, para o processo industrial ou para fins domésticos, permite reduzir os custos globais da empresa e minorar o impacto ambiental associado à instalação de sistemas térmicos com produção de efluentes gasosos para a atmosfera, destinados a produzir energia. Neste contexto, a cogeração assume uma importância vital para alguns sectores da indústria, que requerem elevados consumos de energia térmica e elétrica.

A singularidade deste trabalho passa pelo facto de não ser comum encontrar este tipo de instalação em indústrias metalúrgicas, como é o caso da indústria de produção de torneiras, uma vez que a rentabilidade deste tipo de equipamentos apenas acontece em indústrias com necessidade de elevado consumo de vapor no seu processo produtivo. A ideia deste trabalho surgiu pelo facto de o autor do mesmo ter conhecimento que na indústria em questão existe um consumo significativo de águas industriais quentes, necessárias principalmente para uma linha galvânica, e que com uma configuração técnica particular de um sistema de cogeração poderão ter rentabilidade económica a médio/longo prazo.

## **1.2- Justificação do Trabalho**

Atualmente o consumo de energia representa em muitas indústrias uma percentagem significativa dos custos de produção, principalmente nas indústrias consideradas como consumidoras intensivas de energia.

Na produção em série, onde a automação e o recurso a maquinaria elétrica se democratizaram de forma viral, o custo energético pode ser considerado como um custo variável, uma vez que o consumo energético aumenta ou diminui com o aumento ou diminuição das quantidades produzidas, devido ao aumento ou diminuição da utilização de equipamentos produtivos.

Isso significa que, nestas circunstâncias, a otimização da utilização de energia pode representar uma efetiva redução de custos unitários, com conseqüente aumento de competitividade e margens de lucro.

A somar a isso os Estados Europeus têm incentivado largamente programas de proliferação da eficiência energética, que podem impactar tanto o recebimento de fundos como o próprio pagamento de impostos, o que de novo poderá ter um impacto muito significativo na estrutura de custos das empresas, aumentando a sua competitividade e margens de negócio.

A empresa onde se realizou o presente trabalho compete num mercado global, uma vez que está enquadrada dentro de um grupo multinacional com fábricas em diversos pontos do mundo. Isso faz com que tenha de comparar os seus custos a locais asiáticos, por exemplo, onde o custo de mão-de-obra é significativamente mais baixo do que em Portugal.

A contraposição a custos de mão-de-obra baixos só é possível através de incorporação tecnológica que permita otimizar a utilização de pessoas com recurso a maquinaria. Para que a automação consiga permitir ultrapassar a discrepância salarial neste tipo de competição é necessária engenharia que garanta custos tão otimizados quanto possível e, dentro desses custos, a parcela de consumo energético não é de forma alguma desprezável.

Assim a empresa em questão tem empreendido diversos esforços na introdução de sistemas de baixo consumo, desde a simples iluminação LED à reconversão de maquinaria com introdução de componentes específicos, como rolamentos de baixo atrito ou motores de baixo consumo.

O presente trabalho pretende revolucionar de forma radical a infraestrutura de consumo e produção de energia da fábrica em diferentes formas, de modo a acrescentar de modo decisivo um garante de competitividade em relação a outros mercados.

### **1.3- Descrição do Problema**

A empresa em análise possui consumo elevado de energia em diferentes formas, seja energia elétrica ou energia térmica na forma de águas quentes para consumo industrial no processo produtivo.

Estes consumos são atualmente independentes como também as fontes que os alimentam. No caso particular das águas quentes industriais estas são produzidas em caldeiras a gás natural.

O problema que guiará todo o trabalho descrito de seguida pode resumir-se à seguinte questão: será possível fundir a produção e consumo de eletricidade, gás e águas quentes de modo a otimizar a eficiência energética e reduzir custos de produção?

Se observarmos o conceito teórico de uma central termoelétrica convencional a gás natural, como as que produzem eletricidade para as nossas casas, verificamos que elas utilizam o gás para produzir eletricidade e água quente, que é na maioria das vezes um refugo desperdiçado na forma de vapor de água.

Será então possível criar um sistema que seja capaz de produzir eletricidade e ao mesmo tempo alimentar um processo com águas quentes industriais?

Esta questão tem uma resposta antiga, pois há décadas que existem as chamadas centrais de cogeração, que resumidamente produzem eletricidade e águas quentes, muitas vezes na forma de vapor, para alimentar processos produtivos.

Assim sendo a resposta estaria aparentemente encontrada uma vez que a solução que procuramos para o nosso problema já existe há décadas como se referiu.

A realidade é que essa solução existe há largos anos, mas para indústrias tradicionalmente consumidoras de vapor de água, como as indústrias papeleiras ou têxtil.

Não é do conhecimento do autor do presente trabalho que exista alguma indústria de torneiras ou mesmo metalomecânica que alguma vez tenha introduzido uma solução de cogeração como forma de aumento de competitividade e redução de custos.

O presente trabalho deve ser por isso capaz de responder a uma última grande questão: há viabilidade técnica e financeira na instalação de uma central de cogeração numa indústria de torneiras?

## **1.4- Estrutura da Dissertação**

Para responder ao problema descrito anteriormente subdividiu-se a parte seguinte da dissertação em cinco capítulos chave:

1. A importância da Cogeração, onde se descreverá o conceito de cogeração e a sua evolução ao longo do tempo.
2. Instalação em Estudo, onde se descreverá resumidamente o processo produtivo da fábrica em análise, permitindo contextualizar a premência do projeto.
3. Conceção da Instalação, onde se irá desenvolver o conceito de instalação pretendida.
4. Análise de Viabilidade Económica, onde se verificará se existe viabilidade para o projeto do ponto de vista financeiro.
5. Conclusão, onde se fará um balanço final de todo o trabalho realizado.

Dentro da estrutura de dissertação o capítulo de viabilidade técnica irá ocupar uma parte muito significativa do presente trabalho, o que poderá ser criticável no âmbito de um mestrado em gestão.

No entanto, o que se pretendeu por parte do autor com o presente trabalho, como também na parte curricular deste curso, foi desenvolver conhecimentos e raciocínio financeiro que fossem enquadráveis na sua ótica de engenharia de gestão de projetos e melhoria contínua.

Assim, pretende-se na conclusão encontrar uma clara simbiose entre a engenharia e análise financeira de investimentos que, independentemente da sua dimensão relativa, mostre que neste tipo de projetos a viabilidade técnica não existe sem a viabilidade económica e vice-versa.

## **2- Introdução à Cogeração**

### **2.1- A importância da cogeração**

Deparando-nos com a atual situação de dependência energética e tendo em conta que as suas atuais fontes principais, os combustíveis fósseis, estão cada vez mais escassos, torna-se necessário tomar medidas rápidas no sentido de diminuir a dependência desse tipo de combustíveis não renováveis. Neste contexto, surge a necessidade da utilização de fontes renováveis de energia e a otimização do uso de combustíveis fósseis, aproveitando, de uma melhor forma, a energia que estes proporcionam. Surge, então, a cogeração, como sendo a produção em simultâneo de energia térmica e mecânica (esta última habitualmente convertida em energia elétrica) a partir de um combustível que pode ser, entre outros, biomassa, fuelóleo, gás natural ou resíduos industriais.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 313/2001 de 10 de Dezembro que introduz alguns ajustamentos ao Decreto-Lei n.º 538/99 de 13 de Dezembro, entende-se por instalação de cogeração o *“Conjunto ou conjuntos de equipamentos de produção e consumo de energia eléctrica e térmica existentes num ou mais estabelecimentos. No caso de pluralidade de conjuntos, sempre que o sistema de recolha de dados e medidas permitir isolar completamente a produção e a utilização de energia eléctrica e térmica de cada um deles, pode considerar-se a existência de mais de uma instalação de cogeração, competindo à entidade licenciadora verificar a existência dessas condições”*. O calor produzido é utilizado diretamente no processo industrial, ou é recuperado para ser utilizado em aquecimento, quer de espaços, quer de águas, ou em arrefecimento (ex.: produção de frio em *chillers* de absorção), ao contrário das tecnologias convencionais de produção de eletricidade por via térmica, em que todo o calor do processo é desperdiçado.

### **2.2 - Cogeração versus Tecnologias Convencionais**

As tecnologias convencionais de produção de energia elétrica e térmica têm eficiência baixas chegando o componente de energia térmica desperdiçada sob a forma de calor

a ser muito superior à percentagem de energia efetivamente utilizada. Nos casos em que se utilizam ciclos combinados mais modernos, os rendimentos podem ser melhorados significativamente excluindo as perdas por transmissão e distribuição de eletricidade.

Em sistemas de cogeração, através da utilização do calor residual, a energia produzida utilizável é muito elevada. Muitas das vezes, a eletricidade produzida através da central de cogeração é utilizada localmente, o que resulta em valores desprezáveis de perdas por transmissão e distribuição.

A cogeração proporciona então, quando comparada com as habituais tecnologias de fornecimento de eletricidade e de calor, poupanças energéticas potencialmente elevadas.

Devido às dificuldades técnicas e económicas do transporte de energia sob a forma de calor, as instalações de cogeração estão habitualmente situadas o mais próximo possível do local de consumo deste tipo de energia. Quanto ao transporte de energia elétrica ao longo de grandes distâncias, este está completamente desenvolvido e explorado, sendo substancialmente mais barato e mais fácil do que o transporte de energia térmica, o que faz com que, neste caso, as instalações de cogeração sejam menos dependentes da sua localização.

Existem várias possibilidades na quantidade de energia elétrica a produzir pela central de cogeração: ou é produzida em defeito, comprando-se a restante à rede, ou em excesso, usando a necessária e vendendo a excedente à rede ou fornecendo-a a outros clientes através do sistema de distribuição. Normalmente, verifica-se o segundo caso, uma vez que o dimensionamento da instalação é feito de acordo com as suas necessidades térmicas, o que provoca um excedente de produção de energia elétrica. Do ponto de vista económico, a segunda solução também se apresenta como a mais vantajosa, tendo em conta os incentivos estatais na venda dos excedentes de energia elétrica à rede, regulados pelo Decreto-Lei n.º 538/99 de 13 de Dezembro.

### **2.3 - Vantagens da cogeração**

Implementada de forma otimizada, a cogeração apresenta inúmeras vantagens, face a outro tipo de instalações convencionais:

- Aumento significativo da eficiência energética face às tecnologias tradicionais;
- Benefícios ambientais relevantes, resultantes do uso eficiente dos combustíveis fósseis, que se traduzem em menores emissões de gases poluentes para o ambiente, em particular de CO<sub>2</sub>, o gás com maior responsabilidade no efeito estufa;
- Uso de resíduos industriais como combustíveis (caso existam), o que aumenta a eficiência, diminui os custos com outros combustíveis e evita (ou reduz) a necessidade de armazenamento destes desperdícios;
- Possibilidade de venda por parte da instalação de cogeração, quer de energia térmica, quer de energia elétrica, aumentando deste modo a competitividade no sector;
- Disponibilização de energia térmica para uso dos consumidores domésticos locais a preços convidativos;
- Produção descentralizada de eletricidade, em situações em que a central é dimensionada de acordo com as necessidades dos consumidores locais, evitando perdas significativas em redes de distribuição e aumentando a flexibilidade de utilização;
- Independência da ligação às redes de energia elétrica;
- Redução na quantidade de combustíveis utilizados, o que diminui a dependência da importação – atualmente uma das prioridades da política energética europeia;
- Segurança de abastecimento para os consumidores locais de energia elétrica e/ou térmica uma vez que não ficam dependentes de um só fornecedor;
- Aumento da diversidade das centrais produtoras de energia térmica e elétrica, o que resulta num aumento significativo da competitividade e liberalização do mercado energético;
- Postos de trabalho disponíveis, quer na fase de construção de novas centrais de cogeração, quer na manutenção das já existentes.

## **2.4 - Cogeração em Portugal**

A produção combinada de calor e eletricidade surgiu, em Portugal, na década de 30 do século passado, com a utilização de caldeiras e máquinas a vapor, em diversos ramos industriais. A partir daí, a posteriormente designada cogeração, passou por uma

evolução considerável, ao acompanhar o aparecimento de novos e mais eficientes equipamentos industriais. Começaram, então, a ser utilizadas turbinas de contrapressão, ligadas a alternadores, que substituíam as máquinas a vapor.

No início da década de 80, foi regulada a atividade dos produtores independentes de energia com a possibilidade de estabelecer ligação à Rede Elétrica Nacional, definindo condições que valorizavam, através de incentivos financeiros, a auto produção de energia, assim como a entrega desta à rede. Com esta regulamentação, a atividade de cogeração apresentou um crescimento elevado nas principais indústrias com elevados consumos de energia térmica (têxtil, papel, açúcar e cerveja, entre outras), as quais se iam equipando com modernos sistemas de cogeração de pequena e média potência.

Até ao final da década de 80, a cogeração atingia, em Portugal, uma potência instalada na ordem dos 530 MW.

No contexto da célere evolução da cogeração em Portugal e de forma a cativar os grandes nichos económicos, surge a necessidade de uma melhor e mais transparente regulamentação para os processos de produção de energia eléctrica por sistemas de cogeração. A legislação aplicada a este tipo de instalações passa, então, por uma série de atualizações durante a década de 90, valorizando uma estrutura explícita de remuneração, bem como reconhecendo os seus benefícios energéticos e ambientais. Com base nos novos enquadramentos legais, o número de centrais de cogeração disparou a partir de 1990, surgindo cerca de 64 novas centrais com motor Diesel, tendo como combustível o fuelóleo, perfazendo uma potência adicional instalada de aproximadamente 350 MW (ver fig. 2.1).

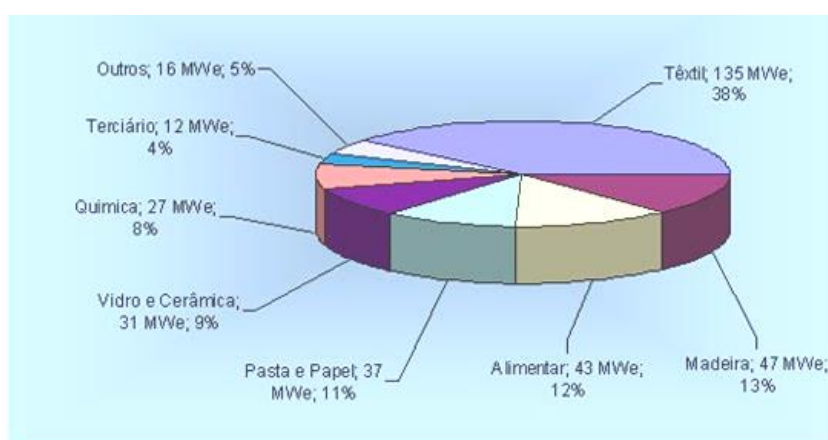


Figura 2.1 – Potência de cogeração a fuelóleo instalada em Portugal por sector de actividade  
(Fonte: Cogen Portugal)

No final da década de 90, com a utilização do gás natural como combustível fóssil ideal para produzir energia, emergiram novas oportunidades e novos projetos para a cogeração. Com este novo combustível, as tecnologias utilizadas alteraram-se para motores Otto e Turbinas a Gás, adicionando-se uma potência instalada até ao final de 2005 de 322 MW (ver figura 2.2).

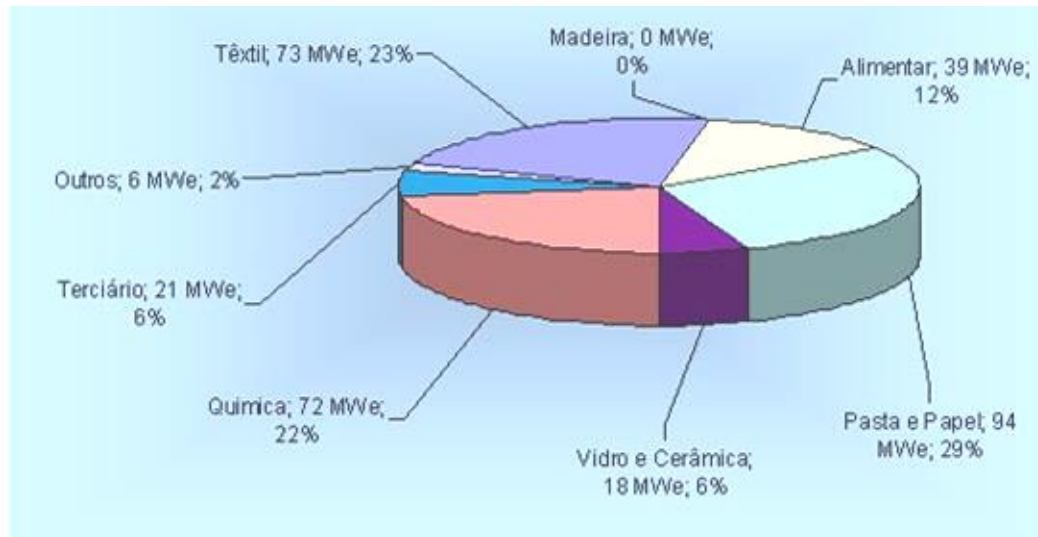


Figura 2.2 – Potência de cogeração a gás natural instalada em Portugal por sector de atividade até ao final de 2005

(Fonte: Cogen Portugal)

No início da presente década, com o aparecimento de regulamentação também para a micro-cogeração (potências geralmente até 150 kW), a potência instalada em Portugal em cogeração totalizava cerca de 1207 MW até ao final de 2005, o que traduzia uma produção anual de aproximadamente 13% do consumo total de energia elétrica no país (ver fig. 2.3).

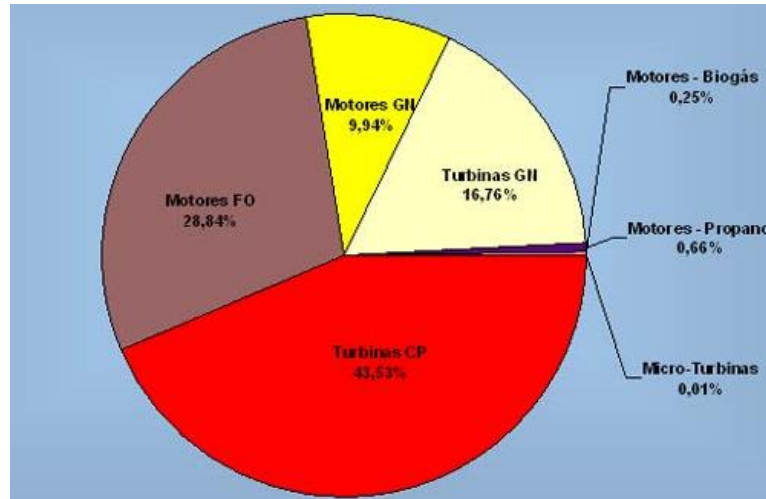


Fig. 2.3 – Cogeração instalada em Portugal por tecnologia até ao final de 2005

(Fonte: Cogen Portugal)

Segundo a Cogen a situação atual resume-se da seguinte forma: “Após um longo período para transpor a Diretiva 2004/8/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção da cogeração de elevada eficiência, o quadro legal ficou completo no dia 14 de Maio de 2012, após a publicação da Portaria n.º 140/2012, que veio estabelecer as tarifas de referência do regime remuneratório aplicável às instalações de cogeração, dispostos no Decreto-Lei n.º 23/2010 de 25 de Março de 2010.

As instalações de cogeração existentes em Portugal são, maioritariamente, equipamentos que utilizam o gás natural como combustível. A potência total instalada, a partir das centrais de cogeração, atingiu, no início de 2012, cerca de 1.300 MW, repartida por diversas tecnologias”

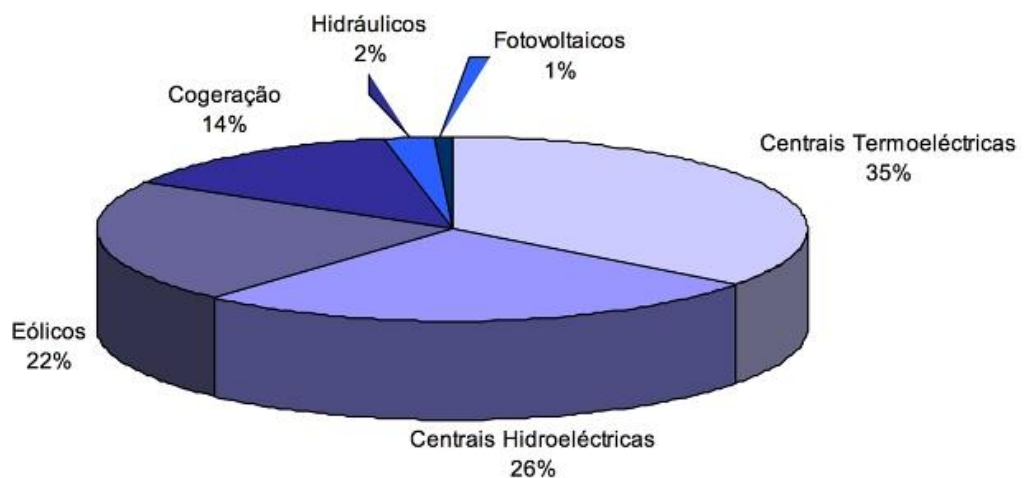


Fig. 2.4 – Produção de Energia Elétrica em Portugal, 2012

(Fonte: Cogen Portugal)

### **3- Instalação em Estudo**

#### **3.1 - Análise do processo produtivo**

A empresa onde se pretende analisar a introdução da central de cogeração produz componentes sanitários, sendo líder de mercado nesse setor. A unidade fabril engloba diferentes processos, desde a Fundição até à Montagem final. Pretende-se de seguida fazer uma breve descrição desses processos de modo a contextualizar a introdução da instalação em estudo.

##### **3.1.1 - Macharia e Fundição**

Este departamento representa a primeira fase de toda a atividade produtiva da empresa, pois aí inicia-se o processo de fusão de vários metais que darão origem à liga metálica.

Para se produzir uma peça são necessários três constituintes: o macho de areia (Figura 3.1, esquerda), a coquilha (Figura 3.1, direita) e a liga metálica, sendo que apenas a coquilha é adquirida externamente.

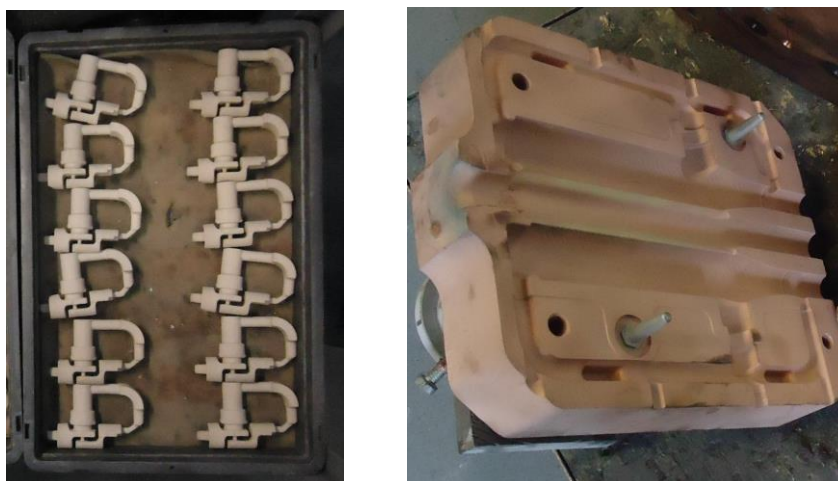


Figura 3.1 - Machos de areia e coquilhas.

A seção de Macharia é responsável pela produção dos machos de areia, que se destinam a gerar as cavidades internas das torneiras. Estes são obtidos através da

introdução de uma mistura de silicone, resina e areia nas caixas de machos, cuja forma depende do tipo de torneira pretendida.

Após colocada esta mistura nas caixas de machos, o conjunto é submetido a uma temperatura que ronda os 220 °C, fazendo com que o catalisador, por ação do calor, acelere o processo químico da resina, solidificando a mistura.

Para finalizar, os machos de areia são rebarbados de forma a retirar o material em excesso, e inseridos nas coquilhas por forma a receberem o vazamento da liga metálica.

A secção de Fundição, é responsável pela produção da liga metálica. Esta deriva da fusão de vários metais que são submetidos a temperaturas elevadas, entre 1000 e 1100 °C, dentro de um forno.

Estando produzida a liga metálica, resta vazá-la para o interior do molde (Figura 3.2, esquerda), preenchendo o espaço vazio entre a coquilha e o macho de areia, obtendo-se desta forma o corpo da torneira no estado bruto (Figura 3.2, direita). Neste sentido, a peça é encaminhada para as estações de corte de forma a retirar os excessos de metal.

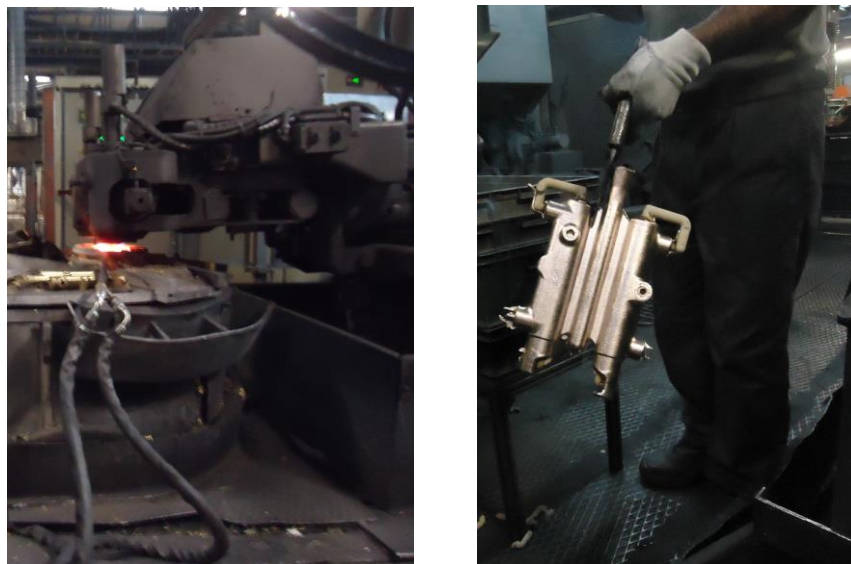


Figura 3.2 - Processo de vazamento e obtenção da torneira no estado bruto

Na fase seguinte, depois de ser efetuado o corte do material em excesso, é necessário enviar as peças para dentro de uma máquina granalhadora. Nas granalhadoras os

corpos são inseridos dentro de um tambor que, por rotação, faz com que estes embatam uns nos outros, retirando desta forma todos os restos de areia que poderão existir no interior dos corpos.

Após todo este processo realizado no departamento de Macharia e Fundição, os corpos das torneiras encontram-se prontos (Figura 3.3), para serem enviados para o departamento seguinte, a Maquinagem.

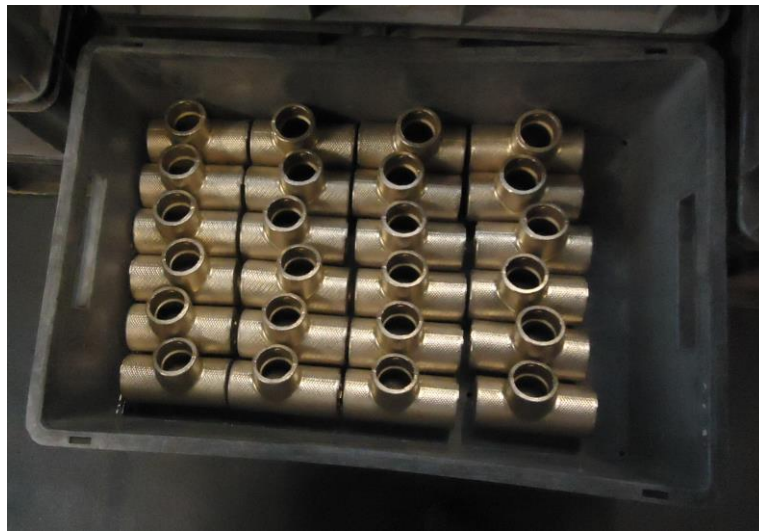


Figura 3.3 - Produto final do departamento de Macharia e Fundição

De forma a entender o processo de fabrico do departamento de Macharia e Fundição, encontra-se na Figura 3.4 um fluxograma explicativo. De referir que no fluxograma a operação identificada como "sucata" representa a sucata central da fábrica, onde todos os corpos de torneiras são depositados quando são detetados defeitos. Neste local, os corpos das torneiras são submetidos a um processo inverso, ou seja, os corpos são fundidos transformando-se de novo em liga de metal. A liga é submetida a uma inspeção de qualidade, em que no caso de preencher os devidos requisitos, é então vazada na coquilha com os respetivos macho para desta forma se reiniciar o processo de fabrico.

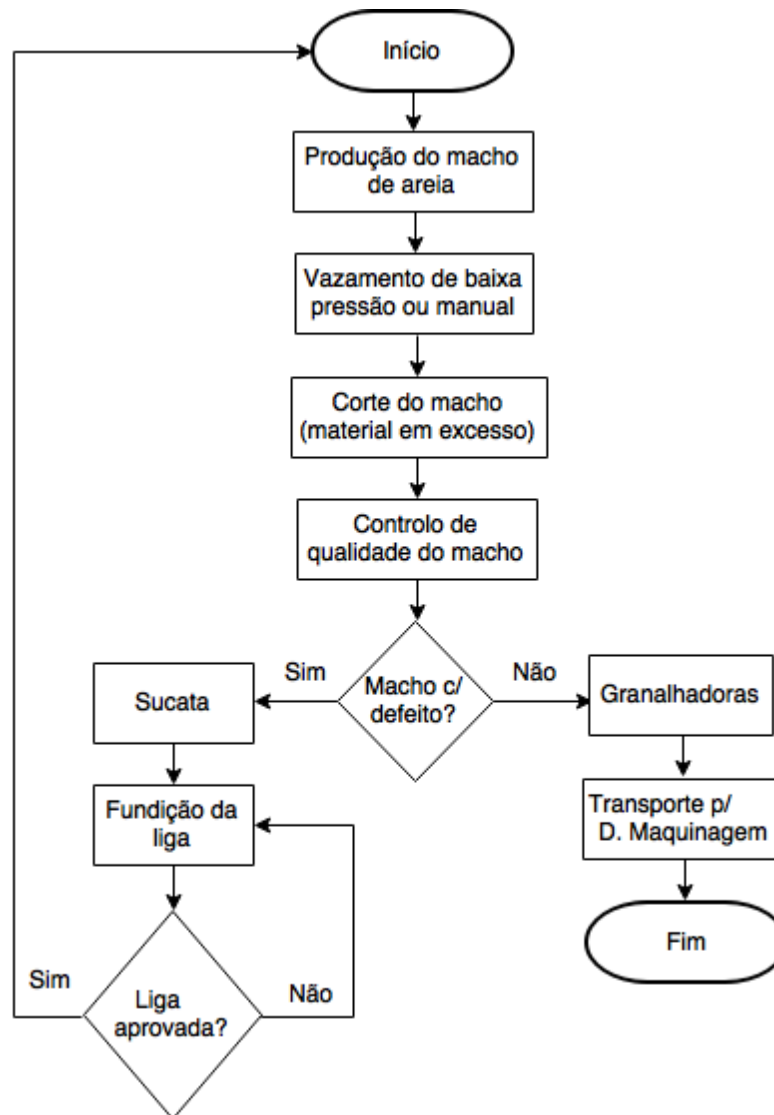


Figura 3.4 - Fluxograma do processo de fabrico do departamento de Macharia e Fundição.

### 3.1.2 Maquinagem

Este departamento, como o próprio nome indica, é responsável por maquinar os corpos das torneiras, provenientes do departamento anterior. De forma mais concreta, as operações de maquinagem a serem efetuadas implicam, para além da remoção de material em excesso, produzir todas as furações e roscas necessárias, para que, posteriormente, no departamento de Montagem sejam introduzidos todos os componentes que integram a peça final.

Neste departamento, o processo de maquinagem é realizado de forma autónoma pelos centros de maquinação *Computer Numerical Control* (CNC), dos quais se apresenta

um exemplo na Figura 3.5, sendo que os operadores têm como função o abastecimento das máquinas com os corpos a serem maquinados, bem como controlo do funcionamento dos equipamentos.

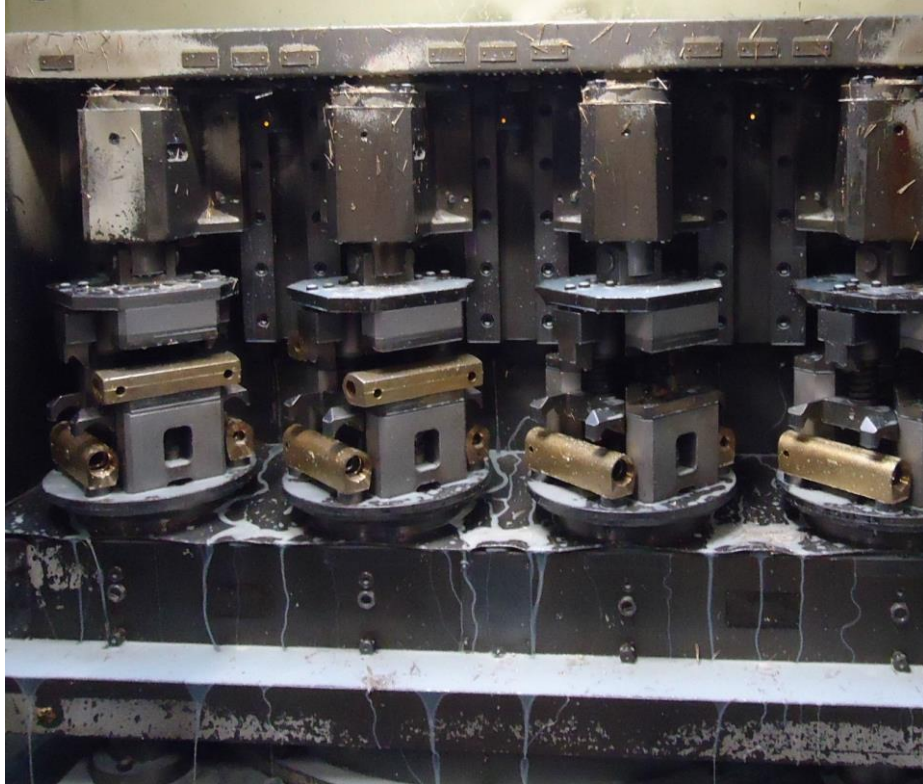


Figura 3.5 - Estação de maquinação CNC

Após este processo os corpos maquinados são lavados e submetidos a testes de forma a validar a sua funcionalidade. Durante estes testes, os corpos são sujeitos a uma inspeção visual por parte dos operadores de forma a avaliar a qualidade das furações e das roscas, e a testes de estanquidade de forma a averiguar se a peça se encontra isenta de fugas. Na eventualidade de a peça produzida reprovar nos testes, esta será enviada novamente para o departamento de fundição.

No fluxograma representado na Figura 3.6, encontra-se representado de forma resumida o processo de fabrico do departamento de Maquinagem.

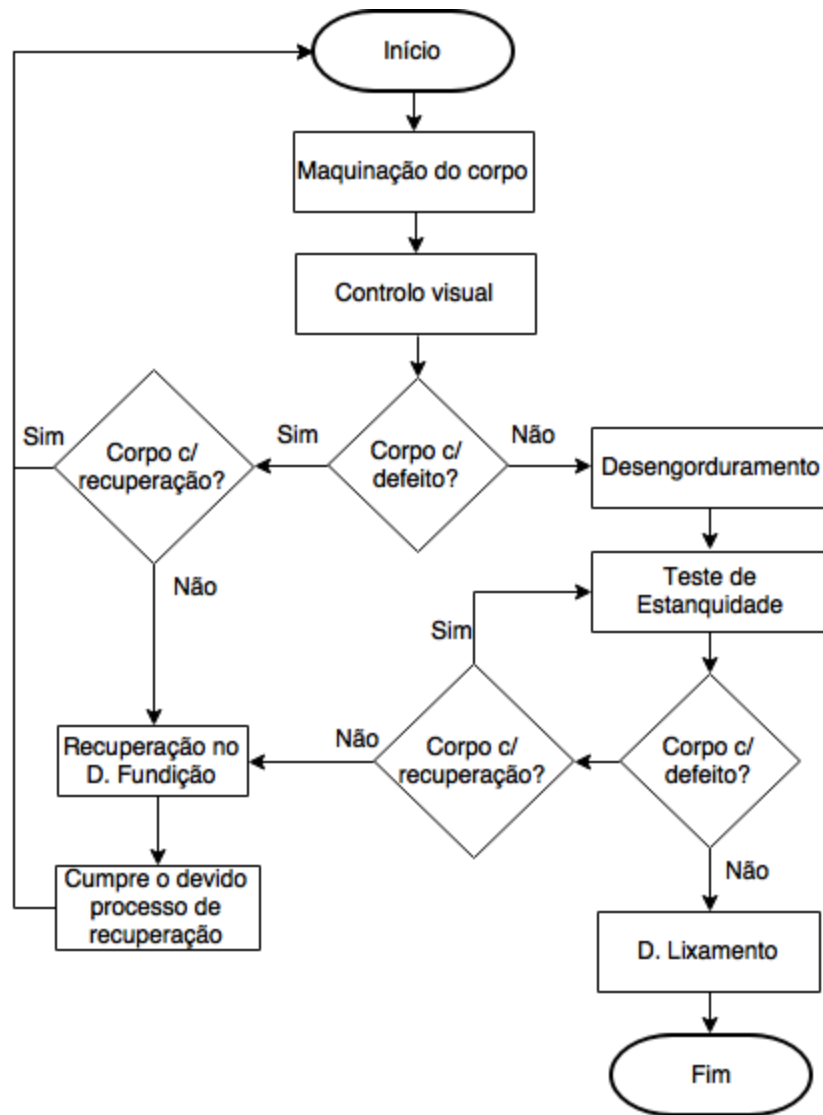


Figura 3.6 - Fluxograma do processo de fabrico do departamento de Maquinagem

### 3.1.3 Lixamento e Polimento

No departamento de Lixamento e Polimento são realizados tratamentos ao nível da superfície da peça, um trabalho minucioso e de extrema importância, dado que ocupa um papel relevante na aprovação de qualidade uma vez que esses tratamentos determinam uma parte importante do aspeto visual final da peça.

Nesse departamento são utilizados processos automáticos e manuais, tanto ao nível do lixamento como do polimento. Com recurso a robots é lixada a maior parte da superfície da peça.



Figura 3.7 - Lixamento automático da peça

Todavia, dependendo da complexidade da peça a ser lixada, podem existir zonas de difícil acesso para os robots, sendo necessário recorrer ao processo de lixamento manual, realizado por operadores.

De seguida as peças passam para o processo de polimento que tem como objetivo a eliminação de riscos superficiais introduzidos no lixamento. O polimento é um processo que pode ser também manual ou automático e manuais, sendo que aqui, os processos automáticos são executados por máquinas CNC, Figura 3.8.

Após serem polidas as peças são inspecionadas visualmente a 100% e, em caso de estarem conformes, estas dirigem-se para um processo de lavagem e desengorduramento. Findo este processo, os corpos encontram-se preparados para serem transferidos para o departamento seguinte, a galvânica.

No fluxograma da Figura 3.9, encontra-se representado de forma resumida o processo de fabrico do departamento de Lixamento e Polimento.



Figura 3.8 - Estação de polimento automático

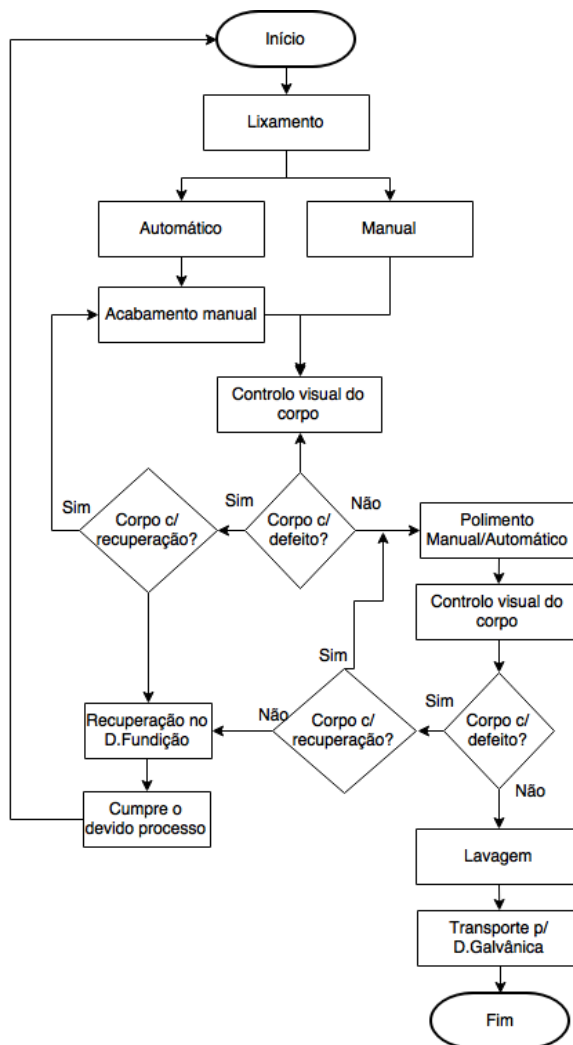


Figura 3.9 - Fluxograma do processo de fabrico do departamento de Lixamento e Polimento.

### 3.1.4. Galvânica

A Galvânica é responsável pela última fase de tratamento de superfície do corpo da torneira, dando origem ao aspeto físico final do corpo da torneira.

Ao chegarem do departamento de Polimento e Lixamento as torneiras, previamente colocadas em suspensões metálicas, são posicionadas num transportador que atravessará as diferentes fases do processo numa linha automática. O processo de galvânica apresenta três diferentes fases: a limpeza, a niquelagem e a cromagem. Estes processos decorrem em banhos com temperaturas elevadas, sendo os mesmos um dos principais consumidores de água quente da fábrica.

Deste processo obtém-se um aumento da durabilidade da peça devido a uma melhoria da resistência à corrosão, como também a cor cromada e brilhante característica da grande maioria das torneiras modernas.



Figura 3.10 - Suspensões metálicas com corpos no processo de elevação

Finalizado todo o processo, os corpos são inspecionados e, em caso de não conformidade, estes são submetidos a um processo de descromagem e desniquelagem para posterior retrabalho, dependendo do tipo de defeito encontrado.

Encontra-se representado na Figura 3.11, o fluxograma explicativo do processo

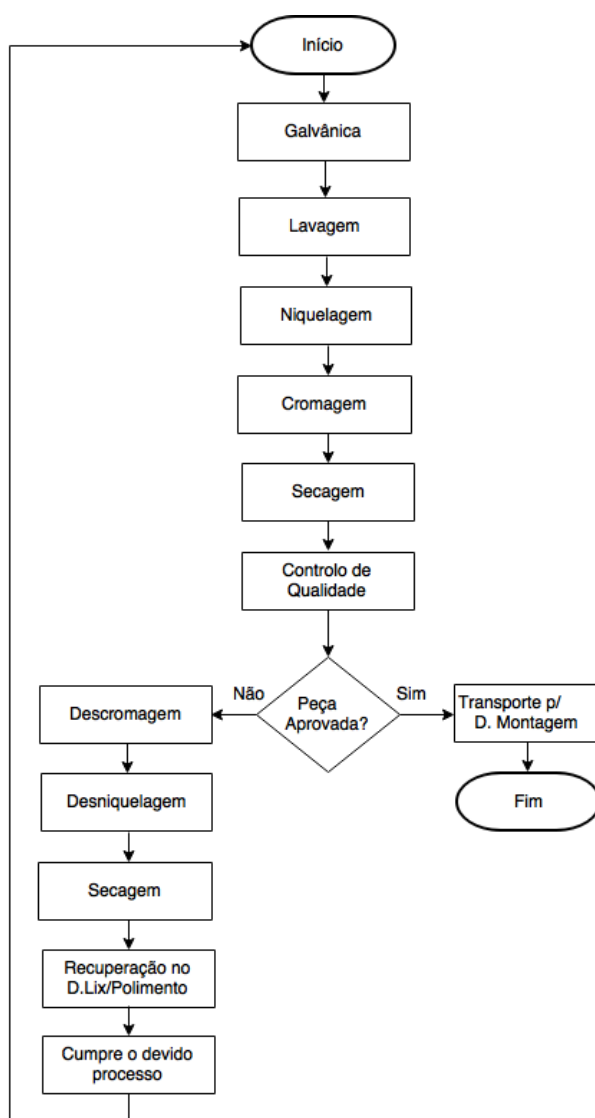


Figura 3.11 - Fluxograma do processo de fabrico do departamento de Galvânica

### 3.1.5 Departamento de Montagem

O departamento de Montagem é responsável por montar o produto final, sendo aqui efetuadas todas as operações em falta desde a chegada dos corpos provenientes da galvânica. Neste departamento são realizadas diversas operações que vão desde a

montagem dos componentes que compõem o produto final como manípulos, emulsores, tubos, entre outros, ao seu embalagem, paletização, até à sua expedição para o centro logístico situado na Alemanha.

Ainda no departamento de Montagem, é realizada uma inspeção final e um conjunto de testes de pressão e estanquidade, de forma a averiguar mais uma vez a qualidade do produto final.

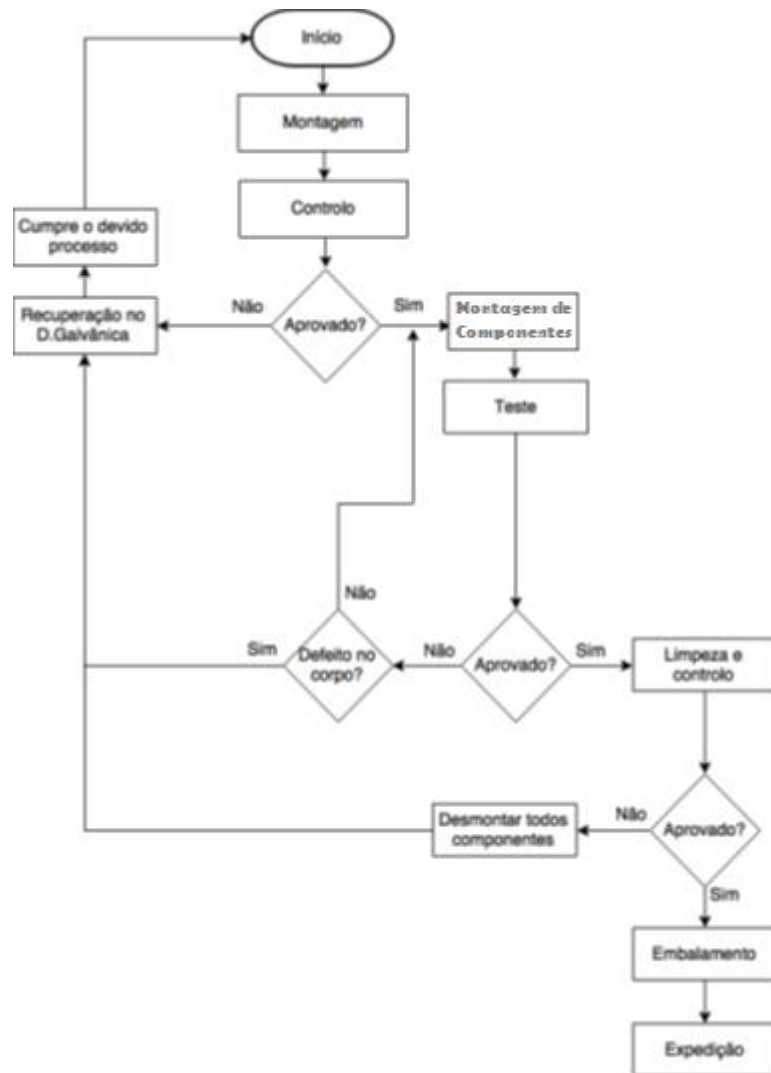


Figura 3.12 - Fluxograma do processo de fabrico do departamento de Montagem

O departamento de montagem é também um dos principais consumidores de água quente da fábrica pois, devido principalmente à produção de torneiras termostáticas, que necessitam de calibração de temperatura com água quente, existe uma necessidade elevada de consumo de água.

### 3.2 – Energia Consumida

A fábrica em questão é uma consumidora intensiva de energia. Para efeitos de análise irá dividir-se o consumo de energia em três módulos base: energia elétrica, gás e águas quentes.

A energia elétrica é a energia consumida diretamente da rede elétrica para alimentação de equipamentos elétricos, como motores ou outros. O gás é um combustível, que na fábrica em questão é utilizado com vários fins, como a queima em caldeiras de águas industriais e sanitárias, secagem de limalhas de metal, aquecimento das instalações e cozinha da cantina social da empresa. Finalmente as águas quentes consideram-se neste estudo também como unidade de energia uma vez que possuem a energia potencial do aquecimento absorvido nas caldeiras e que pode ser transferido caso se pretenda.

Conforme referido anteriormente, existem na unidade fabril departamentos que possuem necessidades de um elevado consumo de águas quentes para alimentar o seu processo produtivo. A somar a essas necessidades existe também um elevado consumo de águas quentes sanitárias nos balneários do edifício social dos operadores da fábrica, uma vez que esta emprega cerca de 1000 trabalhadores, possui laboração contínua em três turnos, e a grande maioria dos operadores toma duche no edifício social no final do turno.

Abaixo apresentam-se as tabelas de consumo e custos com eletricidade em 2015.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
kWh	1506602	1463647	1599995	1545365	1562265	1591309	1574246	1357627	1582239	1562585	1501515	1234219	18081404
Tep	324	315	344	332	336	342	338	292	340	336	323	265	3887
€	153.755	147.249	162.176	153.739	157.340	159.819	159.020	138.581	158.816	157.854	152.703	124.567	1.826.018

Tabela 3.1 – Consumo de Eletricidade na unidade em 2015

De seguida apresenta-se a tabela de consumo de gás em 2015. Note-se que no momento da recolha de informação para o presente trabalho não foi possível obter dados de consumo de gás último trimestre de 2015, pois não se encontravam disponíveis.

Decidiu-se por esse motivo, para fins de cálculo, efetuar uma estimativa de consumos para os meses em falta que se apresentará posteriormente.

Gás Natural										
Gás Natural										
Gás / Geral-Fábrica m3		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Secador limalha	8,33%	2958	4155	4283	4317	3816	3701	3205	1782	3329
Caldeiras	19,82%	8324	8473	8396	8071	8104	7887	7810	8095	9888
Caldeira Edifício Social	20,00%	10081	9269	9081	9081	6852	6526	6165	5227	6440
	31,85%	18962	15178	14563	14854	8635	7989	7481	5803	6103
Cozinha	4,78%	2844	2277	2184	2228	1295	1198	1122	870	915
Termoventiladores	27,07%	16117	12901	12378	12626	7340	6790	6359	4932	5188
armazém	6,25%	3719	2977	2857	2914	1694	1567	1467	1138	1197
montagem	20,83%	12398	9924	9522	9712	5646	5223	4891	3794	3990

Tabela 3.2 – Consumo de Gás na unidade em 2015

Abaixo apresenta-se também a tabela de consumos mensais de água em 2015. Note-se que os consumos apresentados referem-se a águas frias, provenientes diretamente da rede ou de um furo utilizado pela fábrica. Não existe qualquer controlo efetivo do consumo real de águas quentes motivo pelo qual esse volume terá de ser estimado.

Mês 2015	Consumo Água m3
<b>Total</b>	<b>34243.16</b>
<b>Jan</b>	<b>3000</b>
<b>Fev</b>	<b>3132</b>
<b>Mar</b>	<b>3296</b>
<b>Abr</b>	<b>3000</b>
<b>Mai</b>	<b>3000</b>
<b>Jun</b>	<b>3000</b>
<b>Jul</b>	<b>1464</b>
<b>Ago</b>	<b>3047</b>
<b>Set</b>	<b>2823</b>
<b>Out</b>	<b>2837</b>
<b>Nov</b>	<b>2823</b>
<b>Dez</b>	<b>2823</b>

Tabela 3.3 – Consumo de água na unidade em 2015

Para se efetuar a estimativa de consumo de água quente irá utiliza-se o conceito de calor e combustão de uma caldeira de gás natural, para que a partir do consumo de gás, rendimento da caldeira e temperatura de saída da água quente seja possível estimar o volume de água quente consumido.

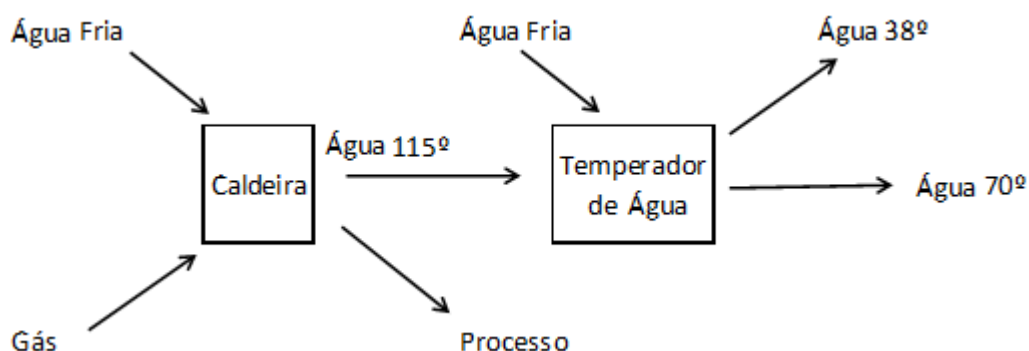


Figura 3.13 – Esquema do circuito de água na fábrica (Temperaturas em graus centígrados)

A Figura 3.13 resume esquematicamente, de forma simplificada, o circuito de águas na fábrica. A água utilizada tem duas origens, a rede de abastecimento pública e um furo licenciado para uso da unidade industrial. Essas águas são posteriormente aquecidas em caldeiras industriais até aos 115°. No entanto, a demanda de água na fábrica exige diferentes temperaturas para diferentes processos pelo que a água quente pode ser utilizada diretamente a 115° ou pode ser temperada num equipamento, onde é misturada com água fria, de modo a obter temperaturas mais baixas.

Para o projeto que se pretende analisar considera-se apenas elegível o consumo de águas quentes.

Estimou-se na tabela 3.4 o consumo total de gás, atribuindo aos meses em falta o valor da média de consumos dos restantes meses do ano.

Gás Natural													
Gás Natural													
Gás / Geral-Fábrica m3		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Secador limalha	8,33%	2958	4155	4283	4317	3816	3701	3205	1782	3329			
Caldeiras	19,82%	8324	8473	8396	8071	8104	7887	7810	8095	9888	8339	8339	8339
Caldeira Edifício Social	20,00%	10081	9269	9081	9081	6852	6526	6165	5227	6440	7636	7636	7636
	31,85%	18962	15178	14563	14854	8635	7989	7481	5803	6103			
Cozinha	4,78%	2844	2277	2184	2228	1295	1198	1122	870	915			
Termoventiladores	27,07%	16117	12901	12378	12626	7340	6790	6359	4932	5188			
armazém	6,25%	3719	2977	2857	2914	1694	1567	1467	1138	1197			
montagem	20,83%	12398	9924	9522	9712	5646	5223	4891	3794	3990			

Tabela 3.4 – Estimativa de consumo total de Gás em 2015

De relevar que a estimativa foi efetuada apenas relativamente ao consumo de gás nas caldeiras, uma vez que por questões técnicas são os únicos equipamentos que se consideram elegíveis para serem substituídos por um sistema de cogeração.

Independentemente da viabilidade ou não da instalação em estudo continuará a haver consumo de gás noutros equipamentos que não poderá ser substituído.

Uma vez que não existem dados do consumo de água quente, este vai ser estimado com base no consumo de gás para aquecimento de águas, que corresponde ao somatório do gás consumido nas caldeiras, e destacado na Tabela 3.4 a amarelo.

Para tal calcula-se inicialmente a potência térmica [1],

$$P = D \cdot PCI$$

onde:

- P = potencia térmica referente a razão/consumo de combustível em kcal/h
- D = Consumo de combustível por hora
- PCI = poder calorífico inferior do combustível (kcal/m<sup>3</sup>)

Tendo em conta que o PCI do gás natural é um valor tabelado e corresponde a 8650 kcal/m<sup>3</sup>, com base no consumo mensal de gás das caldeiras calcula-se a potência térmica mensal, tendo em consideração um rendimento térmico das caldeiras definido em 90%. Os resultados são mostrados na tabela 3.5.

Uma vez que a potência térmica está relacionada com o volume de água quente a aquecer, tendo em conta o seu caudal e diferença de temperatura, pode calcular-se o volume de água quente mensal utilizando a seguinte expressão [1]:

$P = \rho \times c_p \times Q \times \Delta t$ , onde:

- P –Potência calorífica (Kcal/h)
- $\rho$  - Densidade da água= 1 Kg/l
- $c_p$  – Calor específico da água (1 Kcal/(Kg °C))
- Q – Caudal ou volume de acumulação a aquecer num determinado tempo (l/h)
- $\Delta t$  – Diferença de temperatura da água na entrada e de acumulação (°C).

Considera-se neste caso que a temperatura da água de entrada (rede ou furo) é de 10°C e da água de saída 115°C, sendo assim  $\Delta t = 105^\circ\text{C}$

Assim sendo, dado que P já havia sido calculado, é possível calcular o caudal Q.

Os resultados desse cálculo são apresentados na tabela 3.5.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
<b>Total de Gás Caldeiras</b>	18405	17742	17477	17152	14956	14413	13975	13322	16328	15975	15975	15975
<b>Potência Térmica [Kcal]</b>	143282925	138121470	136058445	133528320	116432460	112205205	108795375	103711770	127113480	124365375	124365375	124365375
<b>Volume de água Quente [m<sup>3</sup>]</b>	1364,60	1315,44	1295,79	1271,70	1108,88	1068,62	1036,15	987,73	1210,60	1184,43	1184,43	1184,43
<b>Caudal de água Quente [m<sup>3</sup>/h]</b>	2,58	2,49	2,45	2,41	2,10	2,02	1,96	1,87	2,29	2,24	2,24	2,24
<b>Caudal de água Quente [kg/s]</b>	0,72	0,69	0,68	0,67	0,58	0,56	0,55	0,52	0,64	0,62	0,62	0,62

Tabela 3.5 – Estimativa de consumo total de águas quentes em 2015

## 4- Análise de Viabilidade Técnica

### 4.1 - Princípio básico de Funcionamento da Instalação proposta

Conforme explicado anteriormente a cogeração, resumidamente, é um sistema de produção de energia elétrica e térmica.

Na figura 3.13 verifica-se que o que existe atualmente na fábrica é um sistema apenas de produção de energia térmica.

Para conseguir produzir energia térmica e eletricidade desenhou-se o esquema da Figura 4.1, que é o sistema proposto para instalar, e cujo dimensionamento se tratará adiante.

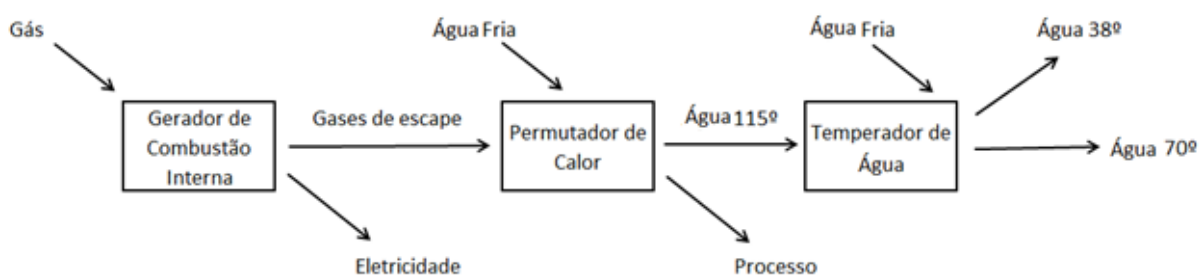


Figura 4.1 – Proposta de novo esquema do circuito de água na fábrica (Temperaturas em graus centígrados)

O que se pretende é substituir as caldeiras, que apenas permitem efetuar o aquecimento de águas, por um motor de combustão interna a gás, semelhante a um motor de um veículo mas de grandes dimensões e natureza industrial. Esse motor estará acoplado a um gerador elétrico que produzirá eletricidade graças ao movimento do motor de combustão, de forma semelhante aos geradores a gasolina que podem ser adquiridos em lojas da especialidade para uso doméstico, ou que podemos encontrar em feiras nas rulotes de comidas ou outras.

Conforme é do conhecimento geral o funcionamento destes motores de combustão interna produz gases, apelidados muitas vezes como gases de estufa, que são gases a altas temperaturas que são emitidos pelo tubo de escape do motor. Na presente instalação pretende conduzir-se esses gases quentes para outro equipamento a instalar,

um permutador de calor, que é um equipamento que permite transferir calor de um fluido ou gás para outro.

Assim no permutador de calor irá transferir-se energia térmica dos gases de escape do motor para a água fria, de modo a aquecê-la até aos 115°C.

A potência do motor de combustão irá depender da potência térmica necessária ao permutador de calor para aquecer o volume de água quente estimado na Tabela 3.5 até aos 115°C.

Para efetuar esse cálculo é também importante definir a temperatura dos gases de escape. A temperatura de combustão varia de motor para motor e, também do regime de funcionamento, ou seja, dependendo da quantidade de combustível que é adicionada a cada momento. Estima-se, no entanto, que a temperatura média de combustão do gás num motor de combustão rondará o 700°C e que, devido a perdas de calor no sistema de escape, a temperatura do gás à entrada do permutador de calor será de aproximadamente 500°C.

## **4.2 - Dimensionamento do Permutador de Calor**

Um permutador de calor é um equipamento que permite a transferência de calor entre dois fluidos a temperaturas distintas, sem que exista mistura de ambos.

Este tipo de equipamentos é amplamente utilizado em inúmeras aplicações que vão desde o domínio industrial até ao domínio doméstico. É possível, por exemplo, encontrar um permutador de calor num automóvel (radiador), como, também, numa central termoelétrica.

Existem vários tipos de permutadores de calor, que podem ser utilizados em diferentes aplicações. No caso do presente projeto, optou-se pela utilização de permutadores de carcaça e tubos. Este é provavelmente o tipo de permutador mais usado em aplicações industriais.

Os permutadores de carcaça e tubos possuem um elevado número de tubos, por vezes largas centenas, envolvidos por uma carcaça. A transferência de calor ocorre quando um dos fluidos passa dentro dos tubos e o outro fora dos tubos dentro da carcaça.

Os permutadores de calor normalmente envolvem dois fenómenos bastante conhecidos na ciência de Transmissão de Calor: a convecção em cada um dos fluidos

e a condução através das paredes, que impedem a mistura desses mesmos fluidos. A transmissão de calor por radiação é normalmente desprezável, exceto em situações muito particulares.

A condução pode definir-se como um fenómeno de transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas. Essa transferência de energia ocorre, primordialmente, devido à colisão e difusão entre moléculas. Este fenómeno pode ser descrito pela lei de Fourier que se indica de seguida [1]:

$$\dot{Q} = -K.A.\frac{dT}{dx} \quad [\text{W}]$$

Onde:

- Q corresponde à potência térmica transmitida;
- K corresponde ao coeficiente de transmissão de calor por condução;
- A corresponde à área de transmissão de Calor;
- $\frac{dT}{dx}$  corresponde ao gradiente de temperatura.

A convecção é um modo de transferência de energia, entre uma superfície sólida e um líquido ou gás em movimento. Este fenómeno envolve os efeitos da condução e do movimento do fluido sendo que, quanto maior for a velocidade do fluido, maior será a transferência de calor por convecção. A lei de Newton para a convecção descreve esse processo [1]:

$$\dot{Q} = h.A.\Delta T \quad [\text{W}]$$

Onde:

- Q corresponde à potência térmica transmitida;
- h corresponde ao coeficiente de transmissão de calor por convecção;
- A corresponde à área de transmissão de Calor;
- $\Delta T$  corresponde à diferença de temperaturas entre a superfície sólida e o fluido.

Deve considerar-se, ainda, um fenómeno importante neste processo: a ebulição.

A ebulição é, provavelmente, a forma de transferência de calor que será mais familiar.

No entanto, é também aquela que é cientificamente mais enigmática. O fenómeno de

ebulição continua a não ser totalmente compreendido e para fazer previsões acerca dele é necessário fazer uso de relações empíricas ou semi-empíricas.

Dos inúmeros estudos efetuados acerca da ebulição concluiu-se que existem diferentes formas desse fenómeno ocorrer, que dependem do chamado excesso de temperatura. Esse excesso de temperatura corresponde à diferença entre a temperatura da superfície de aquecimento do fluido e a sua temperatura de saturação.

Observou-se a existência de quatro regimes de ebulição:

- Ebulição natural;
- Ebulição nucleada;
- Ebulição de transição;
- Ebulição de película.

Esses regimes de ebulição descrevem-se na Figura 4.2, onde o fluxo de calor é função do excesso de temperatura  $\Delta T$ . Note-se que a figura seguinte foi construída com base em dados experimentais para água à pressão atmosférica.

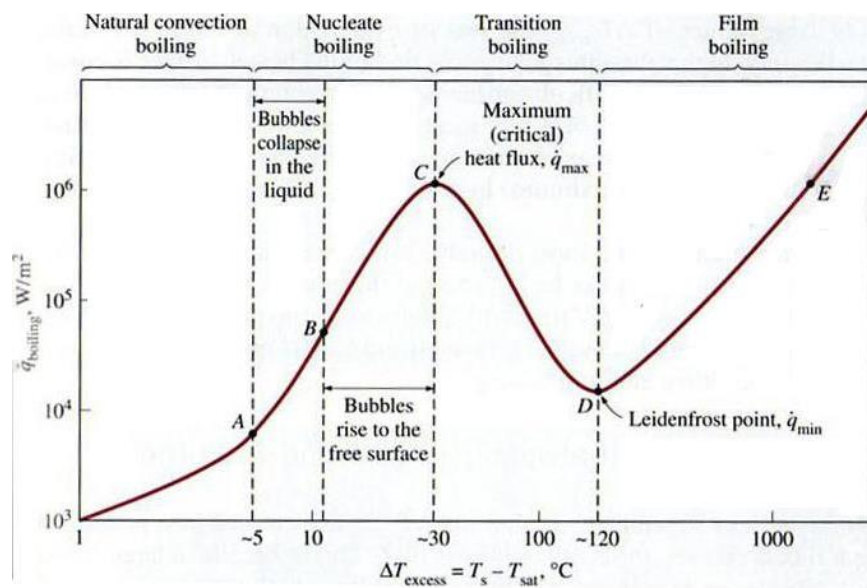


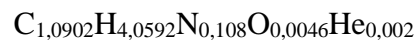
Figura 4.2- Diagrama de ebulição para a água [1]

Apesar de na maioria dos campos de aplicação de produção termoelétrica ser utilizado vapor, no caso particular do presente projeto, pretende produzir-se água quente através de um permutador de calor nunca se considerando que irá ser formado vapor. Apesar de a temperatura da ebulição da água à pressão atmosférica ocorrer aos  $100^{\circ}\text{C}$ , no caso do projeto considera-se que existe um ligeiro aumento de pressão nas tubagens que

permite que a água nunca transite de estado, o que na realidade acontece já com a instalação existente.

Os gases de exaustão são provenientes da queima de gás natural, logo, podem ser utilizados até uma temperatura de 150 °C, designado de ponto de rosée, sem correremos o risco de corrosão dentro da chaminé, com a formação de ácido sulfúrico.

Define-se de forma generalista que gás natural apresenta a seguinte composição do hidrocarboneto equivalente:



Desprezando os constituintes dos gases de fumo em menor quantidade, e atendendo à temperatura média dos gases de escape definida no permutador ( $T \approx 500^\circ\text{C}$ ), consultando uma tabela de calores específicos em função da temperatura:

De acordo com a valores tabelados de [1]:

- $C_{p_{H_2O}} = 2,140 \text{ kJ/kg.K}$
- $C_{p_{CO_2}} = 1,160 \text{ kJ/kg.K}$
- $C_{p_{N_2}} = 1,127 \text{ kJ/kg.K}$
- $C_{p_{O_2}} = 1,05 \text{ kJ/kg.K}$

Sendo as frações mássicas de cada um dos produtos mais significativos da combustão as seguintes:

- $H_2O = 0,1048$
- $CO_2 = 0,0725$
- $N_2 = 0,7634$
- $O_2 = 0,05914$

Pelo que o calor específico dos gases de escape ( $T=500^\circ\text{C}$ ) é:

$$C_{p_{\text{gases de escape}}} = 1,23 \text{ kJ/kg.K}$$

Para os cálculos que se seguem a metodologia é a mesma.

### **Cálculo da viscosidade dinâmica**

Consultando uma tabela de viscosidade dinâmica, para a temperatura de 500°C tiramos que:

$$- \mu_{\text{H}_2\text{O}} = 290 \times 10^{-7} \text{ N.s/ m}^2$$

$$- \mu_{\text{CO}_2} = 340 \times 10^{-7} \text{ N.s/ m}^2$$

$$- \mu_{\text{N}_2} = 350 \times 10^{-7} \text{ N.s/ m}^2$$

$$- \mu_{\text{O}_2} = 420 \times 10^{-7} \text{ N.s/ m}^2$$

Assim, para os gases obtem-se uma viscosidade dinâmica de:

$$\mu_{\text{gases de escape}} = 347 \times 10^{-7} \text{ N.s/ m}^2$$

### **Cálculo da numero de Prandtl**

Consultando uma tabela de número de Prandtl, para a temperatura de 500°C observa-se que:

$$- \text{Pr}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,911$$

$$- \text{Pr}_{\text{CO}_2} = 0,746$$

$$- \text{Pr}_{\text{N}_2} = 0,722$$

$$- \text{Pr}_{\text{O}_2} = 0,701$$

Obtém-se um número de Prandtl de:

$$\text{Pr}_{\text{gases de escape}} = 0,742$$

### **Cálculo da condutividade térmica**

Consultando uma tabela de condutividade térmica, para a temperatura de 500°C obtem-se que:

$$- k_{\text{H}_2\text{O}} = 0,067 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$- k_{\text{CO}_2} = 0,053 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

-  $k_{N_2} = 0,054 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

-  $k_{O_2} = 0,062 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

E uma condutividade térmica de:

$$K_{\text{gases de escape}} = 0,056 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

### Cálculo da densidade

Consultando uma tabela de densidades, para a temperatura de  $500^\circ\text{C}$  observa-se que:

-  $\rho_{H_2O} = 0,28 \text{ kg/m}^3$

-  $\rho_{CO_2} = 0,69 \text{ kg/m}^3$

-  $\rho_{N_2} = 0,44 \text{ kg/m}^3$

-  $\rho_{O_2} = 0,5 \text{ kg/m}^3$

E uma condutividade térmica de:

$$\rho_{\text{gases de escape}} = 0,445 \text{ kg/m}^3$$

Os valores obtidos encontram-se na Tabela 4.1:

Perm (T=500°C)									
$C_{p_{H_2O}}$ [kJ/kg.K]	1,16	$\mu_{H_2O}$ [N.s/ m <sup>2</sup> ]	2,90E-05	$Pr_{H_2O}$	0,911	$k_{H_2O}$ [W/m°C]	0,067	$\rho_{H_2O}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,28
$C_{p_{N_2}}$ [kJ/kg.K]	1,05	$\mu_{CO_2}$ [ N.s/ m <sup>2</sup> ]	3,40E-05	$Pr_{CO_2}$	0,746	$k_{CO_2}$ [W/m°C]	0,053	$\rho_{CO_2}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,69
$C_{p_{H_2O}}$ [kJ/kg.K]	1,16	$\mu_{N_2}$ [N.s/ m <sup>2</sup> ]	3,50E-05	$Pr_{N_2}$	0,722	$k_{N_2}$ [W/m°C]	0,054	$\rho_{N_2}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,44
$C_{p_{N_2}}$ [kJ/kg.K]	1,05	$\mu_{O_2}$ [N.s/ m <sup>2</sup> ]	4,20E-05	$Pr_{O_2}$	0,701	$k_{O_2}$ [W/m°C]	0,062	$\rho_{O_2}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5
<b><math>C_{p_{\text{gases de escape}}}</math></b>	<b>1,2308</b>	<b><math>\mu_{\text{gases de escape}}</math></b>	<b>3,47E-05</b>	<b><math>Pr_{\text{gases de escape}}</math></b>	<b>0,742</b>	<b><math>K_{\text{gases de escape}}</math></b>	<b>0,056</b>	<b><math>\rho_{\text{gases de escape}}</math></b>	<b>0,445</b>

Tabela 4.1- Propriedades dos gases de escape nas diferentes situações [1]

De referir, ainda, a seleção do diâmetro dos tubos internos do permutador de calor. Optou-se pela utilização de tubos em aço inoxidável AISI 302, com diâmetro externo  $d_e = 85$  mm e diâmetro interno  $d_i = 80$  mm. As propriedades desse aço são as seguintes:

	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [kJ/kg.K]	$K$ [W/m <sup>2</sup> .K]	400°K	600°K	800°K	1000°K
AISI 302	8055	480	15,1	17,3	20	22,8	25,4

Tabela 4.2- propriedades do aço selecionado para as tubagens [1]

### Cálculo do $h_{GE}$

O primeiro passo refere-se ao cálculo do coeficiente de convecção dos fluidos. O coeficiente de transmissão de calor por convecção dos gases de exaustão,  $h_{GE}$ , é nos dado por [1]:

$$h_{GE} = \frac{k}{Dh} \times Nu$$

### Cálculo do número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times u \times Dh}{\mu} = \frac{0,445 \times 8,6 \times 0,08}{347e-7} = 8823$$

Onde Dh corresponde ao diâmetro interior do tubo.

Temos um Reynolds, com ordem de grandeza entre 2300 e 10000, logo o escoamento está num regime de transição.

### Cálculo do número de Nusselt

Dado que o regime do escoamento é de transição, é necessário recorrer à primeira e segunda equação de Petukhov [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} f = (0,790 \ln \text{Re} - 1,64)^{-2} = 0,02 \\ Nu = \frac{(f/8)(\text{Re}-1000) \text{Pr}}{1 + 12,7(f/8)^{0,5}(\text{Pr}^{2/3} - 1)} = 16,4 \end{array} \right.$$

Substituindo, na equação acima apresentada, tiramos o **hGE**:

$$h_{GE} = \frac{0,056}{0,08} \times 16,4 = 11,48 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

### Cálculo do hv

Para água partindo de valores tabelados estima-se um coeficiente de convecção hv = 500 W/m<sup>2</sup>°C.

Para tubos de aço estima-se também um valor para a condutibilidade térmica de k<sub>m</sub>= 63,9 W/m°C.

### Cálculo do coeficiente global de calor

Substituindo os valores obtidos anteriormente na fórmula para o cálculo do coeficiente global de calor, concluímos:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{gás}} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{k_m} + \frac{1}{h_{h20}}} = \frac{1}{\frac{1}{11,48} + \frac{0,06}{22,8} + \frac{1}{500}} = 7,52 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}$$

No permutador considera-se que não ocorrerá qualquer mudança de fase conforme já se havia referido anteriormente.

É possível, de seguida, calcular a potência térmica do permutador:

$$Q = \dot{m}_{\text{água}} \times cp \times \Delta t \Leftrightarrow P = 0.72 \times 1 \times (115 - 10) \Leftrightarrow P = 75.6 \text{ kW}$$

Onde:

- $\Delta t$  = Diferença de Temperatura da água fria (10°C) e água Quente (115°C)
- $\dot{m}_{\text{água}}$  = caudal mássico da água = 0.72 kg/s (máximo da tabela 3.5)
- $cp$  – Calor específico da água (1 Kcal/Kg °C)

Note-se que todos os cálculos vão ser propositadamente efetuados com base na situação de consumo de água quente mais elevada, pois deve garantir-se capacidade com margem de segurança para as situações extremas de consumo da fábrica.

A potência térmica calculada será igual à potência térmica que necessita de ser retirada aos gases de escape, pelo que a partir daí será possível obter o caudal mássico de gases de escape necessário para a nova instalação e, conseqüentemente, o caudal de gás natural necessário a utilizar num motor de combustão, ou seja, consumo de gás.

O motor de combustão e gerador serão selecionados no mercado com base no consumo, e a partir daí será possível obter a potência elétrica do motor.

Assim sendo, para aplicar a expressão anterior aos gases de escape, falta apenas calcular o  $cp$  a 500°C, uma vez que conforme explicado anteriormente a diferença de temperaturas será 500°C-150°C e  $P$  será 0.95x75.6 kW, pois deve multiplicar-se pela eficiência do permutador de calor que irá estimar-se de momento em 95%, valor de referência para permutadores de carcaça e tubos utilizados habitualmente no tipo de operação descrita.

Portanto,

$$P = \dot{m}_{\text{gás\_escape}} \times cp \times \Delta t \Leftrightarrow 75.6 / 0.95 = \dot{m}_{\text{gás}} \times 1.23 \times (500 - 150) \Leftrightarrow \dot{m}_{\text{gás\_escape}} = 0.18 \text{ kg/s}$$

Assim é possível utilizar o método NTU para dimensionar o permutador. Os dados de cálculo são os seguintes:

$T_{f,i}$  = Temperatura da água à entrada do economizador = 10°C

$T_{q,i}$  = Temperatura dos gases à entrada do economizador = 500°C

$T_{q,o}$  = Temperatura dos gases à saída do economizador = 150°C

$T_{f,o}$  = Temperatura da água à saída do economizador = 115°C

$m_f$  = caudal mássico da água = 0,72 kg/s

$m_q$  = caudal mássico dos gases de combustão = 0,18 kg/s

$c_{p,f}$  =  $C_p$ , água = 1 kJ/kg.K

$c_{p,q}$  =  $C_p$ , gases de escape = 1,23 kJ/kg.K

O número de unidades de transferência (NTU) é função da capacidade calorífica,  $C_v$ , e do rendimento,  $\varepsilon$ .

As taxas de transporte de capacidade calorífica são, respectivamente, para o fluido quente e frio:

-  $C_q = m_q \times C_{p,gases\ escape} = 0.18 \times 1,23 = 0,221 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ .

-  $C_f = m_f \times C_{p,agua} = 0,72 \times 1 = 0,72 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ .

Pode-se afirmar:

-  $C_{min} = C_q = 0,221 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ .

-  $C_{máx} = C_f = 0,72 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ .

Vem então:

$$C_v = C_{min} / C_{máx} = 0.22 / 0.72 = 0.31$$

A máxima potência calorífica possível  $Q_{max}$ , ou seja, aquela que poderia, em princípio, ser transferida num permutador em contra-corrente, se o seu comprimento fosse infinito, é [1]:

$$Q_{max} = C_{min} \times (T_{q,i} - T_{f,i}) = 84,7 \text{ kW}.$$

Comparando esta com a nossa potência temos um rendimento de [1]:

$$\varepsilon = Q / Q_{máx} = 75.6 / 84.7 = 0.89$$

Conhecendo o  $C_V$  e o  $\varepsilon$ , consultando uma tabela [1], retira-se o número de unidades de transferência, NTU:

$$C_V = 0,31$$

$$\varepsilon = 0,89$$

Para um permutador de uma carcaça, e uma passagem nos tubos considera-se com  $r=1$  e  $\varepsilon = 0,89$  encontra-se tabelado o seguinte valor:

$$NTU = 8$$

A área de transferência de calor ( $A$ ), considerando o coeficiente global de transmissão de calor, baseado na área da superfície do lado dos gases,  $U = 7,52 \text{ W/m}^2$ , é:  $0,23 \text{ m}^2$

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{\min}} \Leftrightarrow A = \frac{NTU \times C_{\min}}{U}$$

Pelo que se concluí que a área de transferência de calor são  $0,23 \text{ m}^2$ . Os parâmetros a apresentar a um fabricante de Permutadores de Calor são: a área de transmissão de calor no economizador de  $0,23 \text{ m}^2$  e o coeficiente global de transmissão de calor de  $7,52 \text{ W/m}^2$  [1].

#### 4.3 - Definição do sistema motor de combustão/gerador

Considera-se ainda que a reação de combustão será estequiométrica, ou seja, a proporção química de consumo molar de ar por consumo de combustível será de 1 para 1, o que em termos mássicos significa que por cada kg de gás natural consumido serão consumidos 17 kg de ar, o que significa que, segundo o princípio de conservação de massa, por cada kg de combustível consumido serão emitidos 18 kg de gases de escape.

Assim sendo o caudal de gás natural consumido será  $0,18/18 = 0,01\text{kg/s}$ . Transformando esse valor em kg por hora, obtém-se um valor de consumo  $36\text{ kg/h}$ . Uma vez que a densidade do gás natural em condições PTN (Pressão e Temperatura Normais) é de  $0,63\text{ kg/m}^3$ , tal significa que o consumo de gás é de  $57,14\text{ m}^3/\text{h}$ .

Irá calcular-se de seguida a Potência elétrica disponível, sendo esta a potência elétrica possível de ser produzida num gerador de combustão interna. Para esse fim irá calcular-se a energia disponível na quantidade de gás anteriormente calculada, e multiplicar essa energia pelo rendimento de um gerador elétrico industrial com motor de combustão interna, que se considera desde já como sendo de  $40\%$ , valor que se considera razoável tendo em conta a tecnologia existente no mercado.

Considera-se que a potência disponível é igual a  $P = Q \times \text{PCS}$  [1], onde

- $P$  = potencia térmica referente a razão/consumo de combustível em kcal/h
- $D$  = Consumo de combustível por hora
- $\text{PCS}$  = poder calorífico superior do combustível ( $\text{kcal/m}^3$ )

Uma vez que o PCS é um valor tabelado e que corresponde a  $10274\text{ kcal/m}^3$ , vem que  $P = 57,14 \times 10274 = 587053\text{ kcal/h}$ . Sabendo que  $1\text{ kwh} = 859,8456\text{ kcal}$  conclui-se que  $P = 683\text{ kW/h}$ . Multiplicando esse valor pelo rendimento do motor de combustão definido vem que, para o consumo estimado, a potência elétrica disponível será  $683 \times 0,4 = 273\text{ kW/h}$ .

Tendo em conta os cálculos efetuados foi analisado o mercado de modo a procurar soluções enquadráveis no definido.

Para o caso do gerador define-se com solução tecnicamente viável o gerador Caterpillar, ilustrado na Figura 4.3, com as características apresentadas na Tabela 4.3:

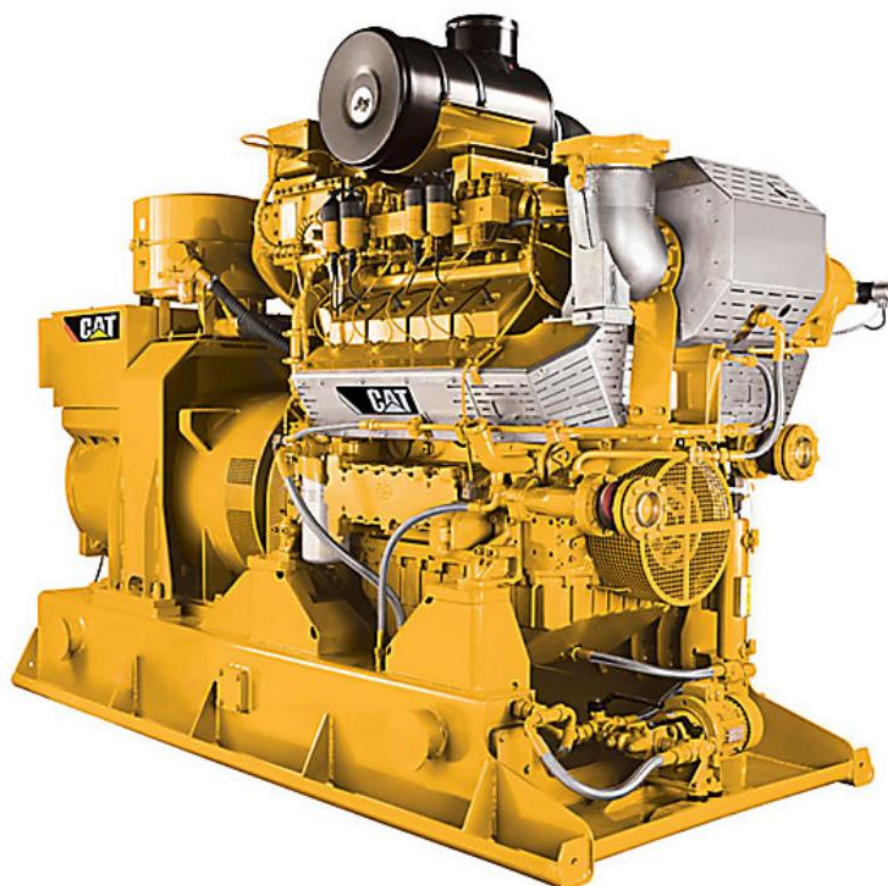


Figura 4.3 – Gerador Caterpillar CG132-8 (www.caterpillar.com)

<b>Especificação de Grupos Geradores a Gás</b>	
<b>Classificação Contínua Máxima</b>	<b>400 ekW</b>
<b>Tipo de Combustível</b>	<b>Gás Natural, Biogás, Gás de Carvão Gás Natural, Biogás, Gás de Carvão</b>
<b>Eficiência Elétrica Máxima</b>	<b>42.8%</b>
<b>Frequência</b>	<b>50 ou 60 Hz</b>
<b>rpm</b>	<b>1.500 ou 1.800 rpm</b>
<b>Especificações do Motor</b>	
<b>Modelo do Motor</b>	<b>CG132-8</b>
<b>Diâmetro Interno</b>	<b>5.2 pol 132.0 mm</b>

<b>Curso</b>	<b>6.3 pol 160.0 mm</b>
<b>Cilindradas</b>	<b>1068.0 pol 17.5 L</b>
<b>Aspiração</b>	<b>LE</b>
<b>Dimensão do Grupo Gerador</b>	
<b>Comprimento</b>	<b>122.0 pol 3090.0 mm</b>
<b>Largura</b>	<b>59.0 pol 1490.0 mm</b>
<b>Altura</b>	<b>86.0 pol 2190.0 mm</b>
<b>Grupo gerador de peso seco</b>	<b>10760.0 lb 4880.0 kg</b>

Tabela 4.3 - Características do gerador selecionado

Sublinhe-se que a potência do gerador é superior à necessidade calculada, no entanto, no catálogo consultado, esta é a potência mais aproximada das necessidades calculadas.

É importante também compreender que ao longo de todo o processo de cálculo foram sendo definidas algumas condições e suposições por vezes sobredimensionadas, pois considera-se que num projeto de dimensionamento é fundamental existir um fator de segurança. Assim o facto de o motor estar sobredimensionado é considerado não apenas aceitável, como também prudente e uma boa prática.

Evidentemente o sobredimensionamento tem um custo, e poderá discutir-se e questionar-se onde se encontra o limite entre o sobredimensionamento razoável para encontrar a viabilidade económica. No presente projeto considera-se que esse sobredimensionamento é o mais eficiente possível uma vez que para os valores de potência necessários se estão a seleccionar os equipamentos standard mais aproximados.

## 5- Análise de Viabilidade Económica

A fábrica em análise encontra-se numa fase de expansão, tendo recebido novos equipamentos e aumentado a sua capacidade produtiva, o que terá implicações num acréscimo de consumo de energia no ano de 2016.

Esse aumento não é possível de mensurar por enquanto, por esse motivo, para simplificação da análise, define-se como estimativa que o consumo médio mensal de energia, nas suas diferentes formas definidas no sub-capítulo 3.2, será igual ao consumo máximo de energia no ano de 2015.

Para efeito de análise de viabilidade irão comparar-se duas situações distintas: Situação I – Consumos da Instalação Existente estimado para 2016; Situação II – Consumos da Instalação concebida estimado para 2016, estimando uma tarifa de 0.071 €/m<sup>3</sup> de gás natural e 0.10 €/kWh de eletricidade.

### 5.1 – Estimativas de Consumo para 2016

#### Situação I

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
Electricidade	kWh	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	1599995	19199940
0,000215	Tep	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	4128
	€	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	162.176 €	1.946.112 €

Tabela 5.1 – Estimativa de Consumo de Eletricidade em 2016 (Situação I)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Total de Gás Caldeiras [m3]	18405	18405	18405	18405	18405	18405	18405	18405	18405	18405	18405	18405
Total de Gás Caldeiras [€]	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755	1306,755
Potência Térmica [Kcal]	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925
Volume de água Quente [m <sup>3</sup> ]	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60
Caudal de água Quente [m <sup>3</sup> /h]	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
Caudal de água Quente [kg/s]	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

Tabela 5.2 – Estimativa de Consumo de Gás e água quente em 2016 (Situação I)

## Situação II

No caso da situação II a estrutura de consumo energético será diferente pois com a nova instalação irá consumir-se mais gás, mas irá produzir-te também energia elétrica. Considera-se que a energia elétrica produzida será para autoconsumo, pelo que o valor de eletricidade produzida será subtraído diretamente do consumo atual de eletricidade da rede elétrica. Esta opção prende-se com o facto de a legislação para a cogeração se ter alterado significativamente nos últimos anos o que, segundo dados da Cogen, inviabilizou várias instalações de cogeração em Portugal, pois o preço do kWh vendido não é suficientemente elevado.

No caso em estudo não há necessidade de vender essa eletricidade pois a unidade fabril é uma consumidora intensiva de energia, de tal modo que a energia elétrica produzida ficará muito aquém das necessidades reais da fábrica, que apesar da nova instalação terá de continuar a comprar eletricidade proveniente da rede elétrica.

Com esta estratégia, e tendo conta os fatores anteriormente descritos, prevê-se existir uma estrutura de custos otimizada pois, pode afirmar-se que o valor de venda da eletricidade será o mesmo do valor de compra de um consumidor, o que significa que se pode considerar que estão a ser absorvidas as margens dos distribuidores de eletricidade.

Para efeitos de cálculo do valor de eletricidade irá multiplicar-se o valor da potência elétrica definida anteriormente, pelo número de horas de trabalho mensais na fábrica de modo a obter o número de kWh consumidos mensalmente. Para esse efeito considera-se que mensalmente existem 22 dias de trabalho em laboração contínua de 24h/dia, o que representa 528 horas de trabalho por mês.

Conforme definido no subcapítulo 4.3 a potência elétrica será de 273 kW/h, o que multiplicado pelas 528 horas de trabalho mensais significa 144144 kWh de produção de eletricidade.

Por outro lado, conforme referido também no subcapítulo 4.3, o consumo estimado de gás para o funcionamento da instalação concebida é de 57.14 m<sup>3</sup>/h, o que multiplicado pelas 528 horas de trabalho mensal corresponde a um consumo de 30169.92 m<sup>3</sup>/mês. Assim apresentam-se abaixo as tabelas de consumos estimados em 2016 com sistema proposto:

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
Electricidade	kWh	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	1455851	17470212
0,000215	Tep	313	313	313	313	313	313	313	313	313	313	313	313	3756
	€	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	145.585 €	1.747.021 €

Tabela 5.3 – Estimativa de Consumo de Eletricidade em 2016 (Situação II)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Total de Gás Caldeiras [m <sup>3</sup> ]	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92	30169,92
Total de Gás Caldeiras [€]	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06	2142,06
Potência Térmica [Kcal]	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925	143282925
Volume de água Quente [m <sup>3</sup> ]	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60	1364,60
Caudal de água Quente [m <sup>3</sup> /h]	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
Caudal de água Quente [kg/s]	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

Tabela 5.4 – Estimativa de Consumo de Gás e água quente em 2016 (Situação II)

Com base nas tabelas de Estimativa anteriores conclui-se será gerado mensalmente uma poupança financeira quando comparada a Situação II com a Situação I.

Excluindo os custos de manutenção da operação, que serão abordados posteriormente, para efeitos de comparação de custos energéticos irão calcular-se o custo total de energia para ambas as situações.

Uma vez que o consumo de águas quentes é idêntico em ambas as situações, irão avaliar-se os ganhos apenas com base nos custos de gás natural e eletricidade, tendo em conta também os pressupostos descritos anteriormente.

Deste modo define-se que, para efeitos de cálculo de ganhos, o Custo de Consumo de Energia (CCE) corresponde ao custo de consumo de gás natural adicionado ao custo de consumo de eletricidade.

A Tabela 5.5 representa o valor do CCE para a Situação I e II, calculados com base nas Tabelas 5.1 a 5.4. A linha que representa o Ganho corresponde à diferença do CCE entre a Situação I e II.

É relevante afirmar que a expectativa inicial de poupança se comprova, no entanto, não ainda indicativa da viabilidade efetiva do projeto pois para que tal consume é incontornável avaliar os custos de investimento e operação associados a um conjunto de equipamentos com a natureza descrita.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
Situação I	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	163.482,76 €	1.961.793,06 €
Situação II	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	147.727,16 €	1.772.725,97 €
Ganho	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	15.756 €	189.067 €

Tabela 5.5 – Estimativa de de Ganho comparativo entre a Situação I e Situação II

## 5.2 – Análise de Custos de Investimento e Operação

Fazendo um resumo das necessidades de investimento, com base no esquema da Figura 4.1, conclui-se que os principais equipamentos a adquirir serão um Gerador de Combustão interna e um permutador de calor, ambos definidos tecnicamente no Capítulo 4 do presente trabalho.

No entanto, uma instalação desta complexidade, exige a instalação de infraestruturas e e equipamentos de apoio, como eletrônica de controle, cabos elétricos, tubagens, entre outros, que não irão ser descritos aqui em detalhe. Todos esses equipamentos irão ser incluídos na rubrica de obra, que contemplará todos os valores necessários à instalação dos equipamentos, como por exemplo, construção civil de fundações para suporte dos mesmos, alterações de salas, abertura de paredes para passagem de tubagens e cablagens, calhas e valas técnicas, entre outros.

Um ponto de elevada relevância passa também por explicar que esta instalação irá substituir a instalação de caldeiras existente, o que significa que as caldeiras atuais poderão ser vendidas enquanto equipamentos usados, com um valor de mercado que irá definir-se. Importante também é ter em mente que a atual instalação de caldeiras possui um custo de manutenção da operação que irá ser eliminado com a eliminação das caldeiras atuais.

Existe ainda outra vantagem não referida até ao momento, e que irá surgir com esta instalação. A fábrica possui um gerador de emergência a gasóleo que tem como função garantir que, em caso de falha de eletricidade, alguns equipamentos críticos, como os fornos de fundição, continuam a ser alimentados por questões de segurança. Uma vez que, com a nova instalação, a fábrica poderá produzir eletricidade de forma independente da rede elétrica, o gerador de emergência deixa também de ser necessário e irá considerar-se que poderá ser também vendido, de forma análoga às

caldeiras, eliminando também os custos de manutenção deste equipamento e a necessidade de abastecimento de gásóleo na fábrica, que apenas servia para esse fim. Refira-se que se entende estarem garantidas todas as questões de segurança com esta opção de substituição do gerador de segurança, pois em termos de conceito de funcionamento um gerador a gás garante fiabilidade e disponibilidade semelhante a um gerador de gásóleo, sendo que graças à nova instalação a capacidade de gerar energia eléctrica de forma independente será aumentada.

Exclui-se também para efeitos de cálculo o consumo de gásóleo por se considerar residual.

Com base nos em contactos efetuados a fornecedores estimam-se os valores de Investimento e Operação descritos na Tabela 5.6

<b>CAPEX</b>	Gerador Caterpillar	250.000 €
	Permutador de calor	50.000 €
	Obra	100.000 €
	Venda de caldeiras	-30.000 €
	Venda de Gerador de emergência	-20.000 €
	<b>Total</b>	<b>350.000 €</b>
<b>OPEX</b>	Custos Anuais de Manutenção nova Instalação	15.000 €
	Custos Anuais de Manutenção de caldeiras	-2.000 €
	Custos Anuais de Manutenção de gerador de emergência	-4.000 €
	<b>Total</b>	<b>9.000 €</b>

Tabela 5.6 – CAPEX e OPEX estimados para a nova instalação

### 5.3 – Cálculo do Retorno de Investimento

Para análise de viabilidade económica irá efetuar-se em primeiro lugar o cálculo da Rendibilidade do Investimento para concretizar a instalação, o “Return on Assets” (ROA) porque todo o investimento realizado será expresso contabilisticamente como

um Ativo. Uma vez que a empresa em questão tem elevada liquidez, realiza todos os seus investimentos com recurso a Capitais Próprios, pelo que para efeitos de cálculo não é necessário considerar o financiamento por Capital Alheio.

No entanto, o critério de aceitação de novos investimentos é também muito rigoroso e criterioso e, devido a uma política de utilização de capitais próprios para investimentos, a empresa geralmente apenas aprova investimentos de melhoria de sistemas com tempo de retorno de investimento inferior a um ano, com exceção de investimentos considerados estratégicos ou com outros tipos de ganhos intangíveis.

Por este motivo todos os cálculos efetuados de seguida serão feitos com base em indicadores anualizados, desprezando qualquer taxa sobre uma capital por se tratarem de capitais próprios para os quais não há qualquer indicação. Consideram-se ainda os cálculos efetuados a preços constantes.

Assim, utiliza-se o ROA [4]:

$$\text{ROA} = \frac{\Delta \text{Resultado Operacional}}{\Delta \text{Investimento em Activos}}$$

Com base nos cálculos anteriores, temos de determinar a variação dos Resultados Operacionais após impostos, considerando os ganhos e as despesas operacionais, os custos contabilísticos com as depreciações e a taxa de impostos sobre o rendimento.

Para as depreciações foi considerado um período de vida útil de 10 anos representado pela letra  $n$ , conforme aplicação do Decreto Regulamentar n.º 25/2009, de 14 de Setembro, respeitante ao Regime de Depreciações e Amortizações; e uma taxa de Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas (IRC) de 21% representada pela letra  $t$ .

Tem-se, então, como variação anual do Resultado Operacional líquido a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \Delta \text{Resultado Operacional líquido} &= \Delta RO \times (1 - t) + \text{Depr.} \times t \\ 189.067\text{€} \times (1 - 0,21) + \frac{350.000\text{€}}{10} \times 0,21 &= 149.603\text{€} \end{aligned}$$

Aplicando os valores à fórmula do *ROA* :

$$ROA = \frac{149.603\text{€}}{350.000\text{€}} = 0,4274 = 42,74\%$$

A variação do Resultado Operacional líquido ir-se-á repetir ao longo dos 10 anos previstos como período de vida útil do equipamento, sendo por isso possível determinar o seu Valor Atual recorrendo à fórmula da renda a 10 anos com termos inteiros, e uma taxa de atualização (*r*) de 20% como medida de prudência:

Utiliza-se então o Valor Atual Líquido (VAL) definido em [4]:

$$VAL = -\text{Investimento} + \Delta\text{Resultado Operacional líquido} \times \left( \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \right)$$
$$VAL = -350.000\text{€} + 149.603\text{€} \times 4,1925 = 277.210\text{€}$$

Por fim a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) com base nos pressupostos utilizados no cálculo do VAL, como [4]:

$$0 = -\text{Investimento} + \Delta\text{Resultado Operacional líquido} \times \left( \frac{1 - (1+TIR)^{-n}}{TIR} \right) \Leftrightarrow TIR = 41,41\%$$

Finalmente irá ainda avaliar-se o período de retorno de investimento. O período de retorno de investimento pode considerar-se como o período de tempo que é necessário para obter o retorno de todos os capitais investidos.

Consideraremos para tal que o Lucro operacional se mantém constante ao longo do tempo. Uma vez que o investimento total considerado é de 350.000 € e o acréscimo de resultado operacional anual é de 149.603€ serão necessários pouco mais de 2 anos para obter o retorno de investimento, considerando preços constantes.

Analisando os cálculos efetuados observa-se primeiro um valor elevado de ROA, perto dos 42%, que indicia que o retorno é elevadíssimo. O ROA é habitualmente utilizado para selecionar e comparar investimentos pelo que para se ter um termo de comparação real imagine-se que em vez de se adquirir a infraestrutura em questão se colocariam os 350.000€ de CAPEX num banco a uma taxa líquida de 2%. Esse investimento comparativo, após efetuar os cálculos, revelaria um ROA de 1%,

incomparavelmente inferior ao que se obteve, o que indica que comparativamente a uma aplicação bancária este é um investimento de elevadíssima rentabilidade.

O valor atual líquido (VAL) estima o valor atual dos capitais utilizados e recebidos num determinado investimento e foi calculado para um período de vida útil do investimento de 10 anos. O valor encontrado é positivo e elevado, o que nos indica que este é um investimento economicamente viável.

Igualando o VAL a zero podemos calcular a TIR, que é a taxa interna de retorno, e que nos indica a taxa com que o investimento retribui o seu capital de forma percentual, que acaba por ser muito mais perceptível que o VAL. Sendo a TIR de 41% significa que se obtém uma rentabilidade elevadíssima da infraestrutura. Comparando esses 41% com os 2% de juros que se podem esperar de uma aplicação bancária nos tempos atuais verifica-se que este é um investimento de elevado retorno em termos comparativos.

Finalmente considerámos um período de retorno de pouco menos de 3 anos para recuperar os capitais investidos. Geralmente este é um valor excelente, até porque a amortização de equipamentos é usualmente definida para um período de 4, o que significa que nesta situação se falaria de cerca de  $\frac{3}{4}$ , desprezando ainda qualquer valor residual.

## 6- Conclusão

O presente estudo teórico é singular pela sua originalidade pois, apesar de a cogeração ser sobejamente conhecida, não é do conhecimento do autor que exista alguma fábrica de torneiras que possua uma configuração semelhante à proposta. É habitual encontrar instalações de cogeração em indústrias papeleiras, vidreiras, cerâmicas, entre outras, mas não em indústrias de cariz metalomecânico como é o caso da fábrica de torneiras descrita.

Por esse motivo admite-se que, uma vez que não existe conhecimento de instalações similares em operação, possam existir detalhes eventualmente não contemplados, e que em caso de instalação efetiva do investimento possam originar desvios aos valores de financiamento anteriormente propostos. Apesar disso, consideram-se todas as estimativas e cálculos efetuados suficientemente realistas para efetuar uma avaliação efetiva da viabilidade do projeto.

É extremamente relevante realçar que, na ótica do autor, esta singularidade surgiu com uma Tese de Mestrado em Gestão. Após um período significativo de serviço em várias indústrias por vários locais do mundo, é a visão do autor de que as restrições tecnológicas deixaram em muitas circunstâncias de ser as verdadeiras restrições à introdução de novos projetos. Graças à globalização e ao aumento de competitividade, os melhores projetos técnicos deixam muitas vezes de ser os melhores projetos por serem os piores projetos financeiros.

Assim, a noção da realidade financeira no âmbito da engenharia, em particular da gestão industrial, é incontornável e permite gerar ideias inovadoras, como aquela aqui descrita, que surgiu principalmente sob a motivação de objetivos financeiros.

A resposta à questão colocada na descrição do Problema no início, acerca da existência de viabilidade técnica e económica ao investimento é um claro sim.

A tecnologia existente no mercado permite atingir os objetivos propostos e os indicadores económicos mostram valores extremamente interessantes, sublinhados por um período de retorno do investimento de pouco menos de 3 anos.

No entanto, a política de investimentos da empresa é muito rigorosa, o que leva a que atualmente apenas se aprovem investimentos com período de retorno de um ano, com exceção de investimentos estratégicos. Assim se considera este, que por motivos descritos anteriormente poderá reduzir de forma sustentável custos incorporados nos

produtos, alinhando-se com uma política de redução de consumo energético cada vez mais prioritária na União Europeia e no mundo.

A aplicação deste trabalho poderá ainda abrir ótimas oportunidades para o futuro do grupo empresarial, que tendo várias fábricas no mundo poderá multiplicar os ganhos através da eventual aplicação global da solução.

## **Bibliografia**

- [1] - Çengel, Yunus A., “Heat Transfer: A Practical Approach”, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill Higher Education, 2003.
- [2] - Incropera, F.P. and DeWitt, D.P., “Fundamentals of heat transfer and Mass Transfer”, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, 1985.
- [3] - Figueiredo, Rui e Costa José, Raimundo António “Apontamentos de Transmissão de calor”, FCTUC, 1993.
- [4] – Ross, Westerfield, Jaffe, “Corporate Finance”, 6<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2003
- [5] - Adriano Luís, Gameiro António, “Mecânica dos Fluidos, 1<sup>dra</sup> ed., ETEP- Lidel, 2006.
- [6] - Çengel, Yunus A., “Termodinâmica”, 5<sup>ta</sup> ed., McGraw-Hill Higher Education, 2003.