



U.C.

Revisão Crítica de uma Auditoria Energética e de um Plano de Racionalização de Consumos

LUIS GUILHERME DE SOUSA BENTO

AGOSTO DE 2011



U.C.

Dissertação Submetida à Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre
em Energia para a Sustentabilidade

Revisão Crítica de uma Auditoria Energética e Plano de Racionalização de consumos

ORIENTADORES:

- **Professor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**
- **Professor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro**

JURI:

- **Professor Nuno Albino Vieira Simões**
- **Professor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**
- **Professor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro**
- **Professor Humberto Manuel Matos Jorge**

LUIS GUILHERME DE SOUSA BENTO

AGOSTO DE 2011

AGRADECIMENTOS

As minhas primeiras palavras de agradecimento terão de ir para os meus supervisores, o professor José Baranda e o professor Adélio Gaspar. Foram eles que em primeiro lugar me incentivaram a levar este tema para a fase de escrita e que nos momentos de maiores dificuldades me sugeriam o caminho a seguir.

Aos meus familiares mais próximos, meus pais, minha esposa e minha filha, devo agradecer a compreensão e o incentivo que me deram para conseguir concluir o trabalho a que me tinha proposto, á custa de muitas horas de ausência da sua companhia.

RESUMO

A ideia do presente trabalho começou no ano de 2007, após a realização de uma Auditoria Energética a uma empresa do ramo alimentar. Uma vez que o autor é colaborador dessa empresa, nas áreas de Matadouro e Manutenção Fabril, desde logo se questionou sobre os resultados obtidos pela equipa de auditores, assim como pelas propostas de melhoria/implementação da referida equipa.

O presente trabalho pretende ser uma análise crítica a uma Auditoria Energética e ao seu Plano de Racionalização de Consumos. Não pretende ser uma “correção” a um trabalho, mas sim um complemento e uma nova abordagem do mesmo, de forma a retirar daí uma mais-valia para a empresa, assim com uma mais-valia para o ambiente.

Por definição, uma Auditoria Energética deverá ser um levantamento e análise crítica das condições de utilização da energia, com vista à detecção de oportunidades de racionalização de energia, através de medidas com viabilidade técnico-económicas aliciantes.

Qualquer processo de gestão de energia terá necessariamente que começar pelo conhecimento da situação energética da instalação. O princípio pelo qual nos devemos reger é “ para gerir é fundamental conhecer o objecto de gestão”.

Com uma análise comparativa de dados espaçados no tempo, pretendemos compreender quais os esforços que deram fruto e quais são aqueles onde um novo rumo terá de ser traçado. Pelo facto do autor deste trabalho conhecer bem as instalações, os seus processos de fabrico e os seus “vícios energéticos”, pode trazer uma melhor capacidade de análise e de soluções para o problema energético.

ABSTRACT

Back in 2007 began the idea of this work, after making an energy audit of a company of the food sector. Since the author is a collaborator of the same company, in the manufacturing area and factory maintenance, ever since wondered about the results presented by the audit team, as well as their improvement/implementation proposals.

This work is meant to be a critical analysis to an energy audit and its consumption rationalization plan. In the other hand, it doesn't intends to be "correction" to a specific "paper", but a complement and a new approach to this very same work, so that it will result in an asset for the company and as well as an added value to the environment.

In order to give a valid definition an energy audit must be a survey and critical analysis of the ways energy usually is used, in terms to observe and identify opportunities for rationalization of energy through measures more attractive with technical and economic viability.

Any management process of energy will necessarily have to begin with an understanding of the energy situation of the installation. The principle by which we must rule is: « in order to manage is essential to know the object of management. »

A comparative data analysis though time sequence, is the instrument used to understand which the measures that brought assets for the company are and which need to be changed, in swot analysis: which are Strong, or Weak or Opportunities or even Threats. As the author is a co-worker at the facility and has a good knowledge of the plant, its manufacturing process and it's "energy errors" can brought up a better analysis capabilities and solutions to this problem of energy consumption.

Índice

PARTE I.....	11
1- CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DEFINIÇÃO DOS OBJECTIVOS.....	12
1.1- Auditorias Energéticas	12
1.2- Caracterização da empresa.....	12
1.3- Objectivos.....	14
2- CONSUMOS ENERGÉTICOS EM 2006	16
3- MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA IMPLEMENTADAS ATÉ 2010.....	23
4- CONSUMOS ENERGÉTICOS EM 2010	27
5- SISTEMA DE FRIO.....	34
5.1- Necessidades energéticas.....	34
5.2- Detalhes do funcionamento da unidade de frio.....	36
6- MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICAS PROPOSTAS PARA 2011.....	42
PARTE II	45
7- SISTEMAS DE COGERAÇÃO E TRIGERAÇÃO.....	46
7.1- Vantagens da adopção de um sistema de cogeração ou trigeração.	46
7.2- “Prime Movers” ou máquinas térmicas para sistemas de cogeração	48
7.3- Legislação em vigor.....	50
7.4- Princípio de Funcionamento.....	53
7.5- Estimativas de custos e benefícios.....	55
8- CONCLUSÃO	62
BIBLIOGRAFIA.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁG.
Figura 1	Vista aérea da unidade industrial	13
Figura 2	Organograma da empresa	14
Figura 3	Viaturas de distribuição equipadas com motores de frio	18
Figura 4	Unidade de produção de vapor	19
Figura 5	Chamusco automático para suínos	19
Figura 6	Compressor de amoníaco de marca Quiri	20
Figura 7	Condensadores a água, do sistema de refrigeração	21
Figura 8	Unidade de ar comprimido com variador de velocidade	24
Figura 9	Depósito de retorno de condensados e economizador	25
Figura 10	Sistema de bombagem de água dotado de VEV	26
Figura 11	Compressor alternativo marca QUIRI com 8 cilindros	37
Figura 12	Esquema de funcionamento de um condensador evaporativo [9]	39
Figura 13	Condensadores de amoníaco com funcionamento a água	39
Figura 14	Ciclo de refrigeração. Fonte Wikimedia	40
Figura 15	Esquema de circuito de refrigeração multipressão [8]	40
Figura 16	Exemplo de comparação entre produção convencional e cogeração [8]	46
Figura 17	Esquema de funcionamento da unidade de trigerção	47
Figura 18	Sistema de refrigeração por absorção [14]	53
Figura 19	Comparação entre os ciclos por compressão e por absorção [14]	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

		PÁG
Gráfico 1	Representação gráfica dos vários tipos de energia gastos	16
Gráfico 2	Representação gráfica da distribuição percentual dos gastos energéticos	17
Gráfico 3	Representação gráfica da distribuição percentual dos custos energéticos	17
Gráfico 4	Representação gráfica dos vários tipos de energia gasta em 2010	27
Gráfico 5	Representação gráfica da distribuição percentual dos gastos energéticos em 2010	28
Gráfico 6	Representação gráfica da distribuição percentual dos custos energéticos em 2010	28
Gráfico 7	Representação gráfica da variação do consumo durante as 24 horas do dia 15	31
Gráfico 8	Representação gráfica da variação dos consumos durante as 24 horas do dia 21-02-2011	33
Gráfico 9	Representação gráfica do consumo de gás natural nos dois dias referenciados, com volume de abate diferente	33
Gráfico 10	Distribuição do consumo energético de um sistema de frio [9]	35
Gráfico 11	Curva de consumo energético de um compressor alternativo [10]	37
Gráfico 12	Curva de consumo energético de um compressor de parafuso [10]	38
Gráfico 13	Curva de consumo energético de um compressor centrífugo [10]	38

ÍNDICE DE TABELAS

		PÁG
Tabela 1	Tabela de consumos energéticos de 2006	16
Tabela 2	Características da unidade de produção de vapor	18
Tabela 3	Desagregação de consumos de energia na instalação por sectores de fabrico	22
Tabela 4	Tabela de consumos energéticos de 2010	27
Tabela 5	Tabela comparativa da energia primária consumida	28
Tabela 6	Desagregação dos consumos energéticos na instalação por sector em 2010	30
Tabela 7	Tabela de consumo de gás natural do dia 15-02-2011	31
Tabela 8	Tabela de consumos de gás natural do dia 21-02-2011	32
Tabela 9	Características operacionais e custos típicos dos diferentes tipos de sistemas de cogeração [13]	49
Tabela 10	Tabela de consumos de gás natural/trabalho de gerador de vapor	55
Tabela 11	Características do motor de cogeração	56
Tabela 12	Tabela comparativa do simulador COGEN – Dados Base	59
Tabela 13	Tabela comparativa do simulador COGEM – Cálculos de Rentabilidade	59
Tabela 14	Tabela comparativa do simulador COGEM – Resultados	60

LISTA DE ACRÓNIMOS

AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CIE	Consumidores intensivos de energia
COP	Coefficiente de performance
EDP	Electricidade de Portugal
EFF	Classificação de eficiência de motores eléctricos
GN	Gás natural
PCI	Poder calorífico inferior
PREn	Planos de racionalização de consumos de energia
PT	Posto de transformação
REE	Rendimento eléctrico equivalente
SENV	Sistema eléctrico não vinculado
SEP	Sistema eléctrico público
SGE	Sistema gestão de energia
TEP	Tonelada equivalente de petróleo
VEV	Variador electrónico de velocidade

PARTE I
REVISÃO CRÍTICA DA AUDITORIA
ENERGÉTICA E PLANO DE
RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMOS

1- CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DEFINIÇÃO DOS OBJECTIVOS

1.1- Auditorias Energéticas

Um dos pilares da Gestão é “ não se consegue gerir o que não se conhece”. Esta mesma afirmação é aplicável à Gestão de Energia. De facto, a energia é um bem e, por isso, deve ser optimizado. Mas uma Auditoria Energética pode também constituir uma obrigação legal. O Decreto-Lei nº 71/2008 de 15 de Abril regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia, com o objectivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia. Essas instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE), caracterizam-se pelo facto de terem tido um consumo energético superior a 500 Toneladas Equivalentes de Petróleo (500 Tep/ano).

Mas o principal objectivo que se deve ter em conta quando se realiza uma auditoria energética é obter o maior conhecimento possível da energia consumida, planear e implementar os Planos de Racionalização de Consumos com o intuito de aumentar a eficiência global da instalação.

O operador de instalações CIE deve cumprir algumas obrigações legais:

- Promover o registo das instalações;
- Efectuar auditorias energéticas que avaliem todos os aspectos relativos à promoção do aumento global da eficiência energética;
- Elaborar Planos de Racionalização de Consumos de Energia (PREn);
- Executar e cumprir os PREn aprovados, sob a responsabilidade técnica de um técnico credenciado.

Por estas razões, e pelo facto de a empresa em estudo ser uma CIE, pareceu-me oportuno o estudo e avaliação crítica da primeira Auditoria Energética aí realizada.

1.2- Caracterização da empresa

A Principal actividade dessa empresa é o abate e transformação de carne.

No presente momento a empresa conta com cerca de 175 trabalhadores, divididos por várias funções e períodos de trabalho. A mesma labora desde as 6 até às 17:30 horas,

com um turno de laboração, tendo a parte da distribuição e cargas o horário desfasado, operando das 16 às 02 horas.

A unidade industrial é composta por um edifício de dois andares. No rés-do-chão encontra-se a zona fabril e no 1º andar os serviços administrativos, laboratório, refeitório e piso técnico da unidade fabril.

A instalação tem uma área coberta de 7000 m² e uma área descoberta de 40160m². As actuais instalações datam do ano de 1991, pelo que contam já com 20 anos de idade, com todas as desvantagens que decorrem desse facto.



Figura 1 - Vista aérea da unidade industrial.

A empresa aposta na melhoria contínua, e no aumento de vendas no mercado, tendo a melhor rentabilidade possível. Para isso conta com uma capacidade produtiva e organizacional traduzida no seguinte organigrama:

A nível operacional a empresa é composta da seguinte forma:

- Recepciona mercadorias diversas para o seu trabalho;
- Recepciona animais vivos para abate e transformação;
- Processo de abate;
- Processo de desmancha de animais provenientes do abate interno e de mercadorias recepcionadas;
- Fabrico de preparados de carne;

- Fabrico de cozidos e fumados;
- Fabrico de cozidos;
- Embalagem de produtos confeccionados;
- Frota de transporte própria para entrega de produtos finais e força comercial;
- Manutenção interna de equipamentos e viaturas auto;
- Procedimento de limpeza de materiais e máquinas de produção;
- Serviços administrativos.

Estes sectores, de formas distintas, são os consumidores de energia existentes na empresa. São eles os responsáveis pelos gastos energéticos e são eles também os alvos de formação e consciência racional sob a forma como utilizam os recursos energéticos.

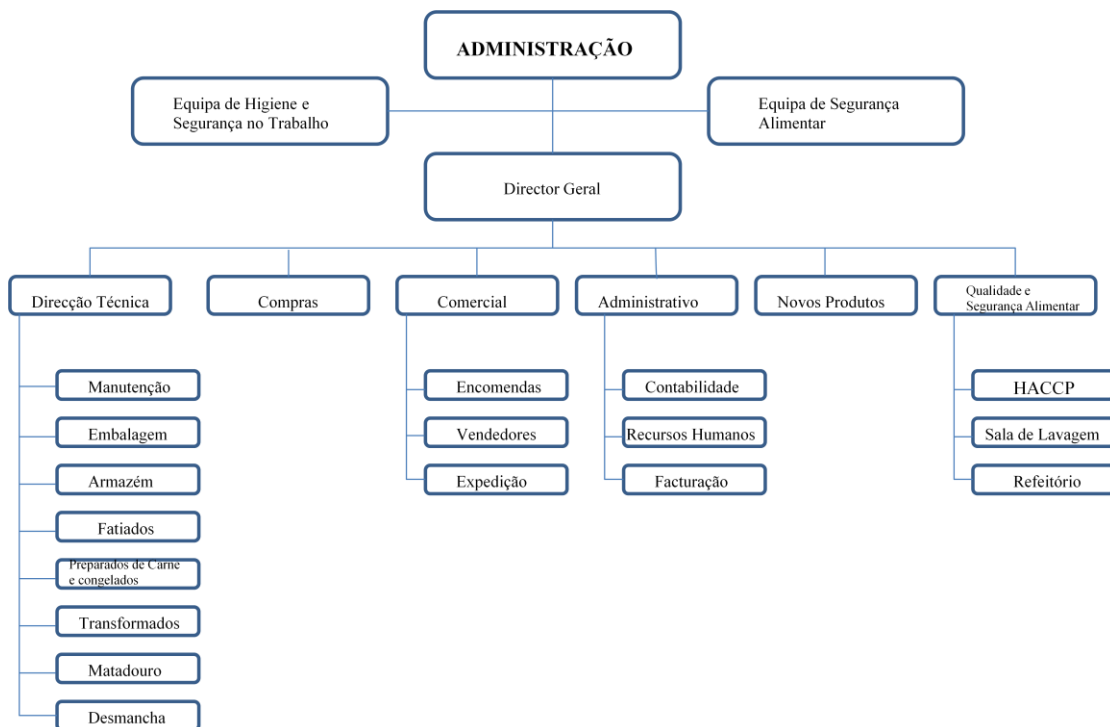


Figura 2 - Organograma da empresa

1.3- Objectivos

O presente trabalho tem por objectivo analisar os dados de uma auditoria energética realizada em 2007, referentes aos consumos energéticos do ano de 2006, verificar as formas e as energias consumidas assim como as melhorias propostas e implementadas

em 2007 e 2008 e fazer o paralelismo para o ano de 2010. Desta forma podemos analisar e qualificar as medidas implementadas.

A empresa em causa é consumidora de energia eléctrica, gás natural, gasóleo e lenha. No ano de referência inicial 2006, esta empresa consumiu 1184,24 tep, correspondendo em termos de custos, a um total de 606 884,4 Euros.

O objectivo de análise do consumo quantitativo e qualitativo da energia é o de permitir à empresa melhorar os conhecimentos da forma como aproveita/gasta/desperdiça os recursos energéticos disponíveis. Só através de um conhecimento detalhado dos consumos se poderá corrigir os excessos e desperdícios encontrados.

O objectivo final do trabalho será apresentar uma proposta de racionalização energética de longo termo que traga benefícios económicos e técnicos para a instalação em causa. Desta forma será apresentada uma simulação para implementação de um sistema de Trigerção, com o intuito de melhorar os custos da energia térmica necessária nos processos de fabrico.

2- CONSUMOS ENERGÉTICOS EM 2006

No ano de 2007 a empresa realizou uma auditoria energética, referentes aos gastos energéticos do ano de 2006. Daí para cá houve algumas alterações no processo de fabrico, algumas correcções a procedimentos menos correctos e um aumento da produção da empresa. Estes quatro anos de intervalo são já suficientes para se poder analisar as alterações introduzidas e talvez indicar outras medidas a introduzir.

Assim devemos de introduzir em primeiro lugar os consumos registados no ano de 2006.

Forma de Energia	Unidades de Facturação	Unidades de Energia Primária	% sobre energia Total	Custos Energéticos (Euros)	% dos custos Energéticos	Custo por Unidade
Energia Eléctrica	2587293 KWh	556,3 Tep	47,0	186634,7	30,75%	0,0721€/KWh
Gás Natural	342570 m3	310,04 Tep	26,20	139968,0	23,06%	0,408€/m3
Gasóleo	273,128 ton	269,89 Tep	22,8	265442,0	43,74%	971,86€/ton
Lenha	174,585 ton	48,01 Tep	4,0	14839,7	2,45%	85€/ton

Tabela 1 - Tabela de consumos energéticos de 2006

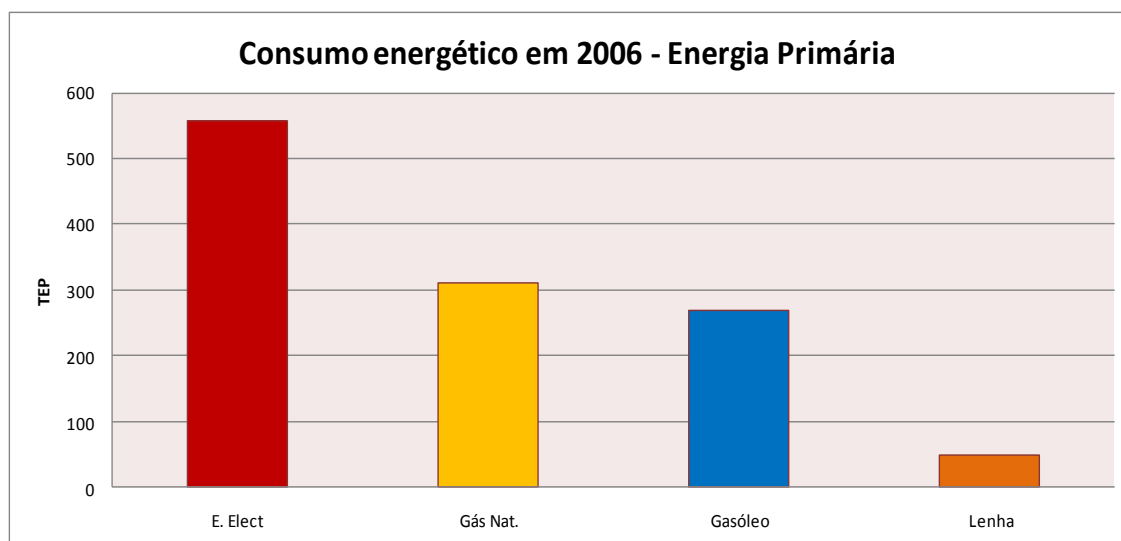


Gráfico 1 - Representação gráfica dos vários tipos de energia gastos

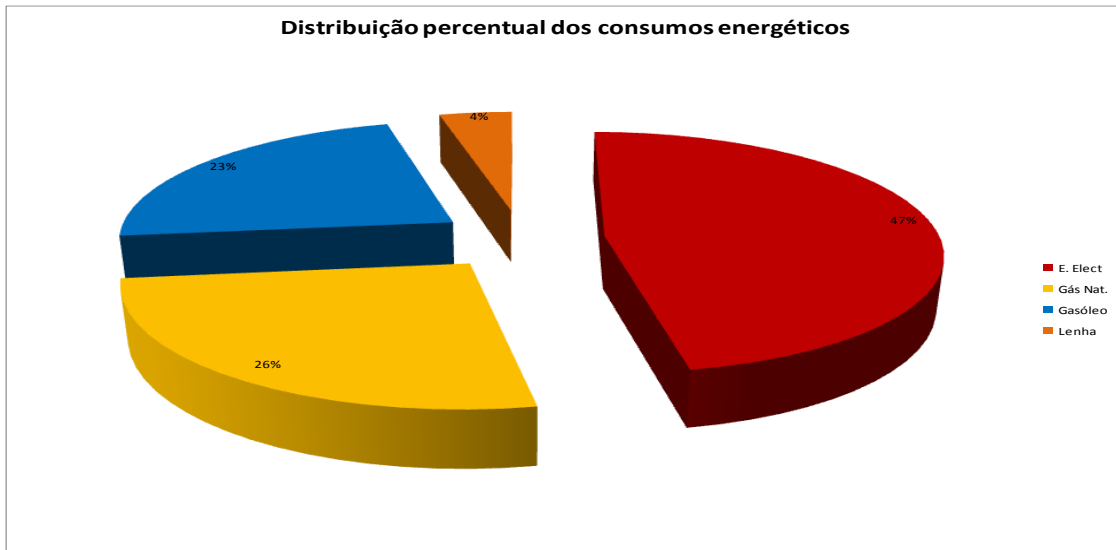


Gráfico 2 - Representação gráfica da distribuição percentual dos gastos energéticos

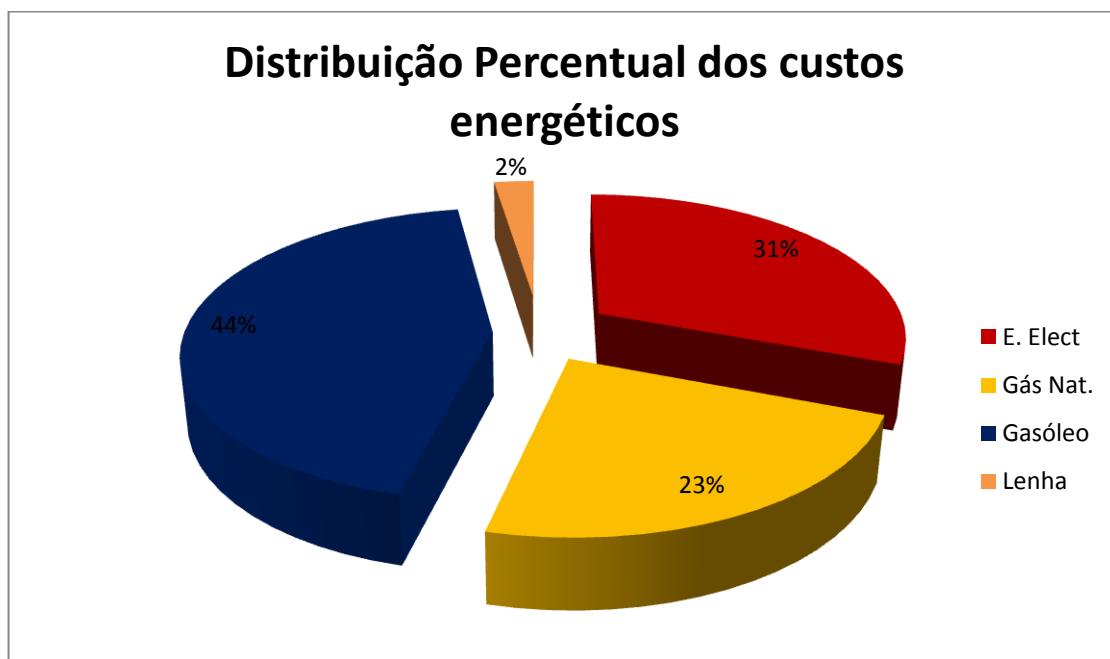


Gráfico 3 - Representação gráfica da distribuição percentual dos custos energéticos

Importa agora conhecer a forma como esta energia foi gasta de forma a avaliar as possíveis medidas a tomar.

A lenha consumida está relacionada com a secção de Cozidos e Fumados e é usada, na sua totalidade, no processo de fumeiros da empresa. Os produtos fabricados, após cozedura, são encaminhadas para os fumeiros, onde estão entre 5 a 10 horas a receber os fumos provenientes da queima lenta da lenha de azinho. O seu consumo está

directamente relacionado com a percentagem de enchidos da empresa, contudo não existem dados fiáveis para saber qual a percentagem de carne proveniente do abate que foi empregue neste sector.

O gásóleo consumido reporta às necessidades da frota de transportes. No ano de 2006 essa mesma frota era constituída por 19 veículos ligeiros e por 18 veículos pesados de mercadorias com motores de frio a electricidade e a gásóleo. Os veículos ligeiros são de serviço comercial e os veículos pesados de entrega da mercadoria. Em 2006 a frota apresentou um consumo total de 327100 litros com o respectivo custo de 265442€, equivalente a 43,7% do total dos custos com a energia da instalação.



Figura 3 - Viaturas de distribuição equipadas com motores de frio.

O gás natural é utilizado em três pontos da fábrica. Na cozinha do refeitório, na caldeira de produção de vapor e no chamusco do matadouro. O consumo de gás natural na cozinha do refeitório deverá ser desprezado face aos consumos nos outros sectores. A produção de vapor ocorre no gerador de vapor, que consome gás natural, sendo o vapor usado para o transporte de energia térmica, utilizada essencialmente no matadouro, estufas de fiambre, estufas de outros enchidos, sala de lavagem de cestos e aquecimento de água

O gerador de vapor é da marca Ambitermo com as seguintes características:

Marca	Ambitermo
Modelo	SBC-S130
Temp. Max. Adm.	188°C
Capacidade	10550 litros
Superfície Aquecimento	128,77m ²

Combustível	Gás Natural
Pressão Max. Adm.	11 Bar
Fluido a Conter	Água
Potência Calorífica	4100 KW
Vaporização	6250 Kg/h

Tabela 2 - Características da unidade de produção de vapor.

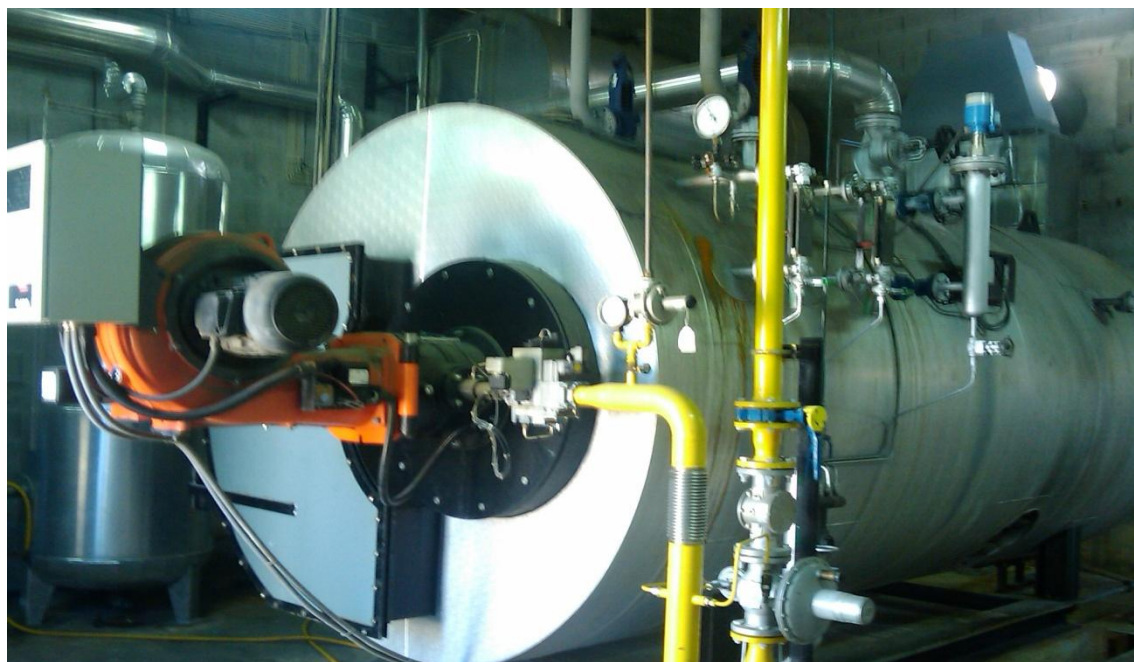


Figura 4 - Unidade de produção de vapor.

As águas quentes são utilizadas nas diversas operações de higienização, quer de utensílios e equipamentos, quer das instalações. O outro ponto de consumo de gás natural a considerar, o chamusco do matadouro, será um consumo de gás em apenas 4 a 5 horas diárias, período durante o qual ocorre o abate de suínos.



Figura 5 - Chamusco automático para suínos.

No que diz respeito à energia eléctrica consumida, a empresa recebe energia eléctrica a uma tensão de 15 KV, que alimenta um posto de transformação (PT), estando este equipado com um transformador de 800 KVA. Nas instalações existe ainda um gerador de emergência (consumindo gasóleo mas que não será considerado nos consumos de energia dado o período de funcionamento em 2006 ser desprezível) que permite manter, em caso de falta de energia da rede, o funcionamento dos órgãos vitais da fábrica. Esta empresa em 2006 foi alimentada pelo Sistema Eléctrico Não Vinculado (SENV) até ao final de Junho, período a partir do qual passou a ser alimentada pelo Sistema Eléctrico Público (SEP), sendo as empresas distribuidoras a EDP- Corporate, S.A. e a EDP-Distribuição, S.A. , respectivamente. A contagem e facturação no SENV foram efectuadas em Média Tensão, sendo a opção tarifária o Ciclo Semanal com Feriados, enquanto que no SEP, foram efectuados igualmente em média tensão, médias utilizações, tetra-horária, sendo a opção tarifária o ciclo diário. A empresa apresenta uma potência instalada de 800 KVA tendo sido contratados 571,39 KW no SENV e posteriormente 604,72 KW no SEP. A energia eléctrica consumida na empresa serve para a iluminação geral dos vários sectores, accionamento dos diversos motores inerentes às máquinas e equipamentos dos diversos sectores de fabrico, accionamentos dos dois compressores de ar comprimido e de um secador de ar, por forma a alimentar toda a rede de ar comprimido da fábrica, produção e distribuição de frio da empresa. A central de frio está equipada com sete compressores de frio, quatro reservatórios de amoníaco e três torres de arrefecimento. Como é facilmente entendido, os consumos são maiores durante o período diurno, decorrente da maior utilização das áreas fabris refrigeradas.



Figura 6 - Compressor de amoníaco de marca QUIRI.

O sistema funciona em circuito fechado, em que os evaporadores que refrigeram o ar que circula nas câmaras, movimentado pela acção dos ventiladores, estão situados no

interior das câmaras de frio. No evaporador ocorre a evaporação do fluido refrigerante, num processo com pequena variação de pressão (isobárico), existindo ainda, próximo dos evaporadores, os dispositivos de expansão (válvulas termostáticas), pelo que o processo ocorre através da expansão directa. No exterior das câmaras estão os compressores (central de frio) e os condensadores a água (torres de arrefecimento) e condensadores a ar, assim como outros dispositivos auxiliares, como os vasos acumuladores e os filtros.



Figura 7 - Condensadores a água, do sistema de refrigeração.

O consumo específico é um indicador energético muito importante, podendo definir-se como a razão entre o consumo de energia e a produção num determinado período de tempo. Assim, para a mesma produção, o consumo específico será tanto menor quanto menor for o consumo de energia, sendo esta a situação ideal.

No ano de 2006 tem-se como dado de trabalho da empresa que foram abatidos 112050 porcos e que estes resultaram em 8 742 923 Kg. Para efeitos de cálculo vamos desprezar as restantes matérias-primas envolvidas no processo uma vez que estas entrarão em quantidades sempre proporcionais aos kg de carne abatidas e serão sempre bastante inferiores.

Temos então o resultado final para o consumo específico em 2006 de:

$$\frac{\text{Energia total consumida (tep)}}{\text{Produção de carne (Kg)}} = \frac{1184,15}{8742923} = 0,000135336 \text{ Tep/Kg}$$

Ou: 0,135 Tep/ton

Necessitámos, em 2006, de 0,135 Tep para transformar uma tonelada de carne.

De forma a tomar as medidas de racionamento energético mais favoráveis devemos ter uma ideia de como esses gastos de energia se distribuem na unidade fabril. Uma vez que não possuímos um contador para cada sector, analisaram-se as potências instaladas e as horas de trabalho para sabermos, aproximadamente, os seus consumos.

Como podemos ver na tabela seguinte a produção e distribuição de frio é a maior consumidora de energia eléctrica, mas o sector de maior consumo é o sector de Transportes frigoríficos e comerciais, onde o consumo de gasóleo representa uma importante fatia do consumo geral da instalação.

A parcela designada por OUTROS que representa uma percentagem de 2,12% serve para fechar o ciclo de consumo primário da empresa.

Sectores	Energia eléctrica		Lenha		Gasóleo		Gás Natural		Sub -total		Consumo específico
	Tep	%	Tep	%	Tep	%	Tep	%	Tep	%	Tep/Kg
Matadouro	5,1	0,92					173	55,80	178,1	15,04	20,37x10 ⁻⁶
Desmancha	1,4	0,25							1,4	0,12	0,16x10 ⁻⁶
Salas de Fabrico	189,5	34,06					44,1	14,22	233,6	19,73	26,72x10 ⁻⁶
Estufas de Fiambre	13,7	2,46					68	21,93	81,7	6,9	9,34x10 ⁻⁶
Fumeiros			48,01	100					48,01	4,05	5,49x10 ⁻⁶
Expedição e Serviços	1,85	0,33							1,85	0,16	0,21x10 ⁻⁶
Central térmica e bombagem de água	26,71	4,80							26,71	2,26	3,05x10 ⁻⁶
Produção e distribuição de frio	259,96	46,73							259,96	21,95	29,73x10 ⁻⁶
Ar comprimido	29,6	5,32							29,6	2,5	3,38x10 ⁻⁶
Oficina e estação de serviço	0,1	0,02							0,1	0,01	0,01x10 ⁻⁶
Transportes frigoríficos e comerciais	1,77	0,32			269,89	100			271,66	22,94	31,07x10 ⁻⁶
Lavagem de cestos	1,48	0,27					24,94	8,04	26,42	2,23	3,02x10 ⁻⁶
Outros	25,13	4,52							25,13	2,12	2,87x10 ⁻⁶
Totais											
	556,3	100	48,01	100	269,89	100	310,04	100	1184,2	100	135,4x10 ⁻⁶

Tabela 3 - Desagregação de consumos de energia na instalação por sectores de fabrico.

O consumo de energia eléctrica está fortemente relacionado com a força motriz instalada em cada um dos sectores da empresa, pois assim se justifica a elevada representatividade da secção de produção e distribuição de frio com 46,73% do consumo eléctrico. Logo a seguir surgem as salas de fabrico com 34,06%, o ar comprimido com 5,32% e a central de bombagem de água com 4,80%.

3- MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA IMPLEMENTADAS ATÉ 2010

Após a auditoria energética foram tomadas algumas medidas com o intuito de baixar o consumo específico da empresa. As medidas tomadas foram as seguintes:

Medida 1- Reajuste do relé varimétrico da bateria de condensadores. Uma vez que no ano de 2006 houve pagamentos de energia reactiva capacitiva (fornecimento em vazio), procedeu-se ao reajustamento do relé varimétrico que regula a compensação. Também foram alertadas as pessoas envolvidas na facturação de energia eléctrica, que sempre que apareça valor a pagar na secção de energia reactiva da factura da fornecedora de energia eléctrica, deveriam dar conhecimento à secção de manutenção por forma a proceder aos ajustes necessários. Esta tomada de medida foi eficaz pois daí para cá não mais houve lugar ao pagamento de energia reactiva.

Medida 2 – Alteração tarifária para longas utilizações. Muito embora esta medida não seja uma medida de racionalização energética mas sim uma medida económica, uma vez que não se vai consumir menos, vai-se sim pagar menos pelo que se consome, não deixa de ser uma medida sem custos de implementação mas que acarreta poupanças significativas para a empresa.

Medida 3 – Eliminação de fugas de ar comprimido existentes na empresa. Sendo o ar comprimido uma das formas de energia mais utilizadas na indústria transformadora, é uma das mais caras de todas e normalmente a mais deficientemente tratada. Talvez pelo facto de o ar ser captado à atmosfera acabe por ludibriar os intervenientes nas fábricas pois a matéria prima é gratuita, mas esquecem-se que há um motor eléctrico a funcionar na unidade compressora. A eliminação de fugas numa estrutura como esta em análise é uma missão impossível, contudo a formação e informação prestada leva a que o tratamento dos relatos de “fugas de ar” ao departamento de Manutenção tenham um cariz de urgência maior, e que o cuidado dos operadores para com a detecção da mesma fuga de ar seja a mais cuidada. Por forma a melhorar a eficiência energética deste sector criou-se uma nova sala de ar comprimido e um dos compressores foi substituído por outro de maior capacidade mas dotado de variação de velocidade por forma a trabalhar apenas o suficiente para o consumo e não em sobre esforço de capacidade. Desta forma eliminam-se os sucessivos arranques do compressor assim como o trabalho em vazio quando este chega à pressão pretendida.



Figura 8 - Unidade de ar comprimido com variador de velocidade.

Medida 4 – Alteração do economizador. O gerador de vapor está dotado de um economizador que permite utilizar o calor contido nos gases de escape da caldeira para aquecer a água introduzida no gerador. Contudo aquando da realização da auditoria energética realizada em 2007, observou-se que o referido economizador se encontrava incorrectamente montado uma vez que os gases de escape aqueciam a água que ia para o depósito que alimenta a caldeira e não a água que entra directamente na caldeira. Procedeu-se à rectificação deste erro de montagem por forma a fazer aumentar o rendimento da caldeira para que o esforço de aquecimento de água que nela entra seja menor. Não foi possível quantificar o resultado desta medida pois não se verificou diminuição no consumo de gás, uma vez que nesse período houve um aumento de produção e, conseqüentemente, um aumento de consumos energéticos.



Figura 9 - Depósito de retorno de condensados e economizador.

Medida 5 – Controlo semestral dos parâmetros de queima. Procede-se desde a montagem da referida caldeira a um controlo semestral dos parâmetros de queima para que os valores de excesso de ar nunca sejam superiores aos desejáveis e estejamos, desta forma, a desperdiçar energia para aquecer ar que se encontra em excesso no processo. O excesso de ar de combustão deve ser mantido tão baixo quanto possível, de forma a permitir uma combustão completa evitando o desperdício de combustível no aquecimento de um volume de ar desnecessário para a queima. Por outro lado, não se deve operar com excesso de ar muito baixos pois este facto tem normalmente repercussões em termos de combustão incompleta, aparecendo nos gases de combustão elementos não queimados que originam uma diminuição de rendimentos dos geradores, uma vez que estes elementos não tendo sido queimados no interior da câmara de combustão, não libertam a sua energia, que acaba por se perder sob a forma de calor latente nos gases de combustão. Este controlo é efectuado por uma entidade externa credenciada e, sempre que encontra desvios de parâmetros procede ao reajuste das condições de queima.

Medida 6 – Isolamento térmico de tubagem e válvulas. Uma vez que a instalação fabril já conta com 20 anos, algumas das suas tubagens apresentam sinais de deterioração, pelo que o seu isolamento não é o mais eficiente. De uma forma gradual, dado que se trata de um investimento económico elevado, as tubagens de vapor e água quente, assim como da rede de frio devem ser substituídas e o seu isolamento cuidadosamente repostos de forma a diminuir as perdas térmicas. Seria vantajoso a aquisição de uma câmara de infravermelhos de forma a controlar periodicamente pontos sensíveis da instalação fabril e observar desta forma perdas térmicas inesperadas. Esta medida, não foi executada por se tratar de um investimento muito elevado e de difícil execução técnica. Como tal, existem pontos de perdas térmicas no piso técnico que se vão agravando de ano para ano.

Medida 7 – Acções de sensibilização e formação. A realização de acções de formação aos funcionários, de modo a proporcionar-lhes algum conhecimento sobre os consumos energéticos das instalações, assim como fornecer-lhes informações sobre como utilizar eficientemente os equipamentos e instalações que operam, como forma a utilizarem racionalmente a energia. Estas medidas devem ser implementadas mais vezes do que até aqui se tem feito, de forma a aumentar o envolvimento dos colaboradores neste objectivo comum. A entidade procedeu a algumas acções de sensibilização e de formação, mas que se mostram agora ser insuficientes, pelo que se deve optar por novas acções de formação com exemplos de erros e de custos inerentes a esses mesmos erros.

Medida 8 – Sistema de gestão de energia. Muito embora esta medida não tenha sido implementada, refiro-me aqui a ela por ser um objectivo a não perder de vista. De facto a utilização de um SGE permite estabelecer padrões de consumo, facilitando o conhecimento dos consumos específicos dos principais sectores. Com base nesta informação é possível estabelecer um plano de acção, atribuindo prioridades de intervenção para os sectores com consumos considerados excessivos. Possibilita também avaliar a eficiência das medidas implementadas, através de medições realizadas à posteriori, comparando-as com medições anteriores. Estes sistemas permitem ainda detectar situações menos normais através de consumos (de electricidade, gás, água ou vapor) não proporcionais à utilização, auxiliando assim os serviços de manutenção.



Figura 10 - Sistema de bombagem de água dotado de VEV.

4- CONSUMOS ENERGÉTICOS EM 2010

Passamos agora à análise dos consumos de 2010, de forma a saber se as medidas até agora aplicadas tiveram efeitos nos consumos específicos da empresa.

Assim, da mesma forma que no anos de 2006 passamos aos valores do ano de 2010.

Forma de Energia	Unidades de Facturação	Unidades de Energia Primária	% sobre energia Total	Custos Energéticos (Euros)	% dos custos Energéticos	Custo por Unidade
Energia Eléctrica	2886886 KWh	2886886 KWh	620,68 tep	620,68 tep	44,88 %	0,08119€/KWh
Gás Natural	4372456,0 KWh	369607,43 m ³	334,51 tep	334,51 tep	24,19 %	0,398 €/m ³
Gasóleo	398009 litros	329,55 ton	411,93 tep	411,93 tep	29,79 %	1,246 €/litro
Lenha	57,16 ton	57,16 ton	15,71 tep	15,71 tep	1,14 %	90€/ton

Tabela 4 - Tabela de consumos energéticos de 2010

Temos então para o ano de 2010 um consumo energético total de 1382,83 tep.

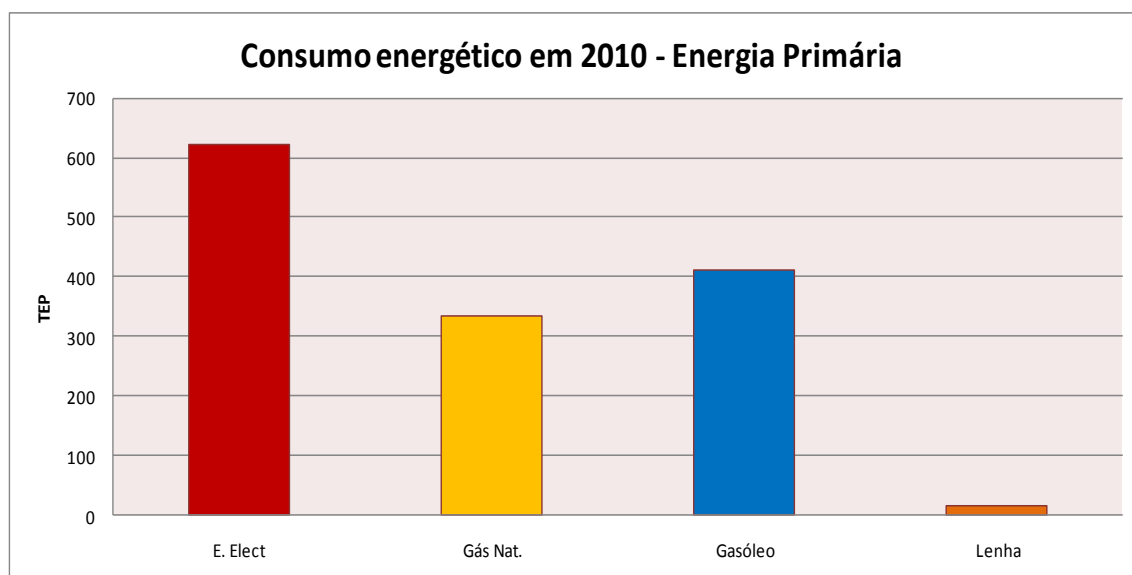


Gráfico 4- Representação gráfica dos vários tipos de energia gasta em 2010.

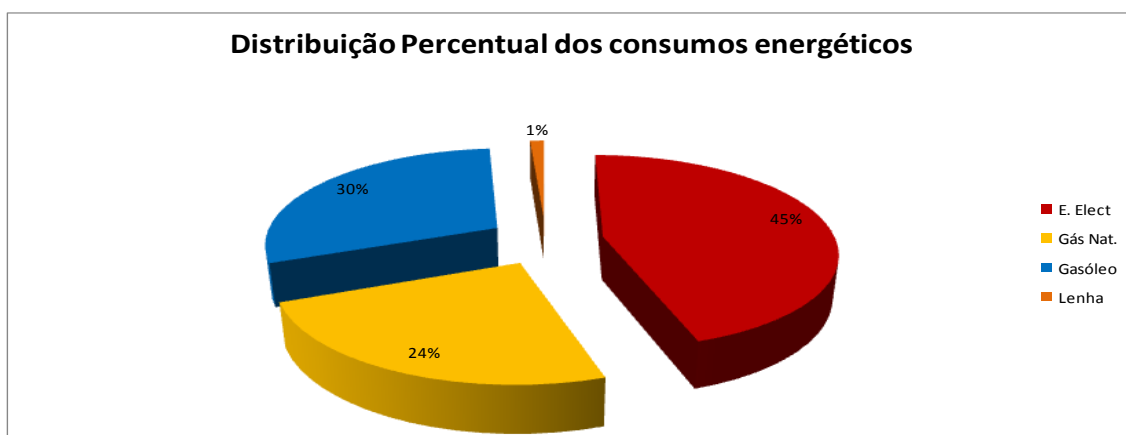


Gráfico 5 - Representação gráfica da distribuição percentual dos gastos energéticos em 2010.

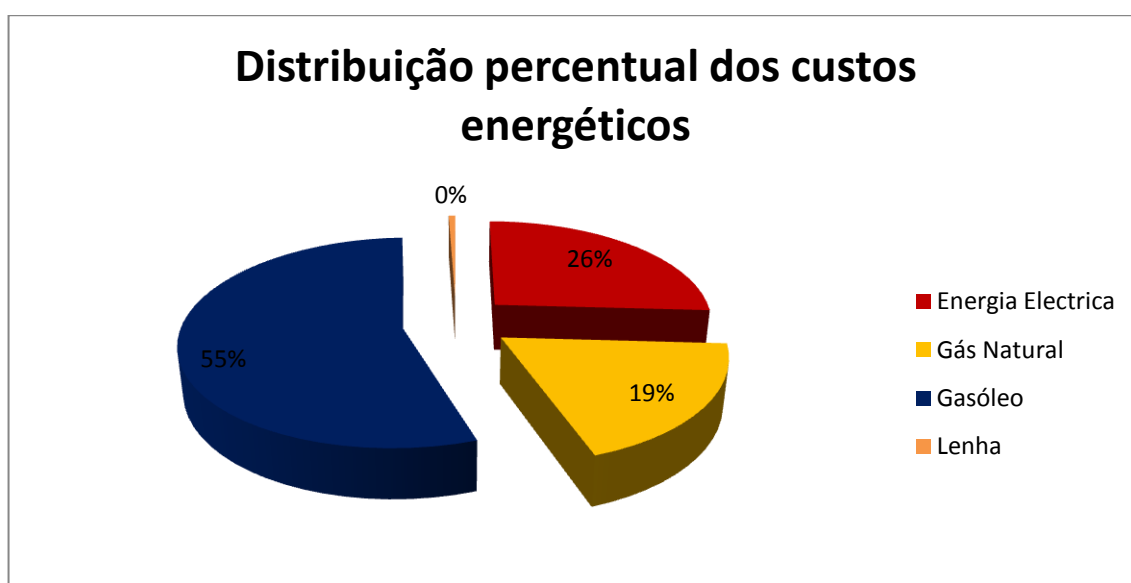


Gráfico 6 - Representação gráfica da distribuição percentual dos custos energéticos em 2010.

Importa agora, fazer uma avaliação comparativa entre estes dois anos de referência, 2006 e 2010, para registar as evoluções de consumo ocorridas.

Assim temos:

Energia	Energia [Tep]		Variação
	2006	2010	
Energia Eléctrica	556,3	620,68	11,57 %
Gás natural	310,04	334,51	7,89 %
Gasóleo	269,89	411,93	52,63 %
Lenha	48,01	15,71	-67,28 %

Tabela 5 - Tabela comparativa da energia primária consumida.

A tabela anterior indica-nos um claro aumento de consumo de energia. O aumento de energia eléctrica nos 11,5 % poderá ser acompanhado pelo aumento de gás natural na casa dos 7,89%. Já o aumento do consumo de gasóleo é excessivo, mesmo tendo em linha de conta o aumento da produção e o consequente aumento com as despesas de distribuição e sector comercial.

É tanto mais preocupante o aumento de consumo de gasóleo que as viaturas ligeiras diminuíram de 19 para 13, ao passo que o número de veículos pesados de mercadoria com frio sofre um aumento de uma unidade, passando agora a ser 19 viaturas. Apenas poderá ser explicado pelo aumento de manipulação de carne e volume de carne abatida e a consequente necessidade de expedi-la. Serve contudo de alerta para medidas a aplicar no corrente ano.

A diminuição registada no consumo de lenha poderá ser devido ao reajuste que ocorreu na capacidade de stock da lenha, pela ocupação que a nova sala de compressores de ar comprimido teve lugar nesse mesmo local de stock da lenha.

No ano de 2010 foram abatidos na empresa 149428 animais de que resultaram 12025802 Kg de carne. Uma vez mais, à semelhança do que foi feito para o ano de 2006, vamos desprezar as restantes matérias-primas envolvidas no processo, uma vez que estas entrarão em quantidades sempre proporcionais aos Kg de carne abatida e serão sempre em ordens de grandeza bastante inferiores.

Temos então o resultado final para o consumo específico em 2010 de:

$$\frac{\text{Energia total consumida (tep)}}{\text{Produção de carne (Kg)}} = \frac{1382,83 \text{ tep}}{12025802 \text{ Kg}} = 0,000114988 \text{ Tep/Kg}$$

Ou: 0,114 Tep/ton

Passámos então de um consumo específico de 0,135 Tep/ton para 0,114 Tep/ton. Apresentamos assim um decréscimo de 15,5%.

O valor do decréscimo do consumo específico é bastante aceitável, contudo ainda se poderão tomar medidas por forma a fazer baixar ainda mais este valor. Já se referiu o consumo de gasóleo, mas o valor da energia eléctrica e do gás natural deverão também ser analisados para tomar as medidas mais correctas.

Da mesma forma como se desagregaram os consumos de energia por sector em 2006, o faremos agora em 2010.

Sectores	Energia eléctrica		Lenha		Gasóleo		Gás Natural		Sub -total		Consumo específico
	Tep	%	Tep	%	Tep	%	Tep	%	Tep	%	Tep/Kg
Matadouro	11,5	1,85					186,84	55,85	198,34	14,34	165x10 ⁻⁶
Desmancha	1,9	0,31							1,9	0,14	1,58x10 ⁻⁶
Salas de Fabrico	210,6	33,93					47,62	14,23	258,22	18,67	215x10 ⁻⁶
Estufas de Fiambre	15,28	2,46					73,34	21,92	88,62	6,41	73,7x10 ⁻⁶
Fumeiros			15,71	100					15,71	1,14	13,1x10 ⁻⁶
Expedição e Serviços	2,05	0,33							2,05	0,15	1,7x10 ⁻⁶
Central térmica e bombagem de água	30,1	4,85							30,1	2,18	25x10 ⁻⁶
Produção e distribuição de frio	290	46,73							290	20,97	241x10 ⁻⁶
Ar comprimido	35,52	5,72							35,52	2,57	29,5x10 ⁻⁶
Oficina e estação de serviço	0,1	0,02							0,1	0,01	0,083x10 ⁻⁶
Transportes frigoríficos e comerciais	1,9	0,31			411,93	100			413,83	29,93	344x10 ⁻⁶
Lavagem de cestos	1,62	0,26					26,74	7,99	28,36	2,05	23,6x10 ⁻⁶
Outros	20,08	3,24							20,08	1,45	16,7x10 ⁻⁶
Totais											
	620,65	100	15,71	100	411,93	100	334,54	100	1382,8	100	1149,96x10⁻⁶

Tabela 6- Desagregação dos consumos energéticos na instalação por sector em 2010.

Uma vez que o gás natural representa quase 25% da energia total consumida, foi solicitado ao fornecedor de gás natural uma medição horária por forma a compreender a maneira como é consumido esse mesmo gás, e a podermos implementar medidas de redução de consumo.

Assim temos a seguinte tabela de consumos para o dia 15 de Fevereiro, uma 3ª feira, em que o volume de abate é bastante pequeno, na casa dos 400 animais.

Início contagem	Fim de contagem	Consumo	Equipamentos em funcionamento
15-02-2011 0:00	15-02-2011 0:59	10	Caldeira
15-02-2011 1:00	15-02-2011 1:59	12	Caldeira
15-02-2011 2:00	15-02-2011 2:59	10	Caldeira
15-02-2011 3:00	15-02-2011 3:59	112	caldeira+matadouro
15-02-2011 4:00	15-02-2011 4:59	69	caldeira+matadouro
15-02-2011 5:00	15-02-2011 5:59	67	caldeira+matadouro
15-02-2011 6:00	15-02-2011 6:59	135	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
15-02-2011 7:00	15-02-2011 7:59	153	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
15-02-2011 8:00	15-02-2011 8:59	53	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 9:00	15-02-2011 9:59	70	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 10:00	15-02-2011 10:59	81	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 11:00	15-02-2011 11:59	85	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 12:00	15-02-2011 12:59	78	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 13:00	15-02-2011 13:59	66	caldeira+lavagem+estufas-hora de almoço
15-02-2011 14:00	15-02-2011 14:59	75	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 15:00	15-02-2011 15:59	63	caldeira+lavagem+estufas
15-02-2011 16:00	15-02-2011 16:59	53	caldeira+estufas
15-02-2011 17:00	15-02-2011 17:59	37	caldeira+estufas
15-02-2011 18:00	15-02-2011 18:59	15	caldeira+estufas
15-02-2011 19:00	15-02-2011 19:59	10	Caldeira
15-02-2011 20:00	15-02-2011 20:59	11	Caldeira
15-02-2011 21:00	15-02-2011 21:59	11	Caldeira
15-02-2011 22:00	15-02-2011 22:59	12	Caldeira
15-02-2011 23:00	15-02-2011 23:59	11	Caldeira

Tabela 7 - Tabela de consumos de gás natural do dia 15.02-2011

Neste dia, 15 de Fevereiro de 2011 o consumo total de gás natural foi de 1299 m³, ou 1,175 Tep.

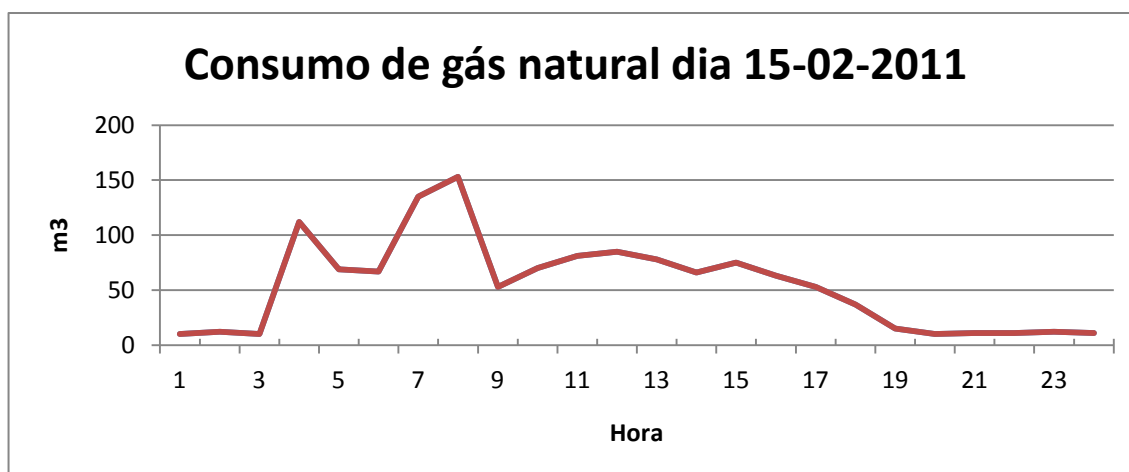


Gráfico 7- Representação gráfica da variação do consumo durante as 24 horas do dia 15.

Para melhor entendermos o consumo de gás deveremos também de analisar o referido consumo num dos dias de maiores necessidades energéticas, que é a 2ª feira, em que o volume de abate é de 850 animais.

Início contagem	Fim de contagem	Consumo	Equipamentos em funcionamento
21-02-2011 0:00	21-02-2011 0:59	11	caldeira
21-02-2011 1:00	21-02-2011 1:59	11	caldeira
21-02-2011 2:00	21-02-2011 2:59	10	caldeira
21-02-2011 3:00	21-02-2011 3:59	12	caldeira
21-02-2011 4:00	21-02-2011 4:59	143	caldeira+matadouro
21-02-2011 5:00	21-02-2011 5:59	73	caldeira+matadouro
21-02-2011 6:00	21-02-2011 6:59	192	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
21-02-2011 7:00	21-02-2011 7:59	214	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
21-02-2011 8:00	21-02-2011 8:59	205	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
21-02-2011 9:00	21-02-2011 9:59	156	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
21-02-2011 10:00	21-02-2011 10:59	181	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
21-02-2011 11:00	21-02-2011 11:59	113	caldeira+matadouro+chamusco+lavagem+estufas
21-02-2011 12:00	21-02-2011 12:59	84	caldeira+lavagem+estufas
21-02-2011 13:00	21-02-2011 13:59	76	caldeira+lavagem+estufas
21-02-2011 14:00	21-02-2011 14:59	67	caldeira+lavagem+estufas
21-02-2011 15:00	21-02-2011 15:59	46	caldeira+lavagem+estufas
21-02-2011 16:00	21-02-2011 16:59	40	caldeira+lavagem+estufas
21-02-2011 17:00	21-02-2011 17:59	30	caldeira+estufas
21-02-2011 18:00	21-02-2011 18:59	18	caldeira+estufas
21-02-2011 19:00	21-02-2011 19:59	11	caldeira+estufas
21-02-2011 20:00	21-02-2011 20:59	10	caldeira
21-02-2011 21:00	21-02-2011 21:59	11	caldeira
21-02-2011 22:00	21-02-2011 22:59	11	caldeira
21-02-2011 23:00	21-02-2011 23:59	14	caldeira

Tabela 8 - Tabela de consumos de gás natural do dia 21-02-2011.

Neste dia, 21 de Fevereiro de 2011 o consumo total de gás natural foi de 1739 m³, ou 1,573 Tep. Representa um crescimento comparativamente ao dia 15-02-2011 de 21,09%. A nível de carne processada representa um acréscimo de 112%, pelo que podemos concluir que o consumo energético não evolui de forma directa com o volume de abate. A sua evolução ao longo do dia pode ser visualizado por:

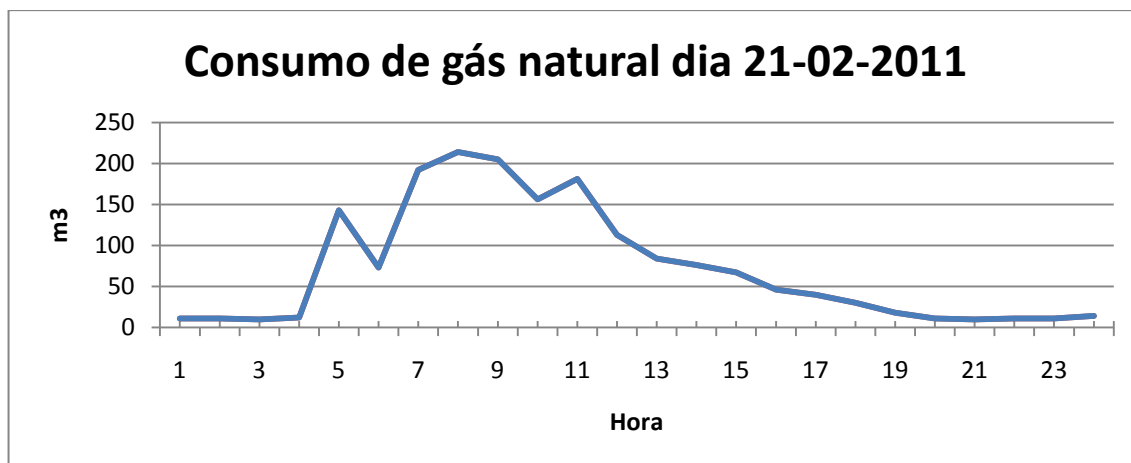


Gráfico 8 - Representação gráfica da variação dos consumos durante as 24 horas do dia 21-02-2011.

No gráfico seguinte é feita a representação gráfica da variação dos consumos para os dias 15 e 21 de Fevereiro de 2011.

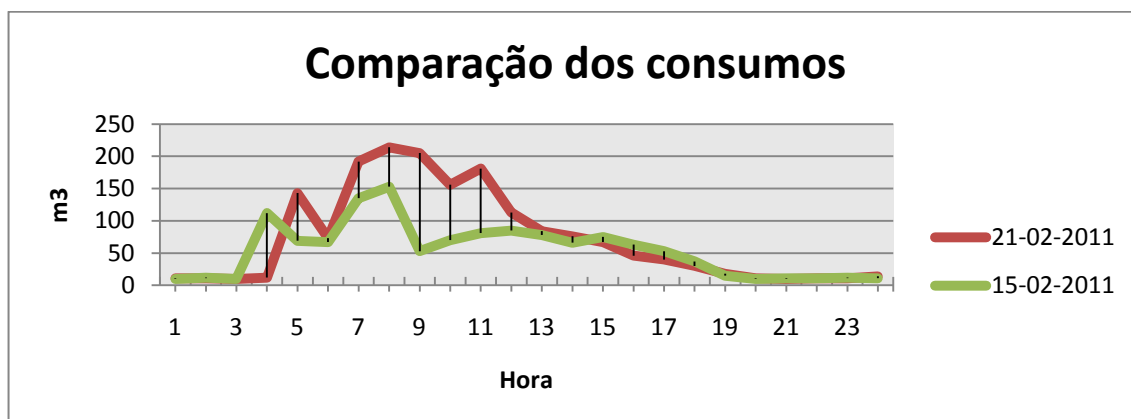


Gráfico 9 - Representação gráfica do consumo de gás natural nos dois dias referenciados, com volume de abate diferente.

Esta representação permite-nos observar que após o encerramento dos principais processos da empresa, às 17 horas, os consumos se equiparam num e noutro dia. Logo, as medidas a tomar deverão incidir essencialmente no período de abate.

5- SISTEMA DE FRIO

5.1- Necessidades energéticas

Tratando-se de uma empresa do sector agro-alimentar, a utilização de frio nas várias fases do processo produtivo é imprescindível, tanto por razões de conservação de matérias-primas e de produtos acabados, como por razões relacionadas com a climatização das zonas de produção. Este tipo de instalação é afectado principalmente pela quantidade de calor que os equipamentos de refrigeração têm de remover dos espaços. As principais fontes de calor neste tipo de instalação são:

- a própria matéria-prima (carne quente);
- a transmissão de calor que ocorre pelas paredes e espaços de entrada e saída;
- equipamentos produtivos e ocupantes

O desempenho teórico de um ciclo frigorífico é medido através do coeficiente de performance (COP) que expressa a relação entre a quantidade daquilo que se deseja (energia removida) e a quantidade do que se gasta (trabalho líquido), sendo o coeficiente de performance expresso em termos das temperaturas limites do ciclo.

$$COP = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{Q_0}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Como podemos analisar da expressão anterior, para um ciclo teórico o COP é função apenas das temperaturas de condensação e vaporização, mas no ciclo real o COP dependerá muito das propriedades do compressor, assim como dos restantes equipamentos do sistema.

A unidade fabril em causa está equipada com sete compressores de frio, três reservatórios de amoníaco e três torres de arrefecimento, que funcionam como condensadores. Realizada a medição dos consumos eléctricos a este sector, verificou-se o seguinte consumo: o consumo eléctrico diário da central de frio foi de 3992,0 KWh/24 horas, tendo atingido uma potência máxima de 259KW e uma potência média de 166,3 KW.

Um sistema de refrigeração com a idade que este apresenta, 20 anos, deverá estar já algo desactualizado. Contudo, a maioria das vezes o sistema de refrigeração opera ineficazmente, a razão por detrás desse comportamento está no facto do sistema operar em condições bastante diferentes das para as quais foi originalmente projectado. Nestes casos, as principais dificuldades em melhorar o sistema prende-se com os custos dos componentes que seria necessário substituir, e com a característica que advém do facto

de ser uma indústria onde a necessidade de frio é de 24/24 horas. Qualquer alteração ao sistema de frio que requereria o corte temporário total, será sempre de evitar, dado que daí resultam prejuízos bastante elevados.

Mesmo que este tipo de alteração/melhoria não seja possível, deve-se apostar noutros tipos de melhorias, pois o perfeito conhecimento desse mesmo sistema irá permitir o incremento das medidas de manutenção e consequentemente a melhoria de operacionalidade do sistema. Refiro-me concretamente a planos de manutenção mais detalhados, a correcções de roturas de isolamento, a verificação e substituição das válvulas do sistema que apresentem alterações de funcionamento.

A performance do sistema de frio é pois dependente dos seus principais componentes, compressor, evaporador, condensador, líquido refrigerante, e também, de uma forma mais ou menos acentuada, dependente de pequenos factores tais como a manutenção do sistema. Esses factores podem ser facilmente controlados e o seu efeito na degradação da performance do sistema mitigado. Estamos a falar das trocas de calor existentes dentro de uma unidade industrial (salas com temperaturas elevadas junto de salas com temperaturas baixas), falta de isolamento ou isolamento deficiente da tubagem de rede de frio, paredes e tectos das unidades fabris indevidamente isoladas, infiltrações indesejáveis de ar quente vindo do exterior, ventiladores dos próprios evaporadores com aquecimentos indesejáveis e iluminação inadequada levando ao incremento de fontes de calor.

O compressor de frio é, no conjunto do sistema, o elemento mais gastador e por isso é o elemento onde, na maioria das vezes, recaem as primeiras tentativas de melhoria de eficiência energética nas indústrias agro-alimentar. A figura seguinte mostra como a energia eléctrica consumida num sistema de frio é repartida pelos principais componentes:

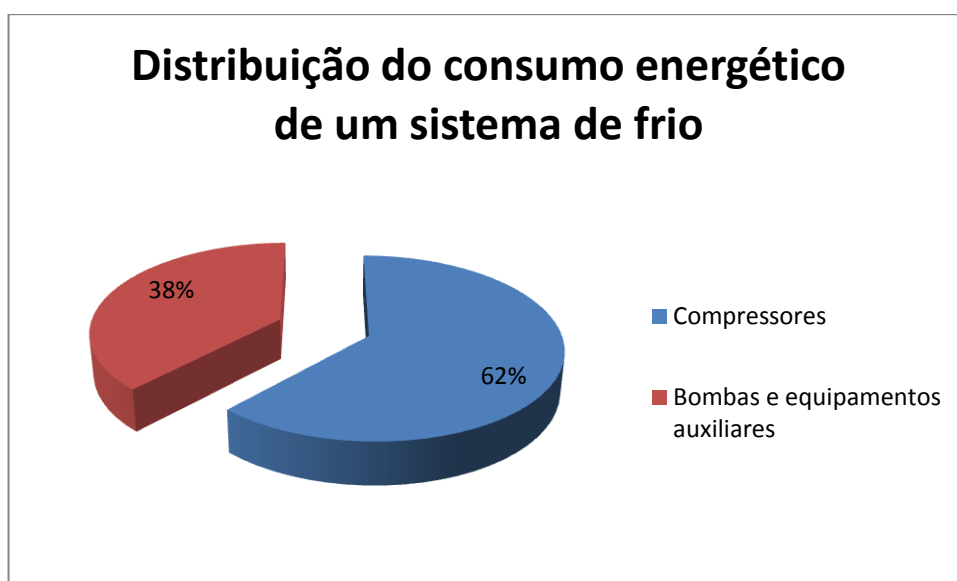


Gráfico 10 - Distribuição do consumo energético de um sistema de frio – [9]

Como se pode analisar, só o trabalho de compressão do líquido refrigerante é responsável por 62% da energia consumida, ao passo que os condensadores, bombas auxiliares e evaporadores apresentam fatias de consumo muito idênticas e na casa dos 12 a 14%.

5.2- Detalhes do funcionamento da unidade de frio

Uma unidade de refrigeração industrial tem como principal característica distintiva face às unidades não industriais o agente refrigerante que utiliza. Estes agentes refrigerantes devem absorver grandes quantidades de calor quando passam do estado líquido para o gasoso.

O agente refrigerante, que no caso concreto é o amoníaco, NH₃, deve ser:

- Volátil ou capaz de se evaporar;
- Apresentar elevado calor latente de vaporização;
- Apresentar boas pressões de evaporação e condensação;
- Apresentar-se estável em funcionamento, sem se decompor noutros produtos;
- Ter a sua temperatura crítica bem acima da temperatura de condensação;
- Requerer o mínimo de potência para a sua compressão;
- Não apresentar efeitos nefastos sobre os metais e os lubrificantes do sistema;
- Ser comercialmente atractivo;
- Ser o mais inócuo possível para as pessoas e ambiente;
- Ter odor característico;

O princípio de funcionamento do sistema é básico e envolve três componentes chave: o compressor, o condensador e o evaporador.

O compressor aspira o agente refrigerante no estado gasoso e comprime para o condensador sob a forma de gás quente a alta pressão.

Os compressores podem ser de vários tipos:

- Compressores alternativos, que empregam um cilindro e um pistão para a compressão do gás. Podem ter um ou vários cilindros trabalhando todos ao mesmo tempo ou em rampa de funcionamento.



Figura 11 - Compressor alternativo marca QUIRI com 8 cilindros.

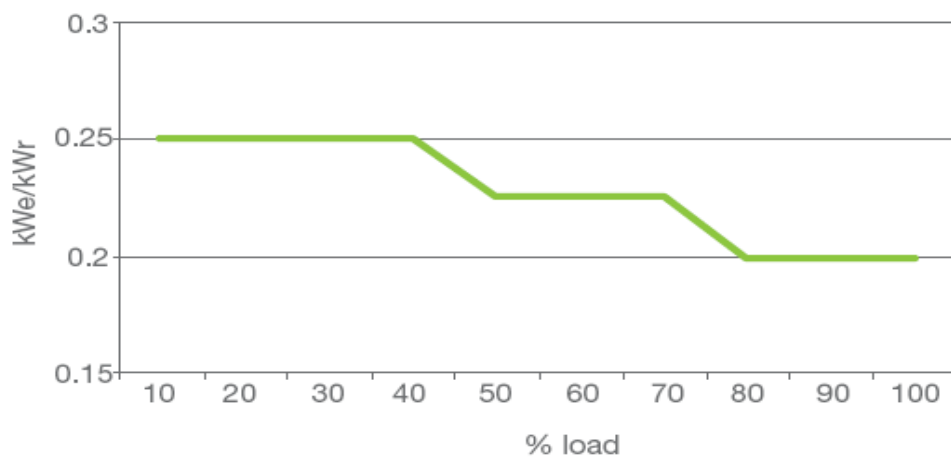


Gráfico 11 - Curva de consumo energético de um compressor alternativo. [10]

No gráfico anterior podemos analisar o consumo energético de um compressor alternativo, onde é visível três rampas de funcionamento.

-Compressores de parafuso, usando dois parafusos sem fim que forçam o fluido refrigerante ao longo do eixo e provocam a sua compressão. São compressores mais compactos e devido ao tipo de funcionamento trabalham com menos vibração. São também os compressores ideais para adicionar variadores electrónicos de velocidade e estabelecer, desta forma, regimes menos oscilantes de funcionamento. Como se pode

observar do gráfico seguinte, estes compressores apresentam curvas de consumo mais suaves e com consumos em potência média e máxima mais baixos, contudo esta tecnologia apresenta com alguma frequência problemas de lubrificação levando a necessidades de purga, do sistema de refrigeração, bastante frequentes.

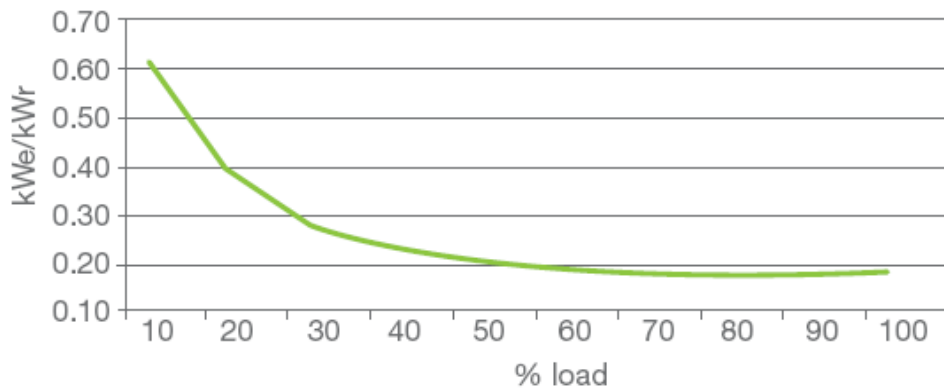


Gráfico 12 - Curva de consumo energético de um compressor de parafuso. [10]

- Existem ainda os compressores centrífugos que provocam a compressão do fluido refrigerante através da força centrífuga, sendo estes menos utilizados devido ao facto de serem menos eficientes em baixas potências. São mais utilizados em sistemas AVAC de chillers de água.

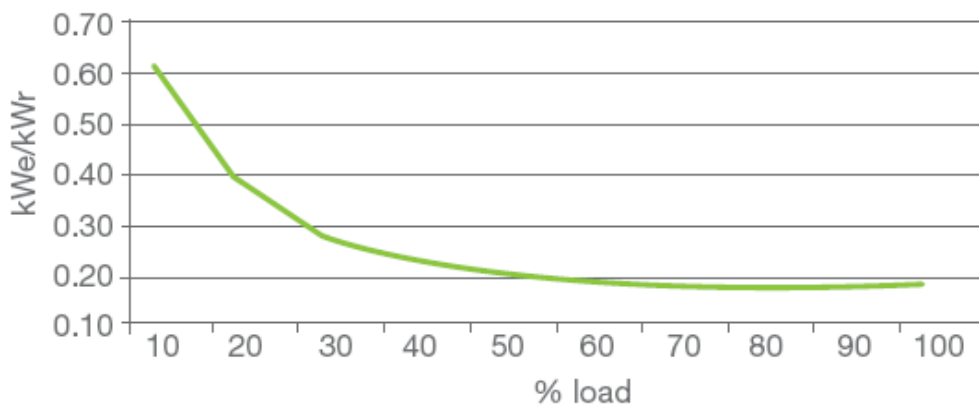


Gráfico 13 - Curva de consumo energético de um compressor centrífugo. [10]

Por sua vez, o condensador é constituído por tubagens onde passa esse mesmo gás quente que é condensado por intermédio de água. O amoníaco no estado gasoso, liquefaz-se ao entrar em contacto com a temperatura mais fria do condensador, e é encaminhado, já no estado líquido, para o depósito de líquido, onde estará disponível para ser bombeada para os evaporadores.

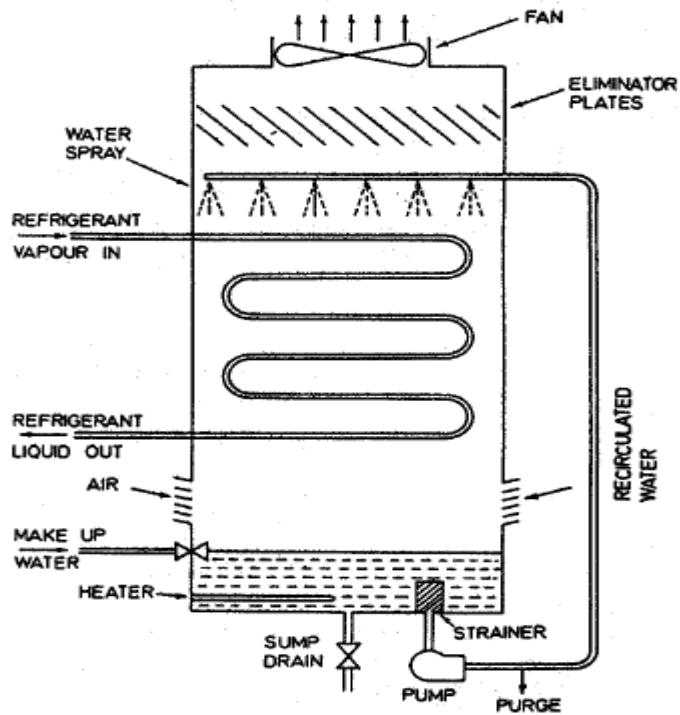


Figura 12 - Esquema de funcionamento de um condensador evaporativo [9]



Figura 13 - Condensadores de amoníaco com funcionamento a água.

O evaporador é constituído por serpentinas que se encontram no local a ser arrefecido e o amoníaco ao expandir-se nessa mesma serpentina, absorve calor do local a arrefecer.

Seguidamente, volta para o depósito de amoníaco sob a forma gasosa onde é novamente comprimido no compressor e condensado no condensador.

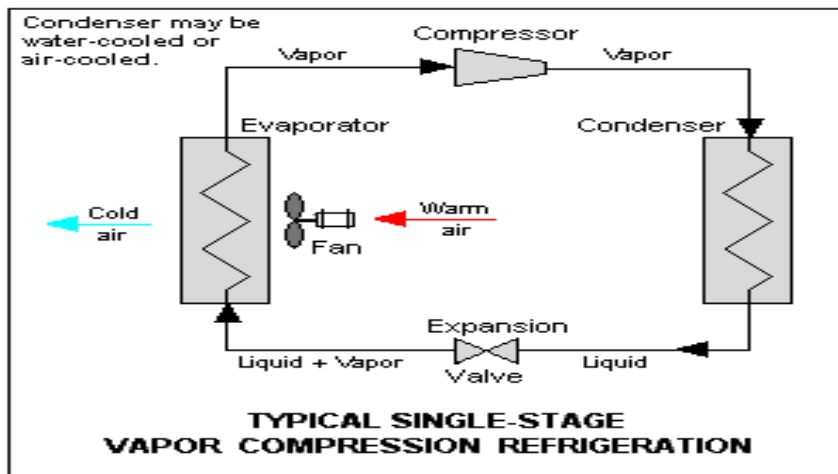


Figura 14 - Ciclo de refrigeração. Fonte wikimedia.

No caso em concreto o sistema de refrigeração trabalha com duas pressões distintas. Uma para o frio positivo e outra pressão para o sistema de frio negativo. Num sistema de multi-pressões a remoção e re-compressão do vapor produzido pela redução da pressão antes de se completar a expansão reduz a potência necessária ao compressor para uma dada necessidade de refrigeração. Permite ainda reduzir as dimensões das linhas de entrada e saída do evaporador.

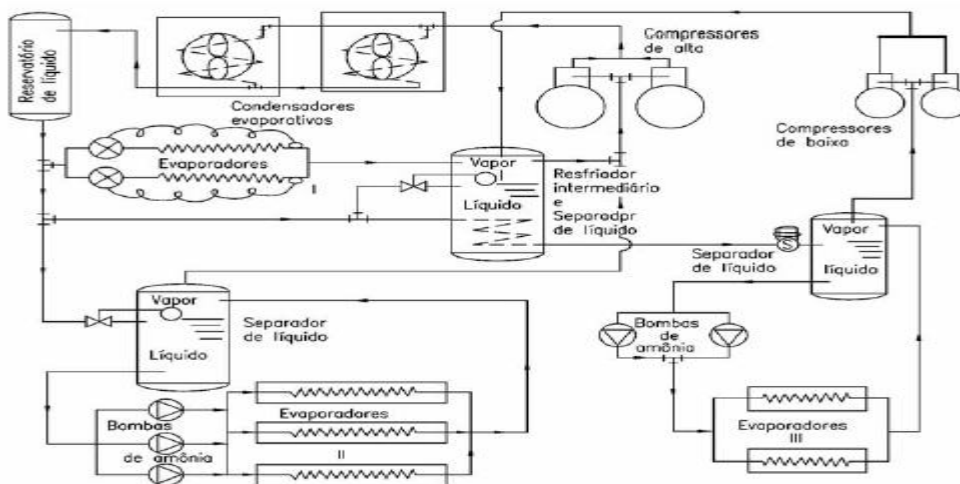


Figura 15 - Esquema de circuito de refrigeração multipressão. [8]

O sistema funciona em circuito fechado, em que os evaporadores que refrigeram o ar que circula nas câmaras, movimentado pela acção dos ventiladores, estão situados no interior das câmaras de frio. No evaporador ocorre a evaporação do fluido refrigerante, num processo com pequena variação de pressão (isobárico), existindo ainda, próximo

dos evaporadores, os dispositivos de expansão (válvulas termoestáticas), pelo que o processo ocorre através da expansão directa. No exterior das câmaras estão os compressores (central de frio) e os condensadores a água (torres de arrefecimento) e condensadores a ar, assim como outros dispositivos auxiliares, como os vasos acumuladores e os filtros.

6- MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICAS PROPOSTAS PARA 2011

Quanto maior é o conhecimento do sistema, que decorre do aumento de número de dados da empresa, maior é o número de medidas que podem ser tomadas com o intuito de melhorar o consumo específico do mesmo. Desta forma propõem-se as seguintes medidas:

Medida 1 – Sistema de Gestão de Energia. Uma vez mais não posso deixar de apontar esta medida, uma vez que se trata de uma indústria grande consumidora de energia, todas as medidas que vierem a ser tomadas com o intuito de controlar e reduzir os consumos serão notados na factura energética da empresa. A utilização de um SGE permite, por um lado, estabelecer padrões de consumo, facilitando o conhecimento dos consumos específicos dos principais sectores. Com base nesta informação, é possível estabelecer um plano de acção, atribuindo prioridades de intervenção para os sectores com consumos considerados excessivos. Possibilita também avaliar a eficiência das medidas implementadas, através de medições realizadas a posteriori, comparando-as com medições anteriores. Estes sistemas permitem ainda detectar situações menos normais através de consumos (de electricidade, gás, água, gasóleo ou vapor) não proporcionais à utilização, auxiliando assim os serviços de manutenção.

Medida 2 – Implementação de novo PT. Uma vez que o posto de transformação se encontrava agora a funcionar perto do seu limite máximo, a potência instalada de 800 KW e a contratada em 716,62 KW, as perdas oriundas no excessivo aquecimento são já significativas e as necessidades de energia apresentam picos que o PT não consegue responder. Desta forma, foi já instalado um novo PT de 800KW de forma a garantir baixas perdas no sistema e possibilidade de expansão no futuro. Os transformadores apesar de terem rendimentos elevados na casa dos 95%, apresentam por norma, dois tipos de perdas: as perdas no ferro e as perdas no cobre. Esta última aumenta com o regime de carga. Os transformadores não devem trabalhar perto da sua potência nominal, pois o valor máximo de rendimento é atingido com um índice de carga de aproximadamente 45%.

Medida 3 – Reajuste do tempo de chamuscagem das carcaças. Pela análise das tabelas de consumos de gás apresentadas em anexo poderemos concluir que a torre de chamuscagem das carcaças será responsável pelo consumo de 100m³ de gás por hora. Nesse mesmo período de tempo são chamuscados 200 carcaças, uma vez que a velocidade de abate é de 200 porcos/hora. Cada carcaça é chamuscada 20 segundos (10+10 seg), pelo que a regulação dos tempos de chamuscagem para 16 segundos por carcaça (8+8 seg) representa uma poupança de 20%.

Se a empresa abate 3000 animais por semana, serão 12000 animais por mês. A poupança de $0,1\text{m}^3$ em cada carcaça ao final do mês representa 1200 m^3 , sendo estes pagos a $0,398\text{ €/m}^3$, representa uma poupança de 478€ mensais.

Medida 4 – Acções de sensibilização e formação dos colaboradores. A realização de acções de formação para todos os colaboradores, proporcionando-lhes dados reais da empresa relativos aos consumos de energia e quais as medidas que podem levar à redução dos consumos energéticos, permite envolver de forma directa mais pessoas e desta forma motivá-las por forma a alcançar os objectivos ambicionados. Acções de formação aos motoristas de forma a conseguirem melhorar a forma de condução, baixando as médias de consumo das suas viaturas. Acções de formação aos colaboradores fabris para que prestem particular atenção às portas das câmaras, às torneiras de água quente e água fria, às máquinas do sistema de lavagem, aos funcionários da zona das estufas de forma a terem sempre as estufas com carga máxima, para que o ciclo de cozedura não seja iniciado com capacidades de carga de 50% ou 75%, para que apaguem as luzes ao desocupar um local, etc.

Medida 5 – Substituição dos balastros convencionais por balastros electrónicos. Na iluminação fabril são usados os tradicionais balastros e arrancadores, sendo os primeiros responsáveis por perdas e os últimos por tempo de ocupação/homem relativamente elevado na sua substituição quando se encontram danificados. Estes problemas poderão ser atenuados com a introdução de balastros electrónicos que têm menores perdas e evitam a utilização de arrancadores. Foi já visto que tal substituição não poderá ocorrer em toda a zona fabril, dado que os mesmos balastros electrónicos apresentam problemas de fiabilidade em locais com grandes humidades, contudo, locais como cais de expedição, zona de embalagem, cais de exportação e zona de serviços administrativos, podem e devem ser gradualmente substituídos.

Medida 6 – Reinstalação do programa de abastecimento de combustíveis. Trata-se de implementar uma medida que já foi aprovada e testada na empresa. Cada viatura que abasteça na bomba da empresa, regista informaticamente os Km`s percorridos e os litros do abastecimento. Desta forma, obtêm-se um relatório diário das médias de consumos das viaturas, podendo desta forma actuar preventivamente nos consumos dos mesmos e na acção de sensibilização aos motoristas de mercadoria.

Medida 7 – Criação de mapa de detecção de fugas de ar comprimido. O ar comprimido é responsável por 5,72% do consumo de energia da empresa. A optimização da rede passará pela utilização correcta do ar comprimido e pela detecção e reparação de fugas na rede interna. Para tal é necessária a colaboração dos operadores na detecção da fuga e do procedimento correcto e atempado da manutenção fabril. Esta, por sua vez, deverá reparar e assinalar o local e o tipo de fuga existente, para que, caso este seja recorrente, possa ser alterada a tubagem ou os componentes da linha de ar comprimido.

Medida 8 – Política de substituição de motores eléctricos convencionais. Implementar um plafon possível, para que o departamento de manutenção possa ir

substituindo os motores eléctricos que avariem, ou que se encontram em fim de vida, por motores eléctricos mais eficientes, EFF1 ou EFF2. Uma vez que a utilização do motor eléctrico está generalizado por toda a instalação, já que são empregues em bombas, ventiladores, compressores, misturadores, picadoras, guinchos, tapetes rolantes, etc., não haverá necessidade de seleccionar previamente qual o motor a substituir, pelo que ao simples facto de um destes avariar deve ser considerada a hipótese da compra de um novo com melhor rendimento. Preferencialmente, serão escolhidos os que trabalhem mais horas na empresa.

Medida 9 – Aplicação de Variadores electrónicos de Velocidade-VEV. Sempre que possível, preferencialmente em máquinas onde seja desejável o controlo da velocidade do motor, deverá ser aplicado variadores electrónicos de velocidade. Estes apresentam inúmeras vantagens onde se podem destacar: redução dos picos de potencia; aumento da durabilidade do motor; amplas gamas de velocidade, binário e potencia; melhorias de controlo de processo; e a consequente poupança de energia. Os órgãos mecânicos do motor eléctrico, rolamentos, sofrem menos desgaste, uma vez que não têm tantos picos de potência e desta forma o motor trabalha mais horas com menos esforço adicional para vencer a fricção causada por rolamentos em mau estado.

Medida 10 – Substituição dos projectores de iluminação da rua. A empresa tem instalado oito projectores para iluminar as imediações da unidade fabril. Cada um desses projectores equipados com lâmpadas de 400 W de vapor de mercúrio de alta pressão pode ser substituídos por novos projectores de leds de 45 W. Estamos a falar de uma redução de praticamente 90%, com vantagens adicionais para além do consumo energético. A durabilidade do Led é maior assim como a manutenção que a troca de lâmpadas acarreta. A própria eficiência energética dos Led's é superior a qualquer outro tipo de iluminação, não emitem luz ultra-violeta nem emitem radiação infravermelha. Como o consumo é bastante inferior a instalação eléctrica existente para os velhos projectores serve na perfeição para alimentar os novos projectores a Led, ficando a cablagem sobredimensionada, evitando perdas por aquecimento dos cabos.

Medida 11 – Estudar, projectar e propor sistema de Cogeração. Esta medida é a mais arrojada de todas, a mais dispendiosa, mas também é aquela medida que poderá inverter definitivamente as necessidades energéticas da empresa. Pelo que se pode observar, existe na empresa uma necessidade contínua de produção de vapor e de energia eléctrica. Desta forma, a organização poderia implementar um sistema de cogeração, que produz energia eléctrica que poderia ser injectada na organização ou vendida à empresa fornecedora de energia eléctrica. As perdas associadas ao motor de combustão interna (ciclo Otto), seriam aproveitados para a produção de vapor necessário nos diversos pontos da fábrica já mencionados.

PARTE II
A TRIGERAÇÃO COMO MEDIDA DE
RACIONALIZAÇÃO APLICADA À INDÚSTRIA
AGRO-ALIMENTAR

7- SISTEMAS DE COGERAÇÃO E TRIGERAÇÃO

7.1- Vantagens da adopção de um sistema de cogeração ou trigeração.

A cogeração é, por definição, um processo de produção combinada de energia térmica e de energia eléctrica, num sistema integrado, a partir de uma única fonte de combustível. O calor produzido pode ser utilizado directamente no processo industrial, bem como recuperado e convertido para utilização em aquecimento de espaços, aquecimento de água e em chillers de absorção para produção de frio (trigeração).

Uma empresa com necessidades energéticas térmicas (de frio e de vapor) terá, em princípio, grandes vantagens na aplicação de um sistema de trigeração. Se essas necessidades energéticas se fizerem sentir durante mais de 4500 horas as vantagens tornam-se bastante evidentes. No caso em concreto, de uma indústria alimentar, com necessidades de vapor durante 260 dias/ano e 16 horas por dia, perfaz uma necessidade energética de vapor de 4160 horas. Contudo, se aliarmos este tempo de laboração com o tempo de necessidade do sistema de refrigeração das diversas câmaras e salas de fabrico, obtemos a totalidade das horas possíveis no ano. De facto, mesmo não se encontrando pessoal em laboração, o sistema de frio de algumas salas e câmaras de refrigeração apresentam necessidades de funcionamento durante as 24 horas e durante os 365 dias do ano. Como tal, as vantagens de um sistema de trigeração (cogeração e chiller de absorção) são relevantes para este tipo de indústria.

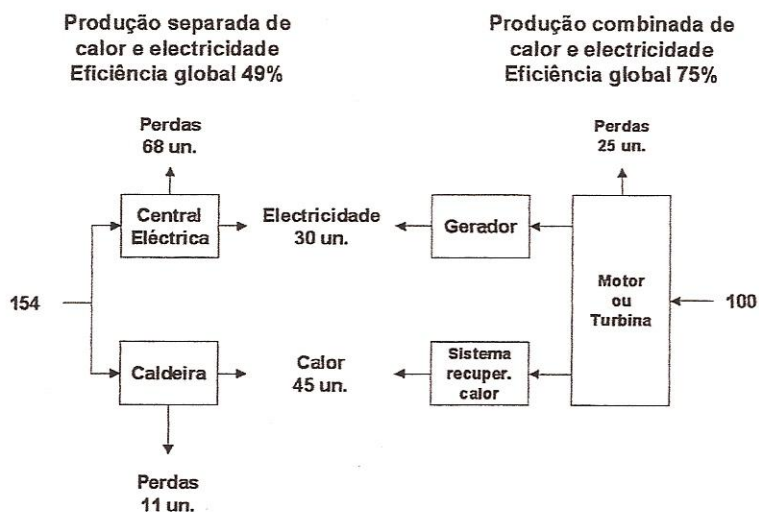


Figura 16 - Exemplo de comparação entre produção convencional e cogeração [8]

Como se pode perceber da figura anterior os sistemas de cogeração requerem apenas 65% da energia primária, quando comparado com os dois sistemas em separado.

Os chillers de absorção, em vez de utilizarem um motor eléctrico, como acontece nos chillers de compressão, de forma a aumentar a pressão do fluido refrigerante à saída do evaporador, recorrem à absorção de calor por parte de uma solução de amoníaco e água, ou de brometo de lítio e água. A introdução dos chillers de absorção em projectos de cogeração vai permitir o aproveitamento de calor que de outra forma seria desperdiçado. Nos chillers de absorção de combustão indirecta o calor é fornecido sob a forma de vapor em baixa pressão ou do aproveitamento de purgas quentes.

De forma a obter o máximo de rendimento da unidade de combustível, deve-se escolher um motor de rendimento elevado, de baixas emissões gasosas e garantir que a recuperação de calor dessas emissões gasosas seja o mais eficiente possível. Com esse aproveitamento ideal iremos obter menos arranques da caldeira de recuperação, e em muitos casos a sua inoperacionalidade durante longos períodos de tempo, nomeadamente nos períodos fora de laboração fabril. A introdução de um chiller de absorção, permite à empresa em estudo, aliviar a sobrecarga já existente no sistema de frio, dado que este se encontra a funcionar em plena carga nos períodos de laboração mais exigentes. Por fim, mas por ventura a característica mais importante, é a possibilidade de direccionar o calor libertado pelo processo de geração de energia eléctrica, ora para a produção de vapor ora para a produção de frio, alargando o número de horas de funcionamento da instalação.

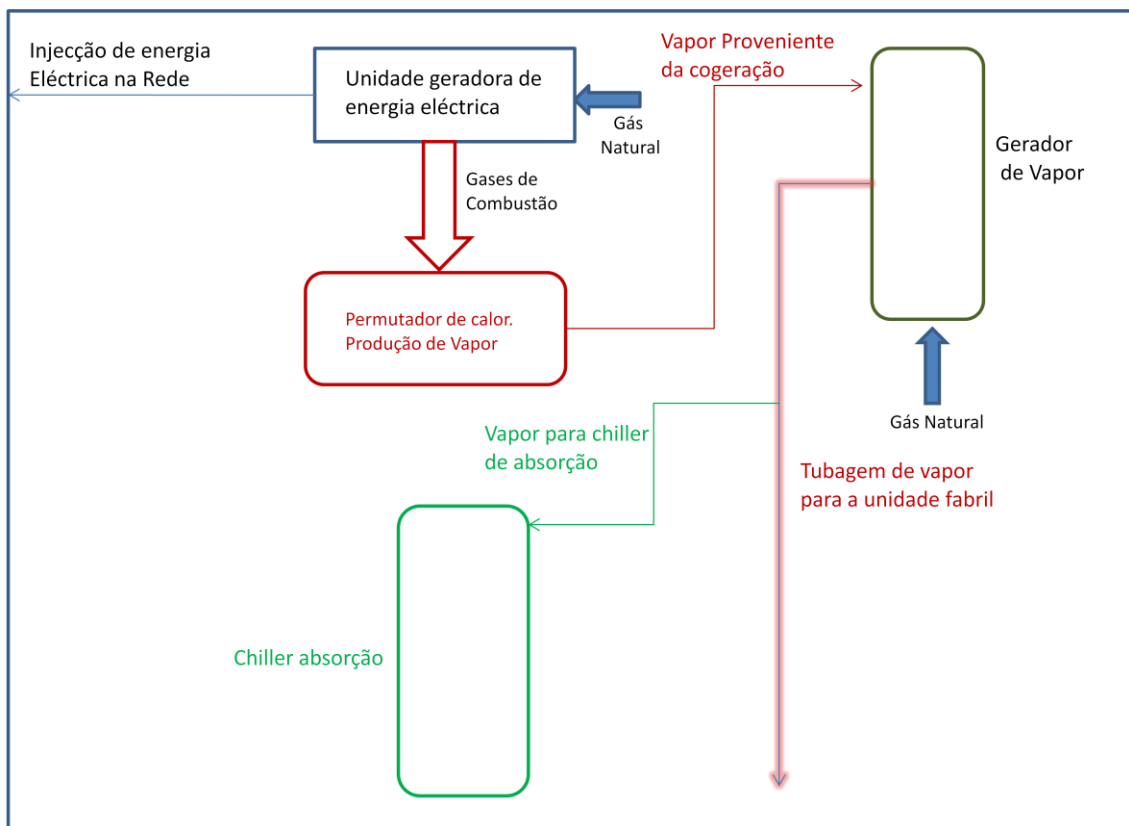


Figura 17 - Esquema de funcionamento da unidade de trigerção

Outra grande vantagem dos sistemas de cogeração, ainda que não beneficiem directamente a unidade instaladora, é a diminuição das perdas eléctricas na rede de transporte e distribuição. O facto de a produção eléctrica estar mais descentralizada e mais perto dos consumidores finais, permite equilibrar mais a rede de distribuição e minimizar as perdas eléctricas da linha de distribuição.

7.2- “Prime Movers” ou máquinas térmicas para sistemas de cogeração

A classificação dos sistemas de cogeração baseia-se no tipo de máquina térmica, “Prime Mover”, que equipam.

Actualmente, as tecnologias disponíveis para cogeração são:

- Turbina de gás (ciclo de Brayton);
- Turbina de vapor (ciclo de Rankine);
- Motor alternativo de combustão interna (ciclo Diesel ou Otto);
- Pilhas de combustível;

As pilhas de combustível apresentam ainda alguma dificuldade de implementação no mercado devido à sua tecnologia imatura e, conseqüentemente, devido a problemas de fiabilidade e rendimento.

Para a trigeração, é geralmente aceite e indicado [13] os motores de combustão interna (explosão), muitas vezes montados em grupos, de forma a satisfazer as necessidades de variação de carga. Estes são também indicados sempre que as necessidades térmicas não sejam muito significativas ou, como no nosso caso concreto, quando os consumos de energia sofrem variações ao longo do tempo. Contudo, no presente caso a instalação de um sistema de trigeração/cogeração será considerada para se obter o máximo de aproveitamento de calor e máximo de produção de energia eléctrica para venda, não para injectar na rede da instalação fabril, daí que devamos de pensar em custos de investimento mínimos e rentabilidade máxima dos equipamentos a instalar. No aproveitamento do calor dos gases de combustão, deveremos extrair energia para a produção de vapor assim como para accionamento do chiller de absorção evitando que os referidos gases baixem dos 180°C. A energia eléctrica deverá ser produzida com o motor em regime máximo de eficiência.

Este tipo de equipamento, motores de combustão interna com recurso ao ciclo Otto, apresenta, em geral eficiências globais na casa dos 75%, dos quais 30% da energia contida na unidade de combustível é convertida em energia mecânica e conseqüentemente em energia eléctrica, e 45% da energia contida na unidade de

combustível é aproveitada sob a forma de energia térmica. Os restantes 25% da energia contida no combustível perde-se para a atmosfera, podendo, em alguns casos concretos vir ainda a ser aproveitados aumentando assim a eficiência global final.

A introdução de um sistema de cogeração recorrendo à utilização de motores de combustão interna apresenta vantagens e desvantagens perante os outros mecanismos.

Assim as vantagens são:

- Arranque rápido e simples;
- Fácil adaptação do sistema a variações requeridas a jusante (térmicas ou eléctricas);
- Elevada fiabilidade mecânica;
- Pode operar sem a presença constante de um operador.

Por sua vez apresenta como principais desvantagens:

- Tempo de vida útil relativamente curto;
- Rendimento térmico aparentemente baixo;
- Custos de manutenção elevados, embora de fácil execução, obrigando a paragens frequentes do sistema.

A comparação e escolha destes tipos de sistemas poderá ser melhor entendida analisando a tabela seguinte:

Tecnologia	Turbinas a gás	Motores de explosão a GN	Motores de compressão interna	Turbinas a vapor	Micro-turbinas	Pilhas de combustível
Rendimento eléctrico	15%-35%	22%-40%	25%-45%	10%-40%	18%-27%	35%-40%
Rendimento Térmico	40%-60%	40%-60%	40%-60%	40%-60%	40%-60%	20%-50%
Rendimento Global	60%-85%	70%-80%	70%-85%	60%-85	55%-75%	55%-90%
Potência típica (MWe)	0,2-100	0,05-5	0,015-30	0,5-100	0,03-0,35	0,01-0,25
Relação Pt/Pe	1,25-2	0,4-1,7	0,4-1,7	2-10	1-2,5	1,1
Desempenho com carga parcial	Mau	Médio	Bom	Bom	Médio	Muito Bom
Investimento (€/KWe)	600-800	700-1400	700-1400	700-900	1300-2500	>2500
O&M (€/MWhe)	2-7	7-15	6-12	3	10 (estimativa)	2-12
Disponibilidade	90%-98%	92%-97%	92%-97%	99%	90%-98%	>95%
Revisões (h)	30000-50000	24000-60000	25000-30000	>50000	5000-40000	10000-40000
Arranque	10m-1h	10s	10s	1h-1dia	1m	3h-2dias
Pressão Combustível (bar)	8-35	0,07-3,1	<0,35	NA	3-7	0,03-3
Combustíveis	GN, biogás, propano	GN, biogás, propano	Diesel, óleo residual	Todos	GN, biogás, propano	Hidrogeneo, GN, propano, metanol
Ruído	Médio	Alto	Alto	Alto	Médio	Baixo
Uso do calor	Água quente, vapor AP e BP	Água Quente, vapor BP	Água Quente, vapor BP	Vapor AP e BP	Água Quente, vapor BP	Água Quente, vapor BP
Densidade de potência (KW/m2)	20-500	35-50	35-50	>100	5-70	5-20
NOx (Kg/MWh total)	0,2-2	0,5	1-14	0,9	0,07	0,01

Tabela 9 - Características operacionais e custos típicos dos diferentes tipos de sistemas de cogeração [13]

A escolha do tipo de máquina térmica para o sistema de cogeração recai nos motores de combustão interna por diferentes factores, dos quais se destacam as vantagens anteriormente mencionadas e pela relativa facilidade com que se poderá instalar o sistema e adaptar às instalações já existentes na unidade fabril, nomeadamente a proximidade do local de instalação ao gerador de vapor existente, à rede de frio industrial, à tomada de GN, assim como possibilidade de isolamento de ruído do referido equipamento. Estando numa extremidade da unidade fabril não inviabilizará futuras alterações ou modificações do Lay-Out do processo industrial.

7.3- Legislação em vigor

De forma a melhor compreender a evolução da Cogeração em Portugal e como forma sustentada de apresentação de uma candidatura de apoios à instalação de uma unidade de cogeração, deve-se avaliar a evolução jurídica que a cogeração sofreu ao longo dos anos.

Assim temos:

- *Lei nº 2002 de 26 de Dezembro de 1944.*

- Electrificação do país. Reconhece a importância da figura do pequeno produtor de energia eléctrica.

- *Decreto-Lei nº 502/76, de 30 de Julho.*

- Criação da empresa pública Electricidade de Portugal, EDP. Prevê a figura do pequeno produtor de energia eléctrica.

- *Decreto-Lei nº 20/81 de 28 de Janeiro.*

- Descreve algumas das medidas que levam ao princípio do incentivo à autoprodução da energia eléctrica.

- *Lei nº 21/82, de 28 de Julho.*

- Descreve o produtor independente de energia eléctrica, assim como a possibilidade de este proceder à distribuição.

- *Decreto-Lei nº 189/88, de 27 de Maio.*

- Regula a actividade de produção de energia eléctrica, descreve os requisitos instaurados para o mesmo. Como consequência, originou a um desenvolvimento das instalações de cogeração, e levou à necessidade de autonomização do enquadramento legal da cogeração.

- *Decreto-Lei nº 186/95, de 27 de Julho.*

- Dá-se a separação legislativa das várias formas de produção de energia eléctrica, aplicando-se exclusivamente à produção de energia empregando tecnologia de cogeração. Resulta ainda na descrição dos parâmetros e regras quantitativas aplicáveis à cogeração.

- *Decreto-Lei nº 538/99, de 13 de Dezembro.*

- Estabelece a criação do mercado interno de electricidade e a defesa do ambiente, aproximando os objectivos das políticas ambientais com as políticas energéticas do país e regulamenta a actividade da cogeração.

- *Decreto-Lei nº 313/2001, de 10 de Dezembro.*

- Reformula-se as condições a que devem obedecer as instalações de cogeração, procede-se à clarificação das situações de coexistência de duas ou mais instalações de cogeração. Neste Decreto-Lei procede-se ao ajustamento do âmbito de aplicação do mecanismo de gestão conjunta de energia e clarifica-se a diferenciação de tarifário aplicável ao fornecimento para a rede do SEP da energia eléctrica produzida em instalações de cogeração, relativamente à utilização dos vários tipos de combustíveis.

- Despacho nº 7127/2002 de 14 de Abril

- Neste despacho revê-se a fórmula de cálculo da renumeração pelo fornecimento da energia entregue à rede, das instalações de cogeração licenciadas. Fixa-se ainda os valores de referência já previstos na Portaria 313/2001.

A fórmula de cálculo que é fixada é dada por:

$$REE = \frac{E}{\left(C - \left(\frac{T}{0,9 - 0,2X \left(\frac{CR}{C} \right)} \right) \right)}$$

Em que REE é um coeficiente adimensional designado rendimento eléctrico equivalente, E é a energia eléctrica produzida anualmente, T é a energia térmica útil consumida anualmente, C é a energia primária consumida anualmente e avaliada a partir do poder calorífico inferior dos combustíveis usados e CR é o equivalente energético dos recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos consumidos. E, T, C e CR são expressos nas mesmas unidades de energia.

O rendimento eléctrico equivalente tem um valor mínimo, o qual é diferenciado em função do combustível usado. Assim, tem-se:

REE ≥ 0,55 para o caso do gás natural e gás de petróleo liquefeito.

REE ≥ 0,50 para o caso do fuelóleo

REE ≥ 0,45 para o caso de instalações de biomassa.

De notar que caso CR=0 (sem recursos a energias renováveis) e se se usar gás natural, a fórmula anterior toma a forma de:

$$REE = \frac{E}{(C - \frac{T}{0,9})} \geq 0,55$$

- *Portaria 399/2002, de 18 de Abril*

- As alterações que o Decreto-Lei nº 313 provocaram no Decreto-Lei nº 538, levaram a modificações de algumas regras práticas. Esta Portaria vai clarificar algumas disposições estabelecidas e a medição de determinadas variáveis. Os exames periódicos e as auditorias visam a verificação do valor do rendimento eléctrico equivalente, REE e estabelece ainda a necessidade da medição em contínuo, e seu respectivo registo, de alguns parâmetros importantes.

- *Portaria 57/2002 de 15 de Janeiro*

- A presente portaria tem por finalidade estabelecer o tarifário aplicável às instalações de cogeração, licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 538/99, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº 313/2002, cuja potência de ligação à rede do SEP seja superior a 10 MW, utilizando como combustível gás natural, GPL ou combustíveis líquidos, com excepção do fuelóleo, bem como as disposições relativas ao período de vigência das modalidades do mesmo tarifário.

- *Portaria 58/2002 de 15 de Janeiro*

- A presente portaria tem por finalidade estabelecer o tarifário aplicável às instalações de cogeração, licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 538/99, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº 313/2002, cuja potência de ligação à rede do SEP seja inferior a 10 MW, utilizando como combustível gás natural, GPL ou combustíveis líquidos, com excepção do fuelóleo, bem como as disposições relativas ao período de vigência das modalidades do mesmo tarifário.

- *Portaria 59/2002 de 15 de Janeiro*

- A presente portaria tem por finalidade estabelecer o tarifário aplicável às instalações de cogeração, licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 538/99, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº 313/2002, utilizando como combustível fuelóleo, bem como as disposições relativas ao período de vigência das modalidades do mesmo tarifário.

- *Portaria 60/2002 de 15 de Janeiro*

- A presente portaria tem por finalidade estabelecer o tarifário aplicável às instalações de cogeração, licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 538/99, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº 313/2002, que sejam utilizadores de energia

primária que, em cada ano, seja constituída em mais de 50% por recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos, independentemente da potência de ligação.

7.4- Princípio de Funcionamento

Falar-se de Trigeração implica falar-se de Cogeração com a aplicação de um Chiller de absorção para produção de frio. Assim, dever-se-á expor o funcionamento destes dois mecanismos para se obter o funcionamento do mecanismo de trigeração.

Num chiller de ciclo de absorção, a compressão do vapor do refrigerante é efectuada pelo absorvedor, pela bomba de solução e pelo gerador em combinação, em vez do compressor mecânico de vapor. O vapor gerado no evaporador é absorvido por um líquido absorvente no absorvedor. O absorvente que retirou o refrigerante, mais diluído por essa acção, é bombeado para o gerador onde o refrigerante é libertado como vapor, o qual será condensado no condensador. O absorvente regenerado ou mais concentrado é então devolvido ao absorvedor para captar de novo vapor de refrigerante. É fornecido calor ao gerador a uma temperatura relativamente elevada, ao passo que o calor de absorção da secção do absorvedor é dissipado, a um nível de temperatura relativamente baixo, por circulação de água do condensador.

Na figura seguinte exemplifica-se o funcionamento da máquina:

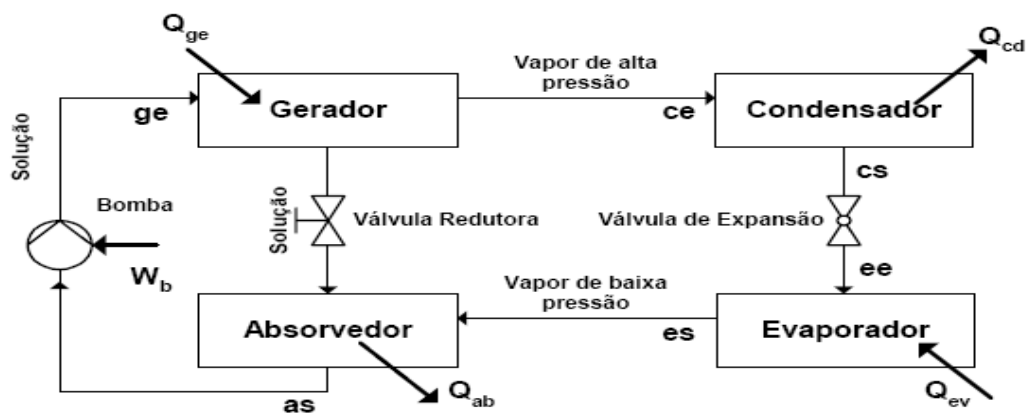


Figura 18 - Sistema de refrigeração por absorção [14]

Os componentes de um sistema de refrigeração por absorção são:

- o gerador, onde se processa a separação da solução em refrigerante e substância absorvente.
- o condensador, onde o refrigerante é condensado e há transferência de calor para o meio.

- a válvula de expansão, cuja função é reduzir a pressão do fluxo do refrigerante do nível do condensador para o nível do evaporador.
- o evaporador, onde o refrigerante passa da fase líquida para a fase vapor, devido ao calor transferido para a área a ser refrigerada.
- o absorvedor, onde o refrigerante é absorvido pela substância absorvente, com transferência de calor para o meio.
- bomba de solução, que efectua a transferência da mistura pobre em absorvente do absorvedor para o gerador.

O sistema de absorção tem essencialmente energia térmica consumida, uma vez que a energia eléctrica consumida pela bomba de solução é muito menor que as quantidades de energia térmica envolvida pelo sistema completo.

Uma análise comparativa do ciclo por absorção com o ciclo por compressão de vapor, como representado na figura seguinte, mostra que os componentes evaporador, condensador e válvula de expansão são comuns aos dois ciclos. A função executada pelo compressor, o aumento do nível de pressão e temperatura, no ciclo por absorção é executada pelo conjunto absorvedor-bomba-gerador, que são os equipamentos onde ocorrem os processos de separação e mistura do par de trabalho do ciclo de absorção.

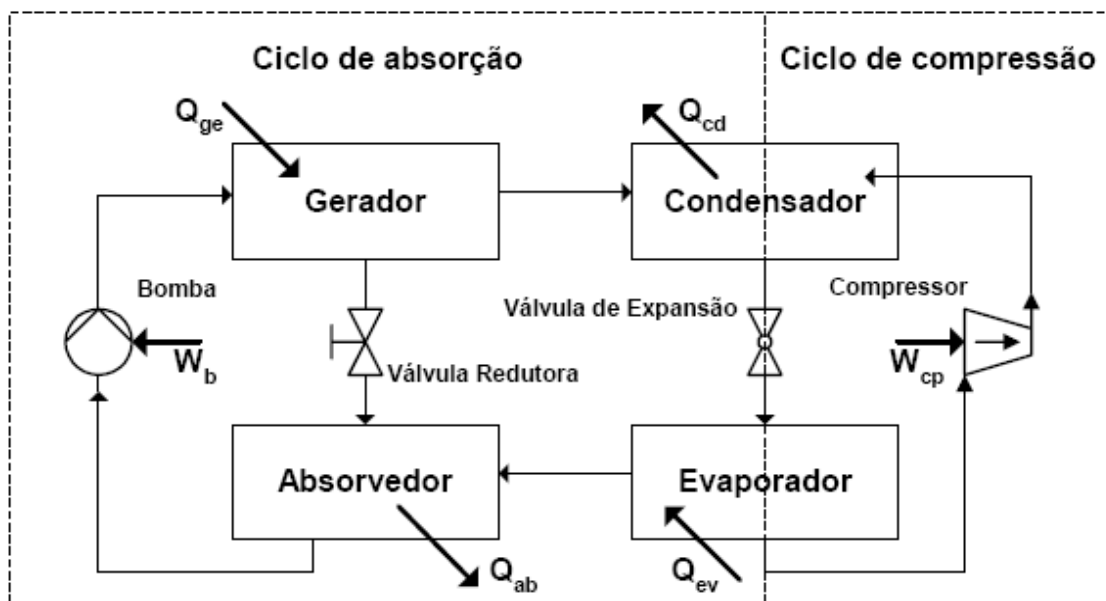


Figura 19 - Comparação entre os ciclos por compressão e por absorção [14]

O refrigerante e o absorvente num ciclo de absorção designa-se de par de trabalho do chiller. Dois tipos de pares de trabalho têm vingado no mercado, o par água-Brometo de Lítio e o par água-amoníaco. O par água Brometo de lítio é mais usado para temperaturas positivas ao passo que o par água-amoníaco é mais utilizado para

temperaturas negativas. No caso concreto, uma vez que necessitamos de fluído refrigerante a circular a temperaturas negativas (de -10°C a -8°C) optar-se-á pelo par de trabalho água-amoníaco. Outro factor de escolha para o par em causa é o facto de existir já amoníaco na instalação fabril e haver conhecimento de manutenção e reparação de equipamentos funcionando com amoníaco.

7.5- Estimativas de custos e benefícios

Com o intuito de estimar as necessidades energéticas de vapor procedeu-se ao estudo do consumo de gás da empresa num período de 4 semanas.

Na tabela seguinte poder-se-á interpretar as necessidades de vapor ao longo da semana e desta forma estimar as necessidades anuais de vapor.

Dia	Dia Semana	M ³ totais	H abate [horas]	H vazio [horas]	H só trabalho caldeira [horas]	Consumo gás prod. Vapor [m ³]
15-2	3 ^a	1299	3	8	16	1139
16-2	4 ^a	1553	5	8	16	1153
17-2	5 ^a	1494	5	11	13	1094
18-2	6 ^a	1148	4	9	15	908
19-2	S	0	0	0	0	0
20-2	D	115	0	0	0	115
21-2	2 ^a	1739	6	9	15	1259
22-2	3 ^a	1352	5	5	19	1112
23-2	4 ^a	1724	6	8	16	1244
24-2	5 ^a	1656	5	8	16	1256
25-2	6 ^a	1047	6	9	15	567
26-2	S	1	0	0	0	1
27-2	D	147	0	2	3	147
28-2	2 ^a	1746	6	9	15	1186
1-3	3 ^a	1533	4	8	16	1293
2-3	4 ^a	1665	6	9	15	1185
3-3	5 ^a	1635	5	7	17	1235
4-3	6 ^a	1315	5	9	15	1075
5-3	S	0	0	0	0	0
6-3	D	152	0	3	2	152
7-3	2 ^a	1745	7	8	16	1185
8-3	3 ^a	103	0	1	2	103
9-3	4 ^a	1776	6	7	17	1296
10-3	5 ^a	1697	5	8	18	1297
11-3	6 ^a	1343	6	9	15	1073
12-3	S	0	0	0	0	0
13-3	D	0	0	0	0	0
14-3	2 ^a	1656	6	8	16	1176

Tabela 10 - Tabela de consumos de gás Natural/Trabalho de gerador de Vapor

Pelo que se pode constatar da tabela anterior, o consumo total de gás nessas 4 semanas foi de 29641m³, ao passo que o consumo de gás destinado à produção de vapor foi de 22251m³.

Dessa forma e extrapolando para as 52 semanas anuais obtemos:

Consumo total anual de gás natural: 385333m³

Consumo de gás natural para produção de vapor: 289263m³

Cálculo da energia térmica (vapor) anual:

PCI = 37,9 MJ/m³

$E_{\text{term}} = 289263 \text{ m}^3 \times 37,9 \text{ MJ/m}^3$

$E_{\text{term}} = 10963067 \text{ MJ (Anual)}$

$$P = \frac{E}{\text{tempo}} = \frac{10963067,7 \text{ MJ}}{(52 \text{ sem} \times 5 \text{ dias} \times 16 \text{ horas} \times 3600 \text{ seg})} = 0,732 \text{ MW}$$

$$P = 732 \text{ KW}$$

Após análise de unidades de cogeração instalados em Portugal e devido às características apresentadas pelos diversos fabricantes, optou-se por uma unidade da Caterpillar, o G3516. No quadro seguinte apresentam-se algumas das características do mesmo:

G3516

Características Gerais

Potência Mecânica	1070KWm
Potência Eléctrica	1042 KWe
Rendimento Eléctrico	38%
Taxa de Compressão	12:01
Rotação	1500 rpm

Dimensões

Peso	12920 Kg
Comprimento	5041 mm
Largura	2671 mm
Altura	2253 mm

Combustível

Pressão min. Gás	150 mbar
Consumo GN	260.6 m ³ /h
Consumo GN PCI	2744 KWh

Óleo

Capacidade do Cárter	401 L
Consumo Médio Óleo	482 g/h

Tabela 11 - Características do motor de Cogeração.

Se considerarmos o aproveitamento de calor dos gases como sendo 40%, valor de referência mais baixo, o aproveitamento situar-se-á nos:

$$2744 \text{ KWh} \times 0,40 = 1097,6 \text{ KWh}$$

O chiller equacionado foi o Chiller AGO Congelo, com um consumo de vapor de 790 Kg/hora, que representa 650 KW de potência térmica. Desta forma a totalidade de calor de exaustão do cogedor será empregue, na produção de vapor para o processo de fabrico ou para o chiller de absorção.

De forma a avaliar a viabilidade do sistema de cogeração, e segundo o Despacho nº 7127/2002 temos:

$$REE = \frac{E}{\left(C - \left(\frac{T}{0,9 - 0,2 \times \left(\frac{CR}{C}\right)}\right)\right)}$$

Uma vez que não há recurso a energias renováveis a fórmula passará a ser:

$$REE = \frac{E}{\left(C - \left(\frac{T}{0,9}\right)\right)} = \frac{1042}{2744 - \left(\frac{1097,6}{0,9}\right)} = 0,68$$

O valor do Rendimento Eléctrico Equivalente é maior de 0,55, pelo é viável no âmbito do referido Despacho.

Com esta configuração, produção de energia eléctrica, produção de vapor e capacidade de refrigeração através do chiller de absorção, a empresa ganha algumas vantagens imediatas que será bom mencionar:

- Ganha autonomia energética, dado que o gerador em si é suficiente para produzir a energia eléctrica em caso de avaria da rede de distribuição exterior.
- Reduz o funcionamento do gerador de vapor, dado que este apenas deverá funcionar nos períodos de pico instantâneos de consumo de vapor. O gerador deverá ser mantido ligado e regulado para uma pressão de funcionamento mais baixo do que o cogedor, de forma a só ser accionado quando o consumo de vapor exceder a capacidade de produção do cogedor.
- A instalação fabril ganha capacidade de refrigeração e permite fazer baixar o número de compressores de amoníaco em funcionamento. Tendo em conta o COP de um chiller de absorção e o COP de um chiller de compressão, pode-se estimar que o chiller em causa deverá equivaler a 2 compressores de 55 KW cada.

Os aspectos evidenciados são os principais pontos de ganhos energéticos provenientes para a instalação fabril. Outros ganhos energéticos poderão ser ainda equacionados, entre eles a possibilidade de renegociar preços de GN mais atractivos, uma vez que se passará a consumir mais, e ainda a possibilidade de introduzir novos processos de produção à base de tratamentos térmicos ou sistemas de lavagem recorrendo a água quente, sem que isso implique aumentos significativos nos custos de produção.

Importa ainda estimar o pay-back do investimento e os custos a ele associados. Para tal socorremo-nos do simulador existente na página Web da COGEN.

O Simulador do Cogrador (“*CHP Simulator*”) consiste numa aplicação informática que permite calcular a remuneração referente à energia eléctrica que é injectada na rede por uma central de cogeração.

Este simulador integra a metodologia de cálculo da remuneração de energia eléctrica de acordo com as Portarias 57/2002, 58/2002, 59/2002 e 60/2002, todas de 15 de Janeiro, no âmbito do Decreto-Lei 538/99 de 13 de Dezembro com as modificações introduzidas pelo Decreto-Lei 313/2001 de 10 de Dezembro que estabelece as regras para a actividade de produção combinada de calor e electricidade (cogeração).

Esta aplicação permite avaliar a rentabilidade de um projecto de cogeração tendo em conta diversos parâmetros dos quais se salientam:

- Potência eléctrica da central;
- Rendimento eléctrico e global da central;
- Período de funcionamento anual (horas de funcionamento anuais);
- Tipo de combustível, respectivo poder calorífico e custo de aquisição;
- Duração do projecto;
- Investimento;
- Custos fixos e variáveis de exploração da central de cogeração.

Feitas 3 simulações pode-se prever o payback espectável. No primeiro quadro as 3 simulações não apresentam diferenças excepto o valor associado ao COP do ciclo de absorção, uma vez que o valor de referência colocado pelo simulador é de 0,8 e na bibliografia técnica esse valor é mais referenciado como sendo de 0,7.

O número de horas estimadas para a unidade de cogeração é um número calculado num limite inferior, dado que, pela introdução do chiller de absorção, e pelo facto de a unidade de cogeração poder trabalhar em vários regimes de rotação, consoante as necessidades de vapor exigidas, permite que a mesma possa estar ligada 24 horas por dia.

Contudo não nos podemos esquecer que o preço de venda da energia eléctrica também varia e que deve ser encontrado o ponto crítico de funcionamento, abaixo do qual se deve desligar o cogrador. Esse ponto crítico está mais relacionado com o funcionamento do chiller do que com os processamentos térmicos industriais que exigem vapor, dado que estes, na hora do super-vazio se encontram desligados, e consequentemente, sem consumirem vapor.

DADOS BASE	SIMULAÇÃO 1	SIMULAÇÃO 2	SIMULAÇÃO 3
Potência Eléctrica Total (KW)	1070	1070	1070
Potência Eléctrica (ex. auxiliares) (KW)	1042	1042	1042
Funcionamento anual (horas)	4500	4500	6000
Rendimento Eléctrico (%)	38	38	38
Rendimento Global Cogeração (%)	80	80	80
Rendimento Produção térmica alternativa (%)	90	90	90
Combustível	GN	GN	GN
Produção Frio (S/N)	SIM	SIM	SIM
COP (Ciclo absorção)	0,8	0,7	0,7
COP (Ciclo Compressão)	3,0	3,0	3,0
PCI Combustível (MJ/m3(n))	38,39	38,39	38,39
PCS Combustível (MJ/m3(n))	42,47	42,47	42,47
Custo Combustível-pci (€/MWh)	27,92	40	40
Custo Energia Eléctrica (€/MWh)	60	60	60
Tarifa GN (€/MWh)	27,92	27,92	27,92

Tabela12 - Tabela Comparativa do Simulador COGEN - Dados Base

No cálculo da rentabilidade alterou-se o custo do investimento nas 3 simulações. O simulador não permite valores superiores a 1000 €/KWe, mas esse valor pode ser superior, como se pode constatar em bibliografia técnica. Também neste quadro se pode modificar as horas da modelação tarifária, contudo o simulador assume uma distribuição da carga horária diferente da introduzida, e essa distribuição horária é menos vantajosa economicamente. Dado que os maiores consumos de energia térmica ocorrem no período de horas de ponta e de horas cheias, o cogrador deverá encontrar-se a funcionar em plena carga nesse mesmo período.

CÁLCULO DE RENTABILIDADE	SIMULAÇÃO 1	SIMULAÇÃO 2	SIMULAÇÃO 3
Investimento (€/KWe)	700	700	1000
Capital Próprio (%)	20	20	20
Taxa fixa (%)	5	5	8
Duração do empréstimo (anos)	10	10	10
Periodo de Vencimento (Inicio / Fim)	Início	Início	Início
Custos Fixos (€)	5000	10000	3000
Custos variáveis (€/KWh)	0,0075	0,007	0,007
Modulação Tarifária (Sim/Não)	SIM	SIM	SIM
Nº horas de Ponta	950	950	950
Nº horas de Cheias	3000	3000	3000
Nº horas de Vazio	290	290	1000
Nº horas de Super Vazio	260	260	1050

Tabela 13 - Tabela Comparativa do Simulador COGEN - Cálculos de Rentabilidade

RESULTADOS	SIMULAÇÃO 1	SIMULAÇÃO 2	SIMULAÇÃO 3
Consumo			
Energia Combustível (MWh)	12671.05	12671.05	16894,74
Consumo de Combustível (m3(n))	1188220.37	1188220.37	1584294,45
Energia combustível não renovável (MWh)	12671.05	12671.05	16894,74
Recuperação de Energia			
Energia Térmica (MWh)	5321.84	5321.84	7095.79
Energia Térmica (frio) (MWh)	4257.47	3725.29	4967.05
Custos			
Combustível (€)	353776	506842	675790
Produção de ET (€)	165095	236526	315368
Produção de ET (frio) (€)	85149	74506	99341
Investimento			
Investimento Total (€)	749000	749000	1070000
Total a financiar (€)	749000	749000	1070000
Capital próprio (€)	149800	149800	214000
Financiamento Externo (€)	599200	599200	856000
Montante das anuidades (€)	73904	73904	118120
Tarifa de Cogeração			
Potência Eléctrica de Cogeração (MW)	1.04	1.04	1.04
REE (%)	69.39	69.39	69.39
Ponta (horas)	489.6	489.6	652.7
Cheias (horas)	1871.9	1871.9	2495.9
Vazio (horas)	1388.5	1388.5	1851.4
Super Vazio (horas)	750	750	1000
Remuneração da cogeração (€/MWh)	127.39	127.39	109.12
Tarifa GN			
Tarifa GN (€/MWh)	27.92	27.92	27.92
Custos de Exploração			
Custos de combustível (€)	353776	506842	675790
Custos Fixos (€)	5000	10000	3000
Custos Variáveis (€)	35168	32823	43764
Total (€)	393944	549665	722554
Proveitos			
Venda de E.E. (€)	597330	597330	682191
Valorização da E.T. (€)	85149	74506	99341
Balanço			
Total de Proveitos (€)	682479	671836	781532
Total de custos (€)	393944	549665	722554
Margem bruta de exploração (€)	288535	122171	58978
Anuidade do financiamento (€)	73904	73904	118120
Balanço (€)	214631	48267	-59142
Payback simples (anos)	2.6	6.13	18.14
TIR do projecto (%)	36.85	10.05	-9,58

Tabela 14 - Tabela Comparativa do Simulador COGEN - Resultados

Na situação mais favorável o payback seria de 2.6 anos, ao passo que na situação mais desfavorável esse seria de 18.14 anos. As diferenças residem essencialmente no custo de aquisição e montagem do equipamento, no custo do combustível e necessariamente no número de horas de utilização. Como se pode ver o aumento do número de horas pode não ser vantajoso, pois a remuneração da cogeração baixa, mas o preço do combustível é fixo. Assim, a unidade de cogeração deverá, essencialmente, produzir energia eléctrica nas horas de ponta e nas horas de cheia.

Também a volatilidade dos mercados financeiros e conseqüentemente das taxas de juro aplicadas poderão questionar o investimento e o tempo de retorno do mesmo, pelo que o timing e condições de contrato de gás natural deverão ser muito importantes para o sucesso do projecto.

Os custos fixos, aqui apontados como sendo de 3000€/ano poderão ser excessivos dado que a unidade de cogeração irá trabalhar sem custos adicionais de pessoal ou de instalações físicas, dado que estes já existem e estão ao serviço da organização.

Ainda analisando o quadro de resultados, podemos observar que um dos factores que permite dar viabilidade a este projecto é a introdução do chiller de absorção e que esta tecnologia, tendo um COP ainda relativamente baixo, deve ser encarada como uma solução a longo prazo com grandes possibilidades de progressão.

8- CONCLUSÃO

Este trabalho teve como propósito analisar uma auditoria efectuada à empresa agro-alimentar em causa e procurar novas abordagens e novos pontos de vista com o propósito de melhorar o consumo energético da empresa.

A empresa nestes 4 anos, de 2006 a 2010, teve um crescimento de consumo de 16,86%, acompanhado com um crescimento da produção de 37,54% que teve como resultado da evolução do consumo específico a sua diminuição em 15,5%. O facto do consumo específico ter baixado substancialmente leva-nos a pensar que muito há ainda por fazer e que só quando nos começarmos a aproximar de valores quase constantes estaremos a trabalhar perto de um ponto aceitável.

A indústria agro-alimentar e a sua necessidade de refrigeração associada, leva a que se procure rentabilizar ao máximo os custos inerentes ao processo. Como já foi descrito o custo da produção de frio poderá estar associado a uma má utilização dos recursos existentes mas também poderá ser minimizada com a introdução de tecnologia mais recente e mais cuidada.

Como resultado desta análise, surge um conhecimento mais profundo, por parte do autor, dos gastos energéticos da empresa e das fragilidades energéticas da mesma. São sugeridas novas medidas de racionalização energética e proposto um projecto de trigeração. O momento económico e financeiro que o país vive, e cujo impacto se repercute na organização, não sendo favorável, trava ou atrasa algumas das medidas propostas. Outras há que não influenciam o orçamento de tesouraria da organização, pelo que a informação correcta pode ser suficiente para superar os obstáculos à sua concretização.

No caso da presente indústria, já deu mostras de pretender caminhar no sentido de melhorar a eficiência energética, mas para o incentivo não esmorecer, dados económicos daí resultantes devem ser divulgados a fim de caminhar para etapas mais arrojadas e economicamente com um payback mais longo. Refiro-me naturalmente à proposta de montagem de uma unidade de trigeração que deve ser encarada, não só como uma forma de redução do consumo específico, mas também como um complemento de negócio que poderá ser lucrativo para a empresa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gomes, Álvaro. Programa de racionalização de Consumos. Auditorias Energéticas. DEEC, UC: MEEC – Gestão de energia em edifícios e na indústria, 2004/2005.
- [2] Gaspar, Carlos. Eficiência Energética na Indústria, S.I. Cursos de utilização racional de energia, ADENE
- [3] Michael Moran, Howard Shapiro. Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Adriano Oliveira, Luis. Dissertação e Tese em ciência e Tecnologia. Edições Lidel
- [5] Gomes, Álvaro. Produção Autónoma de Energia, Gestão de Energia em Edifícios e na Indústria. 2004/2005
- [6] Smith, William. Principles of Materials Science and Engineering- Second Edition. McGraw-Hill
- [7] Auditoria Energética da empresa “A”- Setembro de 2007
- [8] Nascimento, Marcelino. Eficiência Energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial – Electrobrás 2005
- [9] EDR, Energy Efficiency Practices in Industrial Refrigeration – Design Brief
- [10] Energy Efficiency Best Practice Guide_Industrial Refrigeration – Sustainability Victoria
- [11] Brodribb, Mark, In From the Cold, Strategies to increase the energy efficiency of non-domestic refrigeration in Australia and New Zealand, Mark Ellis and Associates
- [12] Good Practice Guide, Industrial Refrigeration, EECA Business
- [13] Ribeiro de Sá, André, Guia de aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética; Publindústria.
- [14] Junior, Silvio Oliveira, Sistemas de Refrigeração por Absorção, 2004.