

Análise e Optimização dos Consumos de Utilidades (vapor e energia eléctrica) na Petibol

Maria João Silva Barbosa Pinto Caldeira

Outubro de 2010

Orientador: Dr^a Albina Ribeiro, Dr^a Paula Neto e Eng^o João Venâncio

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestrado em Engenharia Química

Ramo - Optimização Energética na Indústria Química

Análise e Optimização dos consumos de utilidades (vapor e energia eléctrica) na Petibol – Embalagens de Plásticos, S.A.



Orientador na empresa: Eng.º João Venâncio

Orientadores no ISEP: Doutora Albina Ribeiro e Doutora Paula Neto

Número: 1030725

Aluna: Maria João Silva Barbosa Pinto Caldeira

Agradecimentos

Quero agradecer à administração da empresa Petibol, pela oportunidade de estágio, por tornar possível o meu primeiro contacto com a Indústria.

Quero agradecer ao meu orientador na empresa, Eng. João Venâncio, pelo apoio, preocupação, disponibilidade e incentivo que demonstrou ao longo desta experiência, mas quero principalmente agradecer tudo que aprendi com ele.

Quero agradecer às minhas orientadoras, Doutora Paula Neto e Doutora Albina Ribeiro, pelo apoio, disponibilidade, paciência e incentivo durante toda esta jornada.

Gostaria de agradecer a duas pessoas muito importantes que sem elas não disto teria sido possível, aos meus pais. Obrigada pelo vosso apoio, dedicação e amor ao longo destes anos todos.

Agradeço ao Pedro pelo apoio, companheirismo, ajuda na realização deste e outros trabalhos e pela paciência e compreensão ao longo desta jornada.

E para finalizar queria dedicar este trabalho a duas pessoas muito especiais, os meus avós maternos.

Resumo

Uma grande parte da energia que se consome actualmente, procede de recursos não renováveis, isto é, dos combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão. Graças a estes combustíveis, houve um grande desenvolvimento da sociedade do século XX, sobretudo nos aspectos relativos ao transporte e actividade industrial. Hoje em dia, continuam a ser o seu suporte base, uma vez que a energia, que alimenta essas actividades, provém, maioritariamente, destes combustíveis. Com a dependência energética de recursos não renováveis, apareceram problemas como a escassez de recursos naturais, o volume, cada vez menor, de reservas (já que se consome energia a um ritmo superior ao da sua regeneração) e a poluição. Devido a estes factores, é necessário encontrar novas formas de obtenção de energia, bem como a sua utilização racional. É neste contexto que aparece a optimização energética na indústria.

Este trabalho, realizado na Petibol - Embalagens de Plástico, S.A., teve como objectivo a optimização dos seus consumos energéticos, nomeadamente, vapor e energia eléctrica.

O levantamento energético efectuado permitiu concluir que na empresa, o maior consumidor de energia primária, energia final e que acarreta maiores custos é o gás natural. Este representa 75% da energia primária, 88% da energia final e 71% dos custos, contra os 25%, 12% e 29%, respectivamente da energia eléctrica.

Na central de vapor, foi proposto pela empresa fazer um estudo sobre a viabilidade de implementação de um permutador de calor, à saída do economizador, e recuperação do calor das purgas, para aquecimento da água de alimentação da caldeira, diminuindo os gastos com o gás natural.

No que diz respeito à colocação do permutador de calor, verificou-se que, embora na teoria fosse possível, na prática, traria problemas de condensação e corrosão, uma vez que os gases de combustão poderiam atingir o seu ponto de orvalho.

Relativamente à purga, actualmente, esta é efectuada de trinta em trinta minutos, com uma duração de seis segundos, acarretando uma perda considerável de energia (37,4 kW), o que não é de todo recomendado e por isso fez-se análises à água da alimentação e à água dentro da caldeira. Após os resultados, verificou-se que, na água de alimentação, parâmetros como o pH, oxigénio, ferro, dureza e condutividade, apresentavam valores superiores ao recomendado. Na água dentro da caldeira, verificou-se que esta apresentava um valor de condutividade elevada (superior ao recomendado). Estes resultados justificam a necessidade da purga ser realizada nos moldes que se encontra actualmente. No entanto,

em condições ideais, a purga recomendada teria a duração de quatro segundos e seria praticada de oito em oito horas. Com a purga recomendada, a energia perdida seria de 1,54 kW. Os custos, em gás natural, inerentes a esta purga são de 71 €/ano, sendo da purga actual de 1699 €/ano. A mudança de purga traria uma poupança de 1628 €/ano.

A nível da energia eléctrica, as propostas de melhoria foram, na iluminação interior e exterior da fábrica. Na iluminação interior, propôs-se a substituição de quarenta e seis lâmpadas de vapor de mercúrio, de 400 W, por lâmpadas de iodetos metálicos, de 250 W. Esta melhoria traria uma poupança de 26,6 MWh/ano, 5,2 tep e 2,5 kgCO₂e. Este investimento teria um payback de 3,4 anos. Na iluminação exterior, foi proposto um interruptor crepuscular. Com este equipamento a iluminação no exterior da fábrica seria ligada e desligada de acordo com a intensidade da incidência de luz solar, evitando assim gastos desnecessários com a iluminação. Com este equipamento haveria uma poupança de 188 €/ano e o payback do investimento seria de 1,3 anos.

Palavras - Chave: Energia, optimização energética, vapor e energia eléctrica.

Abstract

A large part of the energy that is consumed today comes from non-renewable resources, i.e. fossil fuels such as oil, natural gas and coal. Thanks to these fuels, there was a major development of twentieth-century society, especially in aspects relating to transport and industrial activity. Today, fossil fuels continue to be the primary source of energy that fuels these activities. With this dependence on non-renewable resources, a number of problems have appeared, including increasing scarcity of natural resources, dwindling reserves (energy is consumed at a greater rate than its regeneration) and pollution. Due to these factors, it is necessary to find new ways of obtaining energy, and methods for its rational use. It is in this context that energy optimization has appeared in industry.

This work, conducted at Petibol - Plastic Packaging, SA, aimed at optimizing their energy consumption, in particular the use of steam and electricity.

The survey found that natural gas is the largest provider of primary energy and final energy, and that which incurs the highest costs. It represents 75% of primary energy, 88% of final energy and 71% of costs, compared to 25%, 12% and 29% respectively for electricity.

In the steam centre, the company proposed to do a study on the feasibility of implementing a heat exchanger at the outlet of the economizer, and of heat recovery from the purges for heating the boiler feed water, thus reducing spending on natural gas.

With regard to the placement of the heat exchanger, it was found that although it would be possible in theory, in practice problems with condensation and corrosion would probably arise, since the combustion gases may reach dew point.

The drain currently operates every 30 minutes, for a duration of 6 seconds, which results in a considerable loss of energy (37.4 kW). For this reason an analysis of the water supply and the water inside the boiler was performed. The results for the feedwater showed that parameters such as pH, oxygen, iron, hardness and conductivity, had much higher values than recommended. The water inside the boiler was also found to have a much higher value of conductivity than recommended. These results justify the way in which the purge is currently operated. However, in ideal conditions the purge would have a recommended duration of four seconds, and each purge would be carried out at intervals of eight hours. With the recommended drain, the energy loss would be 1.54 kW, and inherent costs in natural gas would be 71 € / year. Operating the current purge system costs 1699 € / year. Implementing the recommended purge cycle would provide savings of 1628 € / year.

Considering the level of electricity usage, proposals for improvement were aimed at both interior and exterior factory lighting. For the interior lighting, a proposal was made for the replacement of forty-six, 400 W mercury vapor lamps with 250 W metal halide lamps. This improvement would provide a saving of 26.6 MWh / year, 5.2 tep and 2.5 kgCO₂e. This investment would have a payback period of 3.4 years. For the outdoor lighting, a crepuscular switch was proposed. With this equipment, the exterior lighting would be turned on and off according to the intensity of sunlight, thus avoiding unnecessary lighting expenses. This equipment would provide a saving of 188 € / year, with an investment payback period of 1.3 years.

Key – Words: Energy, energy optimization, steam and electricity,

Índice

1	Caracterização da Empresa, Petibol	1
1.1	Histórico da empresa	1
1.2	Enquadramento geográfico	1
1.3	Matéria-prima	2
1.4	Objectivos de produção	7
1.5	Processo de Fabrico	8
1.6	Política de Qualidade e Ambiente	12
1.7	Utilidades Energéticas	12
1.7.1	A central de vapor	12
1.7.2	Energia eléctrica	15
2	Fundamentação do trabalho	19
2.1	Caracterização energética da empresa	21
2.2	Objectivos do trabalho	23
2.3	Estrutura da dissertação	24
3	Análise Energética	25
3.1	Consumos Energéticos	25
3.2	Indicadores de eficiência energética	30
3.3	Energia eléctrica	32
4	A central de vapor	47
4.1	Levantamento Energético	47
4.2	Eficiência da Caldeira	51
4.3	Optimização Energética	55
4.3.1	Dimensionamento de um permutador de calor	56
4.3.2	Substituição do economizador actual	64
4.3.3	Recuperação do calor perdido na purga	65
4.4	Custos de Funcionamento	68
5	Discussão e conclusões	69

Referências bibliográficas.....	73
Anexos	75
A. Dados fornecidos pela empresa.....	75
B. Resultados calculados	81
B.1 Cálculos de energia final, energia primária e emissão de GEE.	81
B.2 Cálculo dos indicadores de eficiência energética.....	85
B.3 Cálculo do custo horário de energia eléctrica	87
B.4 Exemplo de cálculo da energia e custo de cada equipamento.....	88
B.5 Exemplo de cálculo das percentagens de consumos dos quadros da fábrica.....	89
B.6 Exemplo de cálculo da iluminação.....	90
B.7 Melhoria sugerida na iluminação.....	93
B.8 Cálculo do consumo horário água de “make-up” ou compensação.....	96
B.9 Cálculo do consumo horário de gás natural	97
B.10 Cálculo do custo médio do gás natural	97
C. Propriedades dos gases de combustão	98
D. Cálculo da eficiência da caldeira	105
E. Exemplo de cálculo do permutador compacto.....	114
F. Eficiência da caldeira com actual economizador.....	124
G. Exemplo de cálculo da eficiência da caldeira com a substituição do actual economizador.	127
H. Estudo da purga	131
I. Análises das águas da Petibol	134
J. Parâmetros do gás natural.....	136
K. Proposta de iluminação.....	137
L. Dados Auxiliares	139
M. Esquema da sala da Caldeira	147
N. Esquema actual do circuito actual da água da Petibol	148
O. Esquema das alterações propostas na sala da caldeira.....	149

Índice de Figuras

Figura 1.1- Localização da freguesia de Leça do Balio. [3]	2
Figura 1.2- Fórmula estrutural da cadeia de poliestireno. [4].....	3
Figura 1.3- Comparação entre EPS não expandido e expandido. [5].....	4
Figura 1.4- Flocos de poliestireno. [6]	5
Figura 1.5- Polipropileno expandido. [7].....	6
Figura 1.6- Sector de moldados.	8
Figura 1.7- Fluxograma do processo de produção de peças moldadas.	9
Figura 1.8- Fluxograma do processo de produção de Betisol.....	10
Figura 1.9- Fluxograma do processo de produção de blocos.	11
Figura 1.10-Caldeira tubos de fumo que produz vapor saturado para toda a fábrica.	13
Figura 1.11- Torres de arrefecimento.	15
Figura 1.12- Compressores que alimentam ar comprimido à fábrica: a) Nirvana N75, b) Atlas-Copco e c) ML55.	17
Figura 1.13- Sector de corte e sector de blocos da esquerda para a direita.	18
Figura 2.1- Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável. [10]	20
Figura 2.2-Âmbito dos Sistemas de Gestão dos consumos Intensivos de Energia. [10].....	21
Figura 2.3- Síntese de aplicação para instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 1000 tep/ano. [10]	22
Figura 2.4- Equivalências energéticas de referência. [10].....	23
Figura 3.1-Distribuição da energia final consumida no ano de 2009 (GJ).....	27
Figura 3.2- Representação gráfica dos consumos de energia final (GJ), no ano de 2009... 27	
Figura 3.3- Representação gráfica da variação da produção e da energia final, ao longo de 2009.	28
Figura 3.4- Distribuição dos custos com gás natural e energia eléctrica no ano de 2009 (€).	29
Figura 3.5- Distribuição dos gastos com gás natural e energia eléctrica durante o ano de 2009.....	29

Figura 3.6- Representação gráfica da variação da produção e da intensidade carbónica ao longo de 2009.....	30
Figura 3.7-Distribuição dos consumos de energia primária, no ano de 2009, (tep).	31
Figura 3.8- Representação gráfica da variação da produção e do consumo específico ao longo de 2009.....	31
Figura 3.9- Consumos percentuais no quadro da sala da caldeira	36
Figura 3.10- Consumos percentuais no quadro da sala técnica nº1.....	38
Figura 3.11- Consumos percentuais no quadro da sala técnica nº2.....	41
Figura 3.12- Consumos percentuais no quadro da fábrica nº1.....	43
Figura 3.13- Consumos percentuais no quadro da fábrica nº2.....	45
Figura 4.1- Válvula da purga de fundo.	51
Figura 4.2- Esquema do desgaseificador.....	61

Índice de tabelas

Tabela 1.1- Principais características técnicas dos compressores de ar.....	16
Tabela 3.1-Coefficientes de conversão para GJ, tep e kg CO ₂ e das várias formas de energia existentes. (Despacho nº 17313/2008, figura L.1 no anexo L).....	26
Tabela 3.2- Quantidades de energia consumidas no ano de 2009.....	26
Tabela 3.3- Custos anuais com gás natural e energia eléctrica no ano 2009.....	28
Tabela 3.4-Valores obtidos para o consumo específico de energia e a intensidade carbónica, no ano de 2009.....	32
Tabela 3.5- Listagem de equipamentos consumidores de energia eléctrica.....	32
Tabela 3.6- Distribuição da energia eléctrica em quadros.....	34
Tabela 3.7- Consumos estimados no quadro da sala da caldeira.	35
Tabela 3.8- Consumos reais anuais do quadro da sala da caldeira.	36
Tabela 3.9- Consumos estimados no quadro da sala técnica nº1.	37
Tabela 3.10- Consumos reais anuais do quadro da sala técnica nº1.	38
Tabela 3.11- Consumos estimados no quadro da sala técnica nº2.	39

Tabela 3.12- Consumos reais anuais do quadro da sala técnica nº2.	40
Tabela 3.13- Consumos estimados no quadro da fábrica nº1.	41
Tabela 3.14- Consumos reais anuais do quadro da fábrica nº1.	42
Tabela 3.15- Consumos estimados no quadro da fábrica nº1.	44
Tabela 3.16- Consumos reais anuais do quadro da fábrica nº2.	44
Tabela 3.17- Potências e custos associados à iluminação.....	46
Tabela 4.1- Principais características da caldeira.	47
Tabela 4.2-Principais características do queimador.	48
Tabela 4.3-Características do desgaseificador.....	48
Tabela 4.4- Características do economizador.	49
Tabela 4.5-Equipamentos consumidores de energia eléctrica na sala da caldeira.....	49
Tabela 4.6- Dados relativos ao gás natural alimentado à caldeira.....	49
Tabela 4.7- Características da chaminé.....	50
Tabela 4.8- Purga de fundo.....	50
Tabela 4.9- Excesso de ar utilizado na caldeira. [12].....	51
Tabela 4.10- Dados de funcionamento da caldeira.	54
Tabela 4.11-Características do fluído frio e quente no economizador.	63
Tabela 4.12- Características do permutador de calor.....	63
Tabela 4.13- Características da caldeira com a substituição do actual economizador.	64
Tabela 4.14- Características da purga actual e recomendada.	67
Tabela 4.15- Custos de funcionamento da caldeira	68
Tabela 5.1- Gastos e poupanças obtidas com as propostas de melhoria na central de vapor.	71
Tabela 5.2- Poupanças obtidas com as propostas de melhoria a nível da iluminação.	72

Nomenclatura

Variável	Descrição	Unidades
A	Fracção em peso de inertes no combustível	-
A_e	Área externa	m ²
A_f	Área das alhetas	m ²
A_{frontal}	Área frontal	m ²
A_i	Área interna	m ²
A_{min}	Área mínima	m ²
A_{ml}	Área média logarítmica	m ²
A_t	Área total de transferência de Calor	m ²
C	Percentagem em peso de carbono presente no combustível	%
C_{cc}	Fracção em peso do combustível nas cinzas volantes	-
C_p	Calor específico	kJ/(kg . °C)
D	Diâmetro	m
D_h	Diâmetro hidráulico do canal de escoamento	mm
F	Factor de correcção da temperatura	-
F_{ci}	Fracção em peso das cinzas volantes em relação ao total de inertes do combustível	-
G	Velocidade mássica	kg/(m ² . s)
h_o	Coefficiente de transferência de calor do lado dos gases de combustão	W/(m ² . °C)
h_f	Entalpia do líquido saturado	kJ/kg
h_g	Entalpia do vapor saturado	kJ/kg

h_i	Coeficiente de transferência de calor do lado da água	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
k	Condutividade térmica	$W/(m \cdot ^\circ C)$
K	Constante que depende do tipo de combustível utilizado	-
\dot{m}	Caudal mássico	kg/s
\dot{m}_f	Caudal mássico do fluido frio	kg/s
\dot{m}_q	Caudal mássico do fluido quente	kg/s
\dot{m}_{Total}	Caudal mássico total à saída do desgaseificador	kg/s
Nu	Número de Nusselt	-
Q	Potência total transferida	kW
PCI	Poder calorífico inferior	kJ/kg
P_{cv}	Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes	%
P_{cf}	Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo	%
P_{co}	Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão	%
P_{gc}	Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão	%
P_{H_2O}	Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão	%
P_p	Perdas associadas às purgas	%
P_r	Perdas por radiação, convecção e outras perdas não contabilizáveis nas caldeiras	%
$QV_{\text{água}}$	Caudal volumétrico de água	m^3/h
r	Raio interno do tubo	m
R	Parâmetro adimensional	-
s	Área de secção perpendicular ao escoamento do fluido	m^2

S	Parâmetro adimensional	-
T_a	Temperatura ambiente	°C
T_{fe}	Temperatura do fluido frio à entrada	°C
T_{fs}	Temperatura do fluido frio à saída	°C
T_g	Temperatura dos gases de combustão	°C
T_{qe}	Temperatura do fluido quente à entrada	°C
T_{qs}	Temperatura do fluido quente à saída	°C
U	Coefficiente global de transferência de calor	W/(m ² . °C)
\dot{v}	Caudal volumétrico	m ³ /s

Letras gregas

ρ	Massa volúmica	kg/m ³
Δ_{Tml}	Diferença de temperatura logarítmica média	°C
η	Eficiência da caldeira	%
η'	Eficiência da alheta ponderada pela área	%
μ	Viscosidade dinâmica	Pa.s
μ_w	Viscosidade dinâmica do fluido de referência, água	Pa.s
σ	Razão entre a área mínima de escoamento livre e área frontal	-

Lista de Siglas

ADENE	Agência para a Energia
ARCE	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia

CIE	Consumidora Intensiva de Energia
COV	Composto Orgânico Volátil
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
ENE	Estratégia Nacional de Energia
EPP	Polipropileno expandido
EPS	Poliestireno expandido
FER	Fontes de Energia Renováveis
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IEA	International Energy Agency
PNALE	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
PREn	Plano de Racionalização do Consumo de Energia
PRI	Período de Retorno de Investimento
PRM	Posto de Regulação e Medida
PRP	Posto Redutor de Pressão
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SGCIE	Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SPV	Sociedade Ponto Verde
SST	Sólidos Suspensos Totais
tep	toneladas equivalentes de petróleo
URE	Utilização Racional de Energia

1 Caracterização da Empresa, Petibol

1.1 Histórico da empresa

A Petibol iniciou a sua actividade em 1980, tendo como sócios fundadores o Eng.º Jorge Araújo, Carlos Monteiro, Luís Monteiro e Emmanuel Falisse, sendo este último o principal impulsionador da tendência de internacionalização da empresa, desde o seu início.

Inicialmente, a actividade da empresa consistia, exclusivamente, na transformação do poliestireno expandido (EPS), para a aplicação em diversas indústrias, desde o sector eléctrico e electrónico ao alimentar, nomeadamente, embalagens de electrodomésticos e produtos alimentares, respectivamente. Nessa altura, desenvolveu também, soluções para a construção civil, uma área que tem vindo a ser aprofundada ao longo do tempo.

As primeiras instalações foram na zona da Areosa, mas, em 2000, a Petibol muda-se para as novas instalações em Leça do Balio, para poderem assim, ter uma maior capacidade de resposta ao mercado, na altura em expansão.

No ano de 2002, a Petibol inicia a transformação de polipropileno expandido (EPP), no âmbito de um projecto que envolveu uma empresa norueguesa, especializada em puericultura, e parceiros portugueses, de elevado valor tecnológico. Esta empresa queria produzir, em Portugal, os seus produtos e para isso encontrou parceiros empresariais em diversos sectores: indústria de injeção de plásticos, metalomecânica, têxtil e espumas. A Petibol foi a empresa escolhida para colaborar na área das espumas.

Actualmente, a Petibol é constituída por uma equipa de cinquenta pessoas, integrando colaboradores com mais de vinte anos de experiência no sector, e, jovens qualificados. [1]

1.2 Enquadramento geográfico

A Petibol - Embalagens de Plástico, S.A., localiza-se em Leça do Balio, no concelho de Matosinhos. O concelho de Matosinhos é constituído por dez freguesias, entre elas a freguesia de Leça do Balio. Esta tem uma superfície de 943,1 ha, uma população de, aproximadamente, vinte mil habitantes, dos quais doze mil duzentos e dois são eleitores. Como se pode observar na figura 1.1, tem como limites o concelho da Maia a Norte e a

Este, a freguesia de S. Mamede de Infesta a Este e Sul, e Custóias a Oeste. Dista do Porto 2 km e de Matosinhos 6 km. A freguesia é servida por duas linhas de caminho de ferro (Linha de Cintura – via larga e Linha de Porto a Guimarães), com as estações de Leça do Balio e do Araújo.

Duas grandes vias rodoviárias delimitam a freguesia: a estrada Porto/Póvoa, com continuação para Viana do Castelo e Espanha e a estrada Porto/Braga. [2]

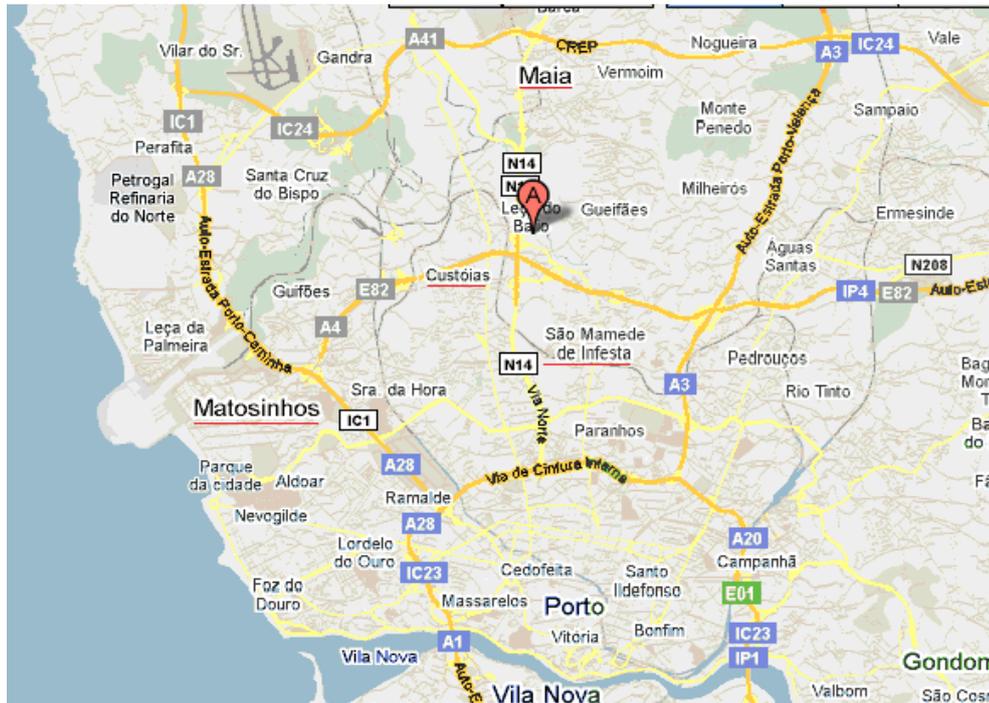


Figura 1.1- Localização da freguesia de Leça do Balio. [3]

1.3 Matéria-prima

A Petibol utiliza como matérias-primas o EPP e o EPS, para a expansão e consequente adaptação às necessidades de cada cliente. De seguida, é apresentada cada uma das matérias-primas.

➤ Poliestireno Expandido

A matéria-prima do EPS é o poliestireno expansível. O poliestireno expansível é um polímero de estireno que contém um agente expensor, o pentano, que é obtido a partir do petróleo, por meio de diversas transformações químicas. A figura 1.2, mostra a fórmula

estrutural da cadeia de poliestireno. Apresenta-se sob a forma de pequenos grânulos e é a matéria-prima dos fabricantes de EPS.

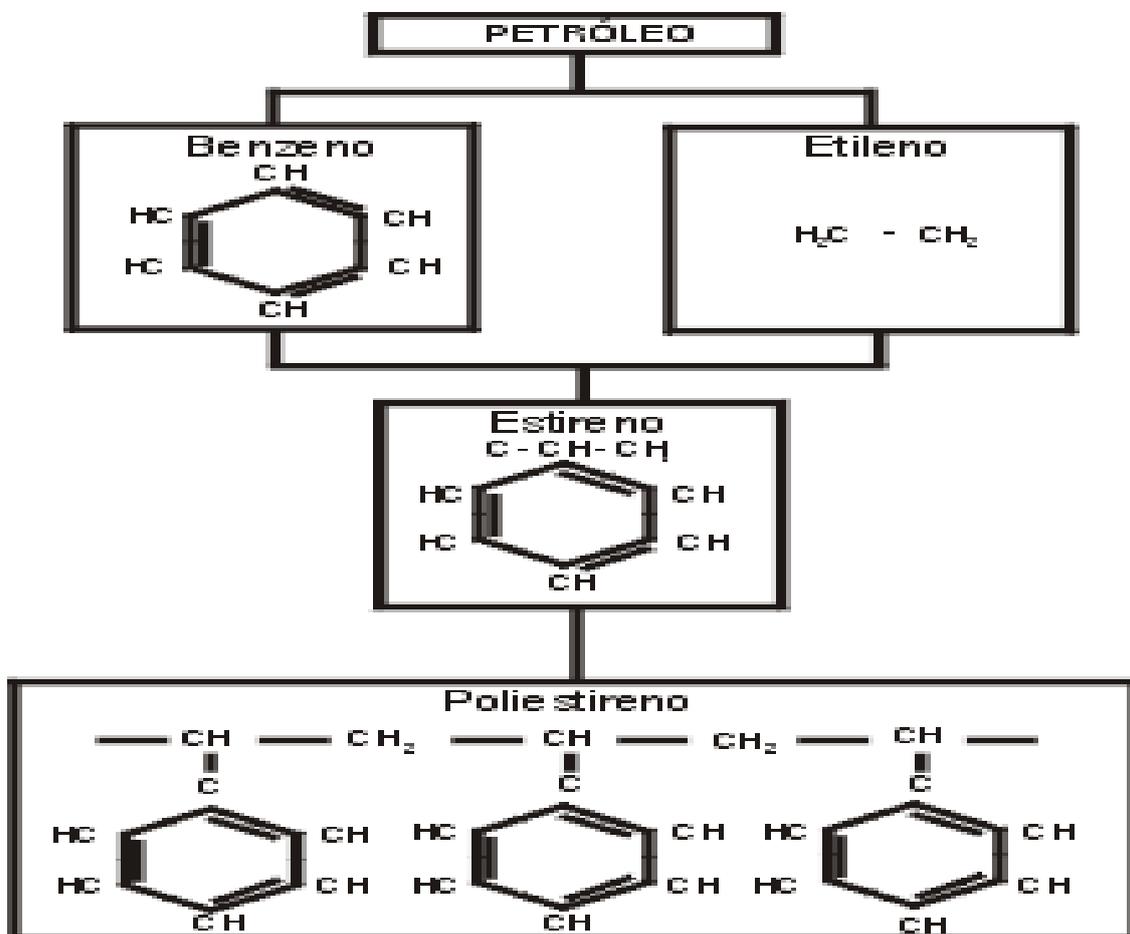


Figura 1.2- Fórmula estrutural da cadeia de poliestireno. [4]

O ciclo de produção desta matéria-prima processa-se em três etapas: a pré-expansão, a armazenagem intermédia e a moldagem.

Pré-expansão

A expansão do EPS é efectuada, numa primeira fase, num pré-expansor, através de aquecimento, por contacto com vapor de água. O pentano dilata o EPS para um volume até cinquenta vezes maior que o original, como se pode analisar na figura 1.3. Daí resulta um granulado de partículas de EPS, constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização.



Figura 1.3- Comparação entre EPS não expandido e expandido. [5]

O armazenamento intermédio

O armazenamento é necessário para permitir a posterior transformação do EPS. Durante esta fase de estabilização, o granulado de EPS arrefece criando uma depressão no interior das células. Este, por sua vez, é preenchido pelo ar circundante.

Durante esta etapa dão-se, simultaneamente, vários processos:

- O ar difunde-se através das membranas celulares, tornando as partículas mecanicamente estáveis;
- A humidade é dissipada para a atmosfera, melhorando as propriedades de fluxo livre do material, ajudando também a aliviar as dificuldades de transporte e no enchimento de moldes complicados;
- O pentano continua a difundir-se para fora da célula, aproximadamente, trinta por cento da quantidade inicial.

É, ainda, durante esta fase que o EPS ganha elasticidade.

A moldagem

Por fim, o granulado estabilizado é injectado num molde, com o auxílio de máquinas automáticas, e entra novamente em contacto com o vapor de água. Com a energia fornecida, pelo vapor de água, dá-se uma nova expansão, sendo, desta vez, limitada pelo molde, provocando a aglomeração das pérolas e a consecutiva forma final, obtendo-se, assim, um material expandido, duro e que contém uma grande quantidade de ar, como se vê na figura 1.4.

Para fabricar moldados em EPS, o granulado é insuflado para dentro de moldes, com a conformação das peças pretendidas, enquanto que, para fabricar placas para a construção civil, produzem-se blocos de EPS, em grandes moldes paralelepípedicos.

As principais características do EPS são:

- Facilidade de manuseamento e colocação;
- Baixo peso;
- Baixa condutibilidade térmica;
- Boa resistência mecânica;
- Baixa absorção de água;
- Boa resistência química;
- Boa versatilidade;
- Resistência ao envelhecimento.



Figura 1.4- Flocos de poliestireno. [6]

No caso do EPP, ao contrário do EPS, não existem as fases de pré-expansão e armazenagem intermédia. O primeiro passo no seu ciclo de produção é a injeção, isto porque o EPP não contém agente expensor (pentano), logo não é possível a expansão das partículas e, conseqüentemente, não necessita de ser armazenado em silos. Outra diferença entre o EPP e o EPS, consiste nos parâmetros definidos para as máquinas de injeção. O EPP necessita de vapor a pressão de 6,5 barg e o EPS necessita de vapor à pressão de 3,5 barg.

O EPP, cujo aspecto se pode observar na figura 1.5, é um dos materiais existentes mais flexíveis, com características únicas, que conferem inúmeros benefícios aos produtos produzidos a partir de si. Tal deve-se as suas principais características, tais como:

- Leveza;
- Boa resistência mecânica;
- Protecção face ao impacto;
- Propriedades térmicas;
- Propriedades acústicas;
- Resistência química;
- Flexibilidade e consistência.



Figura 1.5- Polipropileno expandido. [7]

1.4 Objectivos de produção

A Petibol actua em três domínios distintos: desde produtos de grande consumo e circulação, passando por componentes técnicos, até produtos de isolamento.

Produz embalagens dependendo das exigências de cada cliente, sendo fornecedor de diversos sectores, tais como:

- Área alimentar;
- Indústria electrónica;
- Indústria de electrodomésticos;
- Indústria do vidro e da cerâmica.

A Petibol dedica-se ao fabrico de peças moldadas em EPS e EPP, para os mais diversos fins: protecção mecânica de produtos sensíveis embalados, embalagens de produtos alimentares, cadeirinhas de bebé, peças para a indústria automóvel, etc. Para além das peças moldadas, esta empresa dedica-se, também, à produção de blocos em EPS, para utilização na construção civil e outros fins.

A empresa tem uma parceria com a Sociedade Ponto Verde (SPV), produzindo ainda um produto chamado, Betisol, obtido a partir de EPS reciclado, oriundo da recolha em diversos ecopontos, espalhados pelo país, ou de peças não conformes, resultantes do processo de produção, e material virgem. O Betisol, é utilizado na construção civil, com o propósito de melhorar o isolamento térmico e acústico dos espaços e, ainda, reduzir, significativamente, o peso das estruturas dos edifícios.

Na fábrica existem dezassete máquinas, para produção de peças em EPS, duas das quais podem, também, produzir peças em EPP. A Petibol, divide a sua produção em três sectores: fabricação de peças moldadas, fabrico de betisol e fabrico de blocos e corte de placas. [1]

Um dos sectores da fábrica pode ser visualizado na figura 1.6.



Figura 1.6- Sector de moldados.

1.5 Processo de Fabrico

Após a recepção da matéria-prima, esta é armazenada, e só depois se inicia o seu ciclo produtivo. Os produtos finais são embalados e, novamente, armazenados e encaminhados para expedição

Nesta secção são apresentados os fluxogramas dos diversos processos existentes na Petibol, produção de peças moldadas - figura 1.7, produção de betisol - figura 1.8 e produção de blocos e corte de placas - figura 1.9.

- **Produção de peças moldadas.**

Depois da matéria-prima ter passado pelos estágios de pré-expansão e estabilização, é transportada, por aspiração, para as máquinas de moldar e é injectada nos moldes, onde, sob acção do calor cedido pelo vapor, sofre uma nova expansão, desta vez limitada pelo molde.

Após a saída das máquinas, as peças, quer de EPS ou EPP, que apresentarem não conformidades, são encaminhadas para o moinho, para serem trituradas e reintroduzidas no ciclo. No entanto, no caso de peças fabricadas em EPP, se estas apresentarem uma massa específica inferior a 50 g/dm^3 , à saída das máquinas, vão para a estufa, a fim de estabilizarem. O controlo da massa específica das peças é feito por um método, muito simples, que consiste em pesar a peça, mergulhá-la numa tina com água e medir o nível da água com a peça. A massa específica é obtida a partir do quociente entre a massa e a diferença do volume da água com e sem a peça.

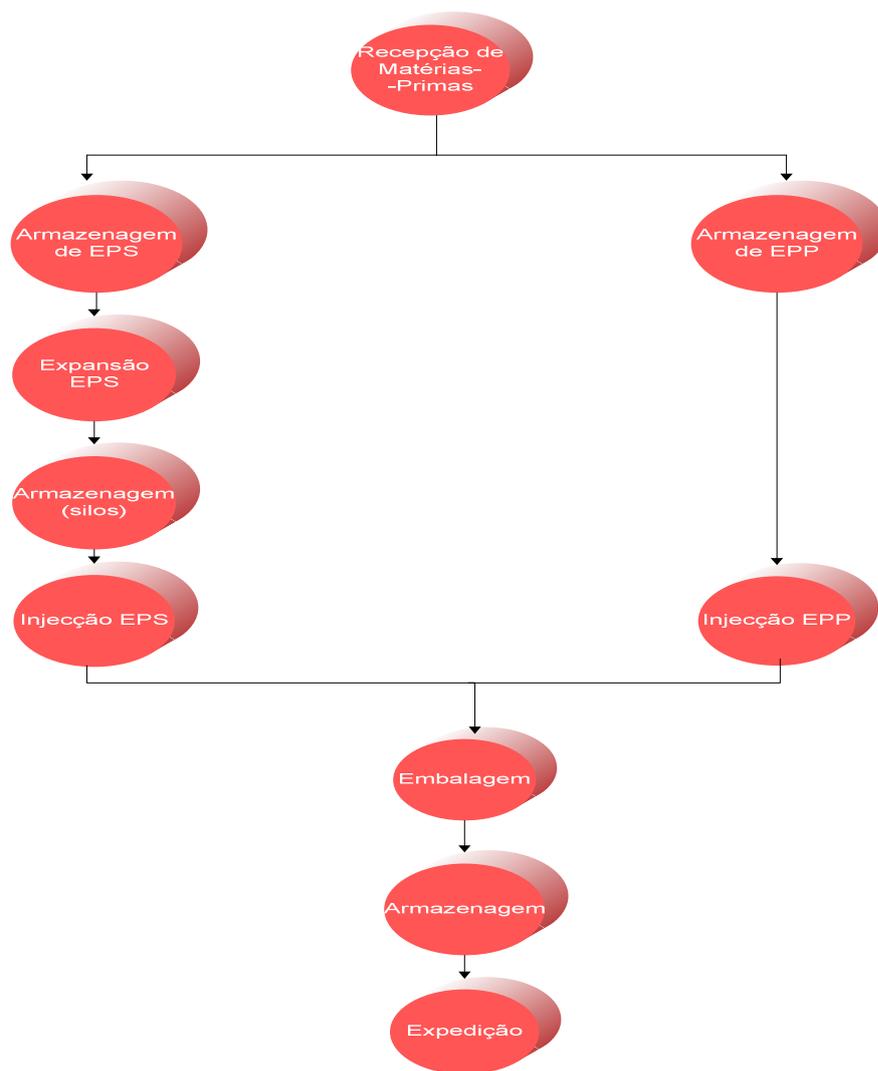


Figura 1.7- Fluxograma do processo de produção de peças moldadas.

- **Produção de Betisol**

Betisol corresponde à designação comercial de um produto que é utilizado na construção civil, para ser misturado com o cimento. É feito a partir da mistura entre material virgem e material reciclado, que pode ter duas origens diferentes:

- EPS para reciclagem (recolhido nos ecopontos pertencentes à SPV);
- Peças não conformes (resultantes do processo de fabrico de peças moldadas e blocos).

Após a trituração, o granulado é misturado com um aditivo líquido, que tem como objectivo provocar a posterior aderência do cimento ao material, aquando da sua utilização.

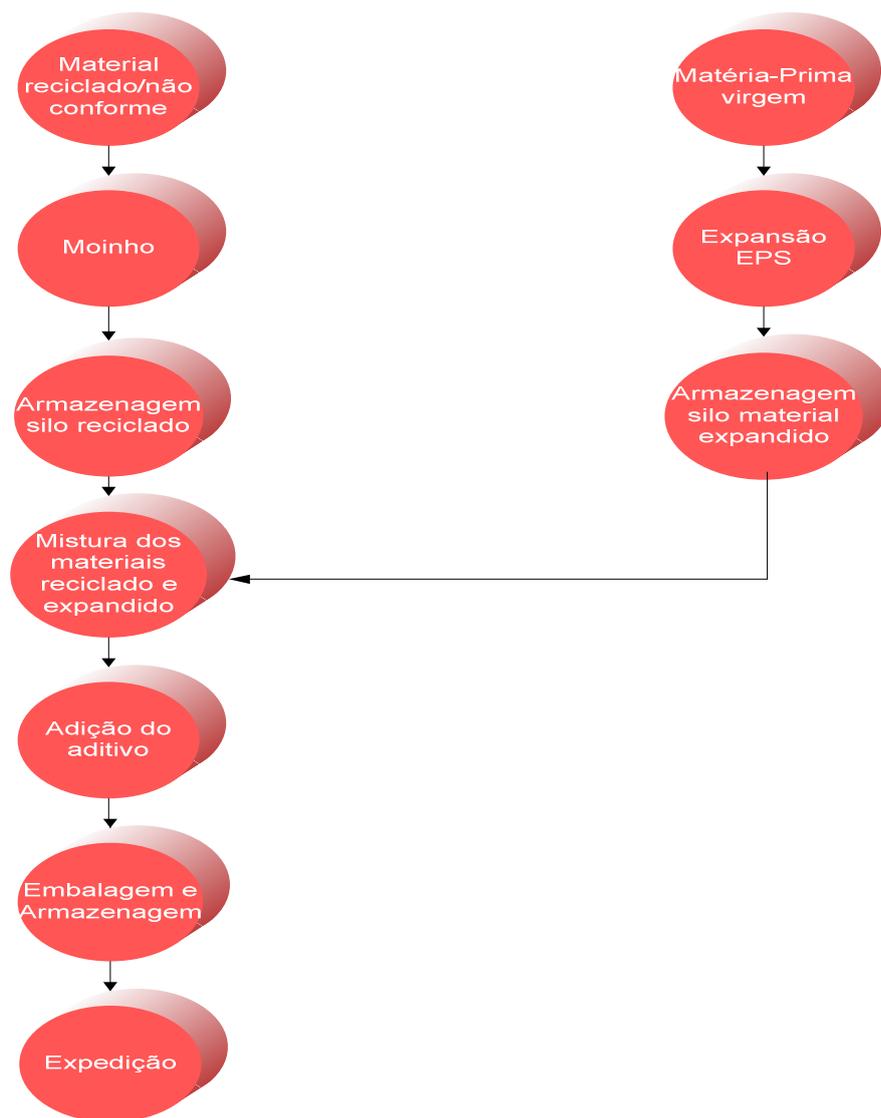


Figura 1.8- Fluxograma do processo de produção de Betisol.

- **Produção de blocos e corte de placas**

No fabrico de blocos em EPS, à semelhança das peças moldadas, a matéria-prima é expandida, estabilizada e transportada pneumáticamente para a máquina de blocos. Aí, sob a acção do calor latente cedido pelo vapor, às pérolas de EPS, estas sofrem uma expansão e agregação, limitada pela configuração da própria máquina.

Alguns blocos produzidos são cortados em placas de determinada espessura, em máquinas de corte, por fio quente, de seguida as placas são agrupadas e embaladas.



Figura 1.9- Fluxograma do processo de produção de blocos.

- **Regime de funcionamento**

A fábrica opera em regime de três turnos diários, vinte e quatro horas por dia, das oito horas da manhã de segunda-feira, às oito horas da manhã de sábado. Durante o ano de referência (2009), a fábrica trabalhou durante duzentos e vinte dias, tendo fechado duas semanas em Agosto, uma em Dezembro, nos feriados e pontes.

1.6 Política de Qualidade e Ambiente

A utilização do EPS constitui uma proposta amiga do ambiente, uma vez que o seu ciclo produtivo não gera quaisquer resíduos.

- Depois de expandido, o EPS é composto por noventa e oito por cento de ar e dois por cento de poliestireno.
- Durante o seu ciclo de vida, não existe a presença ou libertação de substâncias que prejudiquem a saúde humana ou o meio ambiente.
- Uma vez que é um material sem qualquer valor nutricional, quimicamente inerte e insolúvel em água, o EPS impede o desenvolvimento de microrganismos e não polui águas nem solos.
- Quanto a nível energético, o impacto do EPS é positivo, já que a sua reutilização, enquanto material térmico e isolante, permite uma poupança no aquecimento e arrefecimento dos edifícios.

O EPS é cem por cento reciclável. Deste modo, a Petibol assume a responsabilidade, enquanto produtor, e, após um conjunto de acções de optimização nas áreas de segurança e ambiente, obteve em 2003 a acreditação como empresa de reciclagem de EPS pela SPV. Dentro desta estratégia, a empresa teve autorização por parte do Ministério do Ambiente, para recolher EPS de outras entidades, de modo a efectuar a respectiva reciclagem. A Petibol segue normas da qualidade, segundo um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ).

O Sistema de Garantia da Qualidade encontra-se certificado segundo a norma NP 9001:2000. [1]

1.7 Utilidades Energéticas

1.7.1 A central de vapor

A produção de vapor na fábrica é assegurada por uma caldeira de tubos de fumo de três passagens dos gases de combustão, que utiliza o gás natural como combustível. Como o próprio nome indica, neste tipo de caldeira a maior parte da transferência de calor é feita pelos gases, que circulam no interior dos tubos, a água circula no exterior. O calor cedido

pelos gases de combustão é transferido para água aquecendo-a, produzindo-se neste caso vapor saturado, à pressão de operação da caldeira que se situa entre 6,5 e 7,2 barg.



Figura 1.10-Caldeira tubos de fumo que produz vapor saturado para toda a fábrica.

A caldeira apresentada na figura 1.10, é alimentada com água de compensação ou também chamada de água de “make-up” e condensados oriundos da fábrica. A água de compensação é proveniente de um furo artesiano, existente nas instalações da empresa. No ano de 2009, foi consumido um caudal médio de 2 m³/h, à temperatura média de 15°C.

A recolha de condensados é feita na estufa, no final das linhas de vapor e à entrada das máquinas. É realizada apenas nestes locais, uma vez que aí, o vapor não entra em contacto com o material, não ficando assim contaminado com resíduos do mesmo.

A água de compensação passa, inicialmente, por um filtro de areia, para remover os sólidos, e depois é conduzida até à sala da caldeira, onde passa por um tratamento antes de dar entrada na caldeira. Esse tratamento é constituído por duas etapas. A primeira etapa, é a passagem da água por um amaciador, onde são retirados os iões cálcio e magnésio, através de uma permuta iónica. As resinas são produtos insolúveis na água e que possuem propriedades que permitem a troca de alguns dos seus iões por outros iões de sais dissolvidos na água. Os iões magnésio e cálcio da água são, então, substituídos por iões sódio, resultantes da resina. De seguida, a água passa para o desgaseificador para retirar gases, como o oxigénio e o dióxido de carbono. Ao entrar em contacto directo com o vapor, aquece e esse aquecimento permite a libertação desses gases por diminuição da sua solubilidade. Aqui, mistura-se a água de compensação e os condensados. Essa mistura é chamada água de alimentação da caldeira. No desgaseificador, a água é aquecida até à temperatura de saturação, ou seja, até 105°C (P=0,2 barg). A água passa no economizador, onde é aquecida de 105°C até 120°C, e por fim é alimentada à caldeira.

Neste tipo de indústria, o uso de um acumulador torna-se essencial, uma vez que aqui o consumo de vapor não é constante. Existem grandes consumos instantâneos e ao usar acumuladores, estes amenizam a produção de vapor, evitando grandes “puxadas” de vapor à caldeira. O vapor sai da caldeira, a uma pressão entre 6,5 e 7,2 barg, passa por um posto reductor de pressão (PRP), onde a pressão é reduzida para 6,5 barg, e abastece o primeiro acumulador de vapor. Este, por sua vez, abastece a linha de EPP. A linha de EPS também é alimentada a partir do primeiro do acumulador mas, ao contrário da linha de EPP, esta necessita de vapor à pressão de 3,5 barg. Então, o vapor sai do acumulador a 6,5 barg passa por dois PRP's e é alimentado à linha de EPS. O segundo acumulador alimenta, exclusivamente a máquina de blocos. Neste, o vapor proveniente da caldeira, passa por um segundo PRP e entra no acumulador à pressão de 3,5 barg.

Na figura M.1 no anexo M está representada esquematicamente a sala da caldeira.

1.7.2 Energia eléctrica

A energia eléctrica é usada para accionar diversos equipamentos na Petibol, como se vai observar no levantamento energético, secção 3.3. É utilizada na central de refrigeração, central de ar comprimido, central de vácuo, central de aspiração de matéria-prima, central de bombagem, sala dos silos, sector de corte, sector de moldados, sector de blocos e iluminação.

- **Central de Refrigeração**

Para arrefecimento da água do circuito de refrigeração industrial, a empresa possui duas torres de arrefecimento do tipo aberto. A água industrial, no retorno das diversas máquinas, é acumulada num depósito enterrado, localizado debaixo das torres de arrefecimento, como se pode observar na figura 1.11. A água contida neste depósito é enviada, por intermédio de duas bombas centrífugas, para o topo das torres e destas escoam por gravidade, novamente para o lado frio do mesmo depósito, onde a divisão do tanque de água quente e de água fria é feita através de um septo de separação.



Figura 1.11- Torres de arrefecimento.

- **Central de ar comprimido**

A empresa dispõe de uma central de ar comprimido que alimenta a totalidade da fábrica. Esta central é constituída por três compressores, apresentados na figura 1.12 e descritos na tabela 1.1, dois depósitos de ar e um secador de ar.

A central, actualmente, comprime ar a 7 bar, e encontra-se em permanente funcionamento, para assegurar o ar necessário ao normal funcionamento da fábrica, alimentando os diversos pontos de consumo da fábrica.

Como se pode observar na tabela 1.1, a potência máxima de compressão da central é de 185 kW, que corresponde a um caudal de 28,3 m³/min à pressão de 8 bar. Os três compressores são do tipo parafuso lubrificado e arrefecidos por ar. A grande diferença existente entre eles é o tipo de funcionamento. O compressor Ingersoll-Rand Nirvana N75 um accionamento de velocidade variável, ao contrário dos compressores Ingersoll-Rand SSR ML55 e Atlas Copco GA 55 que têm regulação do tipo carga-vazio. Este último é o mais antigo da central e encontra-se de reserva, só trabalhando no caso de alguma avaria.

A central tem, ainda, um secador de ar por refrigeração de marca Ingersoll-Rand e dois reservatórios de ar comprimido, cada um dos quais com capacidade de 2 m³.

Tabela 1.1- Principais características técnicas dos compressores de ar.

Marca	-	Ingersoll-Rand	Ingersoll-Rand	Atlas-Copco
Modelo	-	Nirvana N75	ML 55	GA 55
Tipo	-	Parafuso lubrificado		
Arrefecimento	-	Ar	Ar	Ar
Potência Motor	kW	75	55	55
Capacidade	m ³ /min	3,9-13,3	10,2	9,5
Pressão	bar	8,0	8,0	8,0

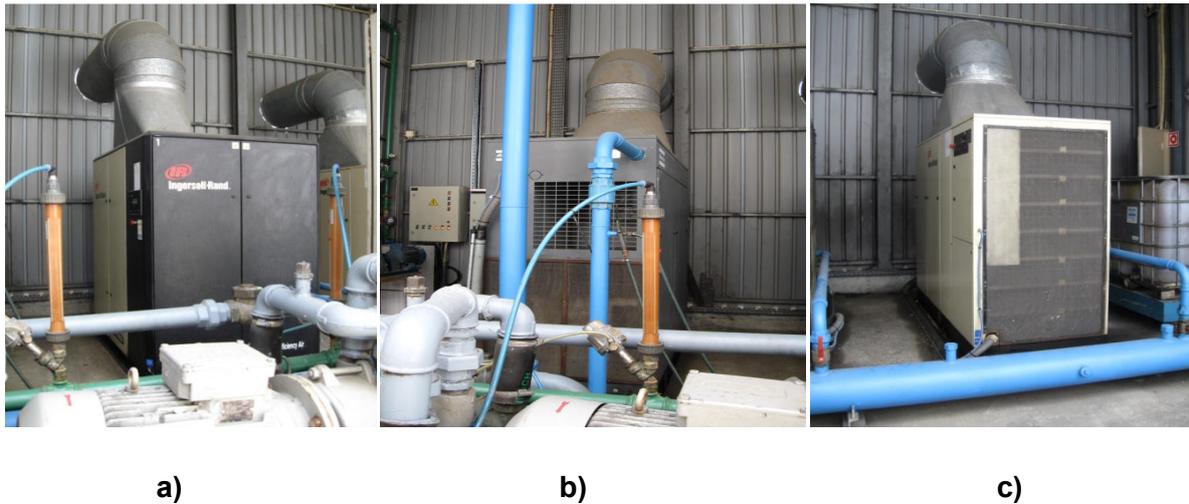


Figura 1.12- Compressores que alimentam ar comprimido à fábrica: a) Nirvana N75, b) Atlas-Copco e c) ML55.

- **Central de Vácuo**

A empresa dispõe de uma central de vácuo, que produz uma depressão máxima de 0,8 barg. Esta central é constituída por quatro bombas de vácuo e por duas bombas de água. Estas últimas têm como objectivo retirar o condensado formado na central de vácuo. Dispõe, também, de dois depósitos de acumulação, com capacidade de 2 m³, como já foi referido.

- **Central de aspiração de matéria-prima**

Existe na empresa um conjunto de três ventiladores sugadores, mas apenas dois deles trabalham vinte e quatro horas por dia. Estes ventiladores são os responsáveis pela aspiração centralizada da matéria-prima dos silos para as máquinas de moldar.

- **Central de bombagem**

A central de bombagem é constituída por duas bombas de furo, que retiram água dos dois furos artesianos, para o depósito. De seguida, a água é bombeada por duas bombas para a central de vácuo, para a máquina de blocos e para a sala da caldeira.

- **Sala dos silos**

Como já foi referido anteriormente, o EPS depois de expandido é armazenado em silos, antes de ser injectado nas máquinas de moldar. Nesta sala existem três ventiladores, para provocar a dissipação do pentano para fora da sala, já que este é um composto

orgânico volátil (COV), prejudicial para a saúde humana e meio ambiente. A quantidade de pentano libertado está em conformidade com a legislação em vigor.

- **Sector de corte, sector de moldados e sector de blocos**

Nestes sectores existem máquinas que, para o seu normal accionamento e funcionamento, usam energia eléctrica. Estes sectores estão representados na figura 1.13.



Figura 1.13- Sector de corte e sector de blocos da esquerda para a direita.

- **Iluminação**

Na fábrica, a iluminação dos espaços interiores é feita, na sua maioria, por lâmpadas de vapor de mercúrio e, em menor quantidade, por lâmpadas de iodetos metálicos. A restante iluminação é feita através de algumas telhas translúcidas, que permitem a passagem de luz suficiente nos dias e horas com maior incidência de luz solar.

2 Fundamentação do trabalho

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG): “A ENERGIA é de importância vital nas economias de hoje”. [8]

Actualmente, é cada vez maior a preocupação com o uso racional da energia, e, por isso, as empresas que querem continuar competitivas, tem de utilizar, da melhor forma possível, as utilidades de consumo, tais como, água, energia eléctrica, vapor e ar comprimido.

A energia é mais do que simples números numa factura, é a base de tudo o que fazemos. É utilizada no quotidiano, desde a mais simples acção, de preparar alimentos até ao lazer. Foi a energia que permitiu ao ser humano, passar de um vida sem comodidades e pouco produtiva, para o completamente oposto, mas, como em tudo, tem de haver sensatez no seu uso. A gestão dos recursos energéticos inclui, não apenas a redução do consumo de energia, mas também uma utilização mais consciente e eficiente.

A Utilização Racional de Energia (URE) consiste num conjunto de medidas, que têm como objectivo a melhor utilização da energia, e é um factor, cada vez mais, importante de economia energética e de redução de custos, tanto no sector doméstico como no sector industrial. [9]

O peso da factura energética por vezes, é baixo, quando comparada com outros gastos existentes numa empresa. Por isso, é muitas vezes negligenciada e contribui para os desperdícios significativos existentes nas indústrias. Apesar do argumento da competitividade ser aquele que mais leva hoje em dia, os empresários a preocuparem-se cada vez mais com a URE, a crescente preocupação com o meio ambiente veio intensificar essa necessidade de melhorar a utilização da energia. Seja por imposição legal ou pela necessidade de atingir requisitos ambientais, como forma de beneficiar produtos ou campanhas de apoio, a eficiência energética é o assunto da actualidade mundial.

A urgente necessidade de mudar a mentalidade da sociedade, é imprescindível para que haja, cada vez mais, a consciência de dois conceitos base muito importantes: a conservação de energia e a eficiência energética. A primeira inclui qualquer comportamento ou atitude do qual resulta, directamente, a utilização de menos energia, e a segunda envolve a utilização de uma tecnologia que requer um menor consumo de energia, para realizar a mesma função.

É fundamental encontrar formas alternativas para produzir energia e utilizá-la de forma consciente e eficiente, sem comprometer o futuro das gerações vindouras. É nisto que se baseia o conceito de Desenvolvimento Sustentável, como representa a figura 2.1. Os problemas ambientais com que a sociedade se depara hoje em dia, tais como a exploração de recursos não renováveis, que excedem a sua taxa de regeneração, as emissões de resíduos poluentes, que excedem a capacidade de absorção e regeneração dos ecossistemas, carecem de soluções a curto, médio prazo.

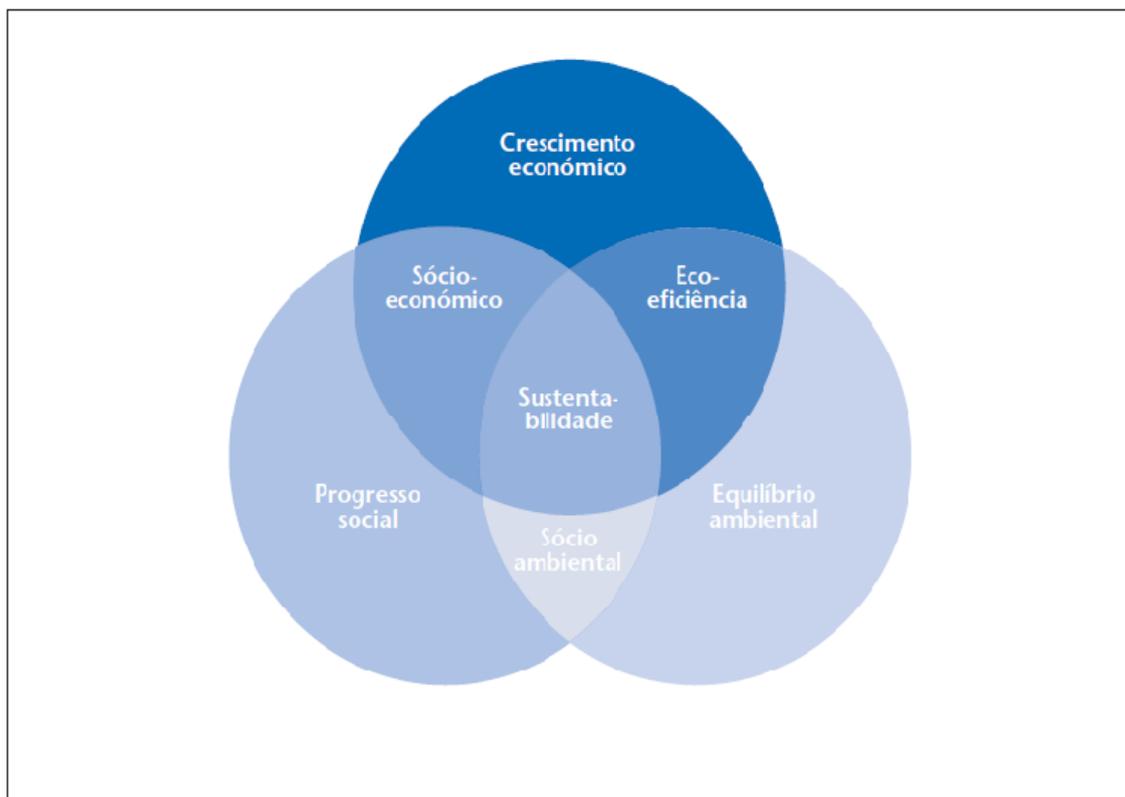


Figura 2.1- Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável. [10]

A empresa em questão, Petibol, como se irá ver mais à frente neste trabalho, é uma empresa Consumidora Intensiva de Energia (CIE), porque apresenta, desde 2006, consumos energéticos superiores a 500 tep (toneladas equivalentes de petróleo) e também, desde 2006 encontra-se no Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn).

2.1 Caracterização energética da empresa

Em 2005, aparece a Estratégia Nacional de Energia (ENE), onde se prevêem medidas para a promoção da eficiência energética. Daí surge o Regulamento de Gestão de Consumo de Energia (RGCE), que vem da necessidade de regular o consumo de energia primária, e aplica-se às empresas CIE. Empresas CIE, são empresas que tenham tido um consumo energético superior a 500 tep, como é o caso da Petibol, desde 2006, como já foi referido.

Com vista a compatibilizar o RGCE com as novas exigências, ao nível das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), com a revisão do sector energético e a necessidade de promover a URE, surge o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril. Este decreto-lei regula o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) e o regime previsto no presente decreto-lei aplica-se às empresas CIE, que no ano civil imediatamente anterior tenham tido um consumo energético superior a 500 tep/ano (figura 2.2).



Figura 2.2-Âmbito dos Sistemas de Gestão dos consumos Intensivos de Energia. [10]

O SGCIE prevê que as empresas CIE, como é o caso da Petibol, realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização da energia e que promovam o aumento da eficiência energética. Prevê, ainda, que se elaborem e executem os PREn, estabelecendo acordos de racionalização desses consumos.

Nas instalações com consumo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano, são realizadas auditorias energéticas obrigatórias com uma periodicidade de seis anos.

A Petibol no ano de 2006, apresentou um consumo 1484 tep, logo, foi referenciada como CIE. Uma vez que apresentava um consumo superior a 1000 tep, ficou sujeita à realização de auditorias de seis em seis anos. Essas auditorias incidem sobre as condições de utilização da energia e devem ser referidas medidas a tomar para reduzir o seu consumo energético.

Na figura 2.3, estão representadas as medidas a tomar depois de uma empresa ser declarada como CIE e que apresentem consumos iguais ou superiores a 1000 tep/ano, como é o caso da Petibol. O registo é feito online, no site da ADENE, e num período de quatro meses, contabilizado a partir do primeiro ano em que a instalação atinja o estatuto de CIE.

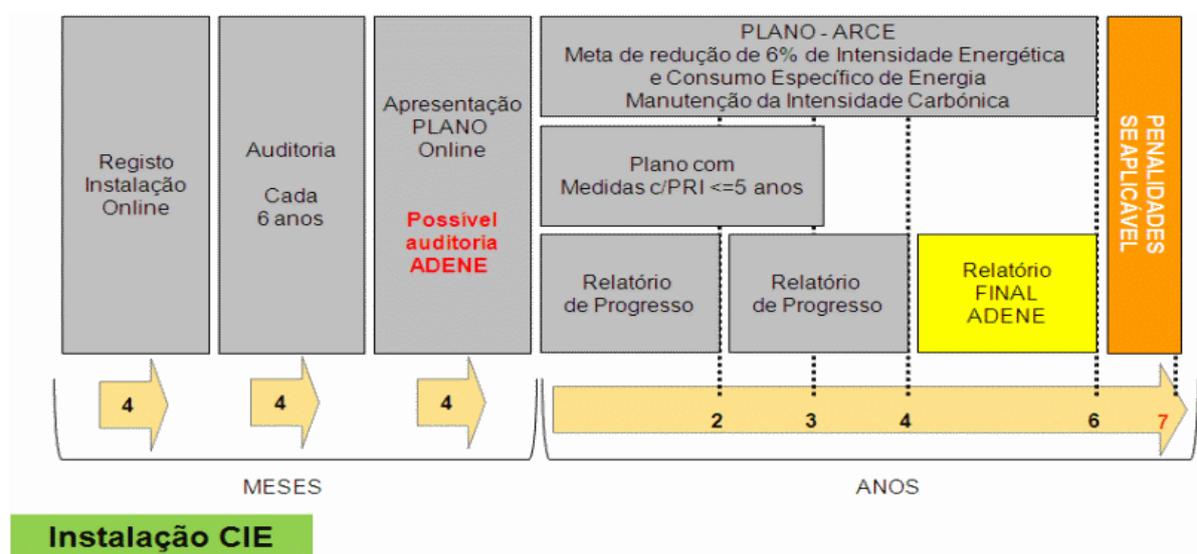


Figura 2.3- Síntese de aplicação para instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 1000 tep/ano. [10]

As auditorias incidem sobre as condições de utilização da energia, devendo ser colhidos os elementos necessários à elaboração do PReN. O PReN é elaborado com base nas auditorias energéticas obrigatórias, devendo prever a implementação de todas as medidas identificadas nos primeiros três anos, com um período de retorno de investimento inferior ou igual a cinco anos. Deve, ainda, estabelecer metas relativas à intensidade energética e carbónica, ou seja, tem de apresentar uma melhoria de 6% dos indicadores (consumo específico e intensidade carbónica), em seis anos, e, no mínimo, a manutenção dos valores históricos de intensidade carbónica.

O PReN é apresentado à ADENE nos quatro meses seguintes ao vencimento do prazo da realização da auditoria energética. Se o PReN estiver devidamente instruído, a ADENE, no prazo de cinco dias, submete-o a aprovação da DGEG. Quando este é aprovado designa-se por Acordo de racionalização dos consumos de energia (ARCE). Devem ainda ser apresentados a cada dois anos, relatórios de progresso, os quais devem referir as metas e objectivos alcançados, desvios verificados e medidas tomadas ou a tomar para a sua correcção. O último relatório relativo ao período de vigência, considera-se como relatório final e é elaborado por um técnico ou entidade credenciada, escolhido pela ADENE e que não tenha intervindo na elaboração das auditorias energéticas, no PReN ou nos relatórios intercalares.

A Petibol, no seu processo produtivo, consome energia sob duas formas: gás natural (usado como combustível na caldeira de vapor, que fornece energia térmica para toda a fábrica) e energia eléctrica (usada no accionamento dos vários equipamentos existentes e na iluminação da fábrica).

Para uma melhor compreensão da relação entre consumos de determinadas formas de energia e energia primária, estão representados alguns desses factores de conversão na figura 2.4.

	Energia Eléctrica	1000 tep/ano	4.651.163 kWh
		500 tep/ano	2.325.581 kWh
	Fuelóleo	1000 tep/ano	1.016 t
		500 tep/ano	508 t
	Gás Natural	1000 tep/ano	928,5 t 1.104.837 Nm ³
		500 tep/ano	464,25 t 552.419 Nm ³
	Gás de Petróleo Liquefeito	1000 tep/ano	885 t
		500 tep/ano	442,5 t

Figura 2.4- Equivalências energéticas de referência. [10]

2.2 Objectivos do trabalho

Este trabalho consiste na optimização dos consumos de utilidades, como vapor e energia eléctrica, no sentido de uma possível optimização do consumo da energia primária, tep. No tempo de estágio, deu-se prioridade ao estudo do vapor em detrimento da parte do ar comprimido, isto porque como se pode observar na figura 3.4, onde estão representados os custos da energia eléctrica e do gás natural, no ano de 2009, verifica-se que 71% dos

gastos são com o gás natural e 29% com energia eléctrica. Supondo que optimizando os consumos do ar comprimido se obteria uma recuperação de 10% de energia eléctrica, isso apenas representaria, nos custos totais da empresa, cerca de 2,9%, enquanto que no gás natural, uma economia da mesma grandeza, significaria uma poupança de 7,1%, uma diferença significativa.

É de referir que todos os cálculos foram feitos tendo como referência o ano de 2009.

2.3 Estrutura da dissertação

A dissertação é composta por cinco capítulos. No capítulo 1, fez-se a caracterização da empresa, uma breve elucidação sobre a sua origem, localização, o tipo de matérias-primas utilizadas e o seu processo de fabrico, os objectivos de produção, a política de qualidade e ambiente adoptada pela empresa, e aborda-se também as utilidades de consumo que vão ser estudadas, nomeadamente o vapor e energia eléctrica

O capítulo 2, consiste na fundamentação deste trabalho, ou seja, enquadra a situação da Petibol na situação energética actual e explica a necessidade, urgente, de optimizar os consumos energéticos, para uma melhor utilização da energia. É apresentada a legislação em vigor para empresas CIE, como a Petibol, como são identificadas e o processo a seguir depois dessa identificação.

No capítulo 3, estão representados os consumos energéticos totais da Petibol no ano de 2009, e a análise da energia eléctrica consumida, nesse mesmo ano, bem como os resultados obtidos.

No capítulo 4, analisa-se a central de vapor, isto é, faz-se o estudo das propostas colocadas pela empresa, na tentativa de diminuir os gastos com gás natural. É, também, apresentada a formulação/metodologia usada nos cálculos, assim como os resultados obtidos da análise à central de vapor.

Por fim, no capítulo 5, são referidas as conclusões retiradas do trabalho e ainda a indicação de trabalhos futuros que poderão a vir ser desenvolvidos na empresa.

3 Análise Energética

Hoje em dia é cada vez maior a preocupação com a gestão de energia na indústria, isto porque a energia deve ser encarada como um factor tão importante como o trabalho, o capital e as matérias-primas. Se houver uma utilização racional de energia pode-se obter diversos benefícios entre os quais se salienta a redução da factura energética, o aumento da competitividade interna e externa, o conhecimento das instalações e do custo energético de cada fase do processo ou do sistema.

Mas para saber como utilizar racionalmente a energia, inicialmente, é necessário efectuar-se um levantamento energético, isto é, fazer um primeiro estudo quanto à situação energética da empresa, onde se pretende fazer um levantamento dos consumos, neste caso, da energia eléctrica e do vapor. É também, importante determinar quais os pontos críticos e analisá-los, para de seguida tomar as melhores e mais viáveis medidas em cada caso.

Neste capítulo são abordados os consumos energéticos da Petibol referentes ao ano de 2009.

3.1 Consumos Energéticos

A Petibol, como já foi anteriormente referido, consome no seu processo produtivo energia sob duas formas: gás natural e energia eléctrica. O gás natural, como combustível na caldeira de vapor, que fornece energia térmica para toda a fábrica, e a energia eléctrica, usada no accionamento de motores eléctricos das diversas máquinas e na iluminação da fábrica.

Para a conversão dos consumos de gás natural e energia eléctrica em energia final, energia primária e emissão de gases com efeito de estufa (GEE), utilizaram-se os factores de conversão indicados na tabela 3.1.

Tabela 3.1- Coeficientes de conversão para GJ, tep e kg CO₂e das várias formas de energia existentes. (Despacho nº 17313/2008, figura L.1 no anexo L)

		Factores de conversão		
Energia Eléctrica	0,0036 GJ/kWh	0,000215 tep/kWh	0,47 kgCO ₂ e/tep	
Gás Natural	45,1 GJ/ton	1,077 tep/ton	2683,7 kgCO ₂ e/tep	

Na tabela 3.2 apresentam-se os consumos energéticos relativamente ao ano 2009. Aqui estão representados os consumos de vapor e energia eléctrica em diferentes unidades: energia final (GJ), energia primária (tep) e emissões de GEE expresso em quilogramas de CO₂ equivalentes (kgCO₂e).

Energia final é a energia tal como ela é disponibilizada, nas suas várias formas (electricidade, combustíveis, gás, etc.), contrariamente à energia primária, que é a energia tal como entra no sistema energético.

A energia primária sofre transformações para dar origem à energia final (por exemplo, o carvão – energia primária - pode produzir electricidade – energia final).

Para efeitos de contabilidade energética é necessário converter para a mesma unidade os consumos e/ou produções de todas as formas de energia. A unidade usualmente utilizada para o efeito é a tonelada equivalente de petróleo (tep) que, como o nome indica, é o conteúdo energético de uma tonelada de petróleo indiferenciado. A unidade de energia no Sistema Internacional de Unidades é o Joule (J). Os dados fornecidos pela empresa estão apresentados no anexo A, tabela A.3. Os cálculos referentes à tabela 3.2, estão no anexo B.1.

Tabela 3.2- Quantidades de energia consumidas no ano de 2009.

		GJ	tep	kgCO₂e
Energia Eléctrica	1355202 kWh	4878	290	138
Gás Natural	808 ton	36442	871	2337503
Total	-	41320	1161	2337641

Na figura 3.1, são apresentadas as percentagens de energia consumida referentes ao gás natural e à energia eléctrica. Estas percentagens estão calculadas no anexo B.1.

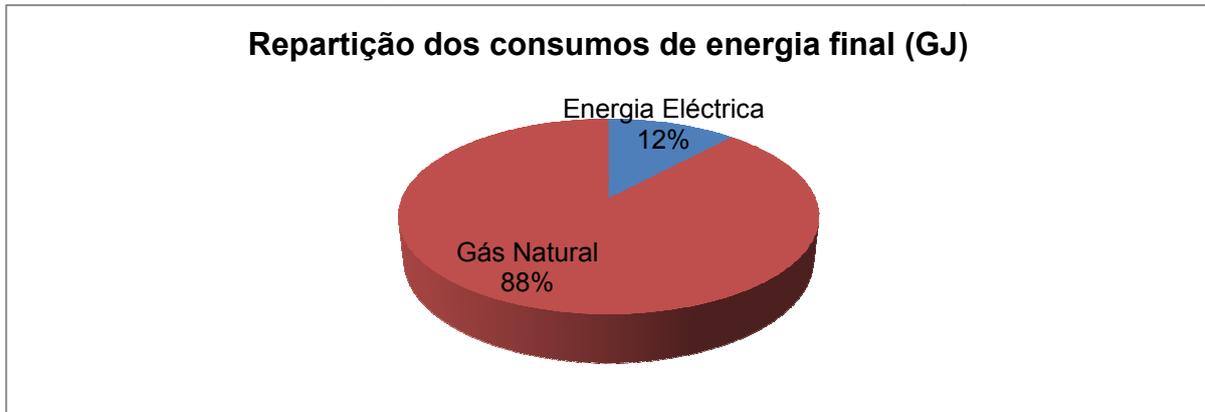


Figura 3.1-Distribuição da energia final consumida no ano de 2009 (GJ).

Por análise a figura 3.1, verifica-se que, relativamente ao valor energético (GJ), a forma de energia mais utilizada foi o gás natural, com 88% de consumo, seguido da energia eléctrica com 12% do consumo.

Em termos de energia primária (tep), a forma de energia mais utilizada foi também o gás natural, com 871 tep relativamente à energia eléctrica com 290 tep.

Quanto a emissões de gases de efeito de estufa, verifica-se que todas são oriundas do gás natural, embora a energia eléctrica apresente um valor de 138 kgCO₂e. Este é insignificante quando comparado com os 2337503 kgCO₂e referentes ao gás natural.

Como se pode observar pela figura 3.2, os maiores consumos de energia final são provenientes do gás natural. A quantidade de energia eléctrica final consumida, é constante e muito inferior à consumida pelo gás natural, no ano de 2009.

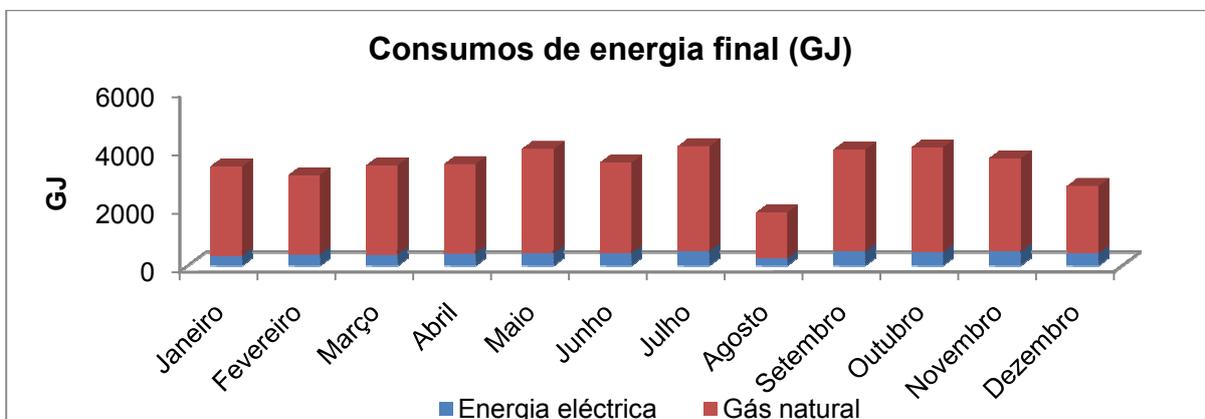


Figura 3.2- Representação gráfica dos consumos de energia final (GJ), no ano de 2009.

Na figura 3.3, observa-se que o consumo de energia final tem a mesma variação que a produção. Observaram-se alterações no mês de Agosto, onde houve uma quebra quer na produção, quer no consumo de energia final, que se pode justificar com o fecho da fábrica nesse mês. A partir de Setembro até Dezembro houve um abaixamento nas duas variáveis, embora na produção esse abaixamento, seja ligeiramente mais significativo.

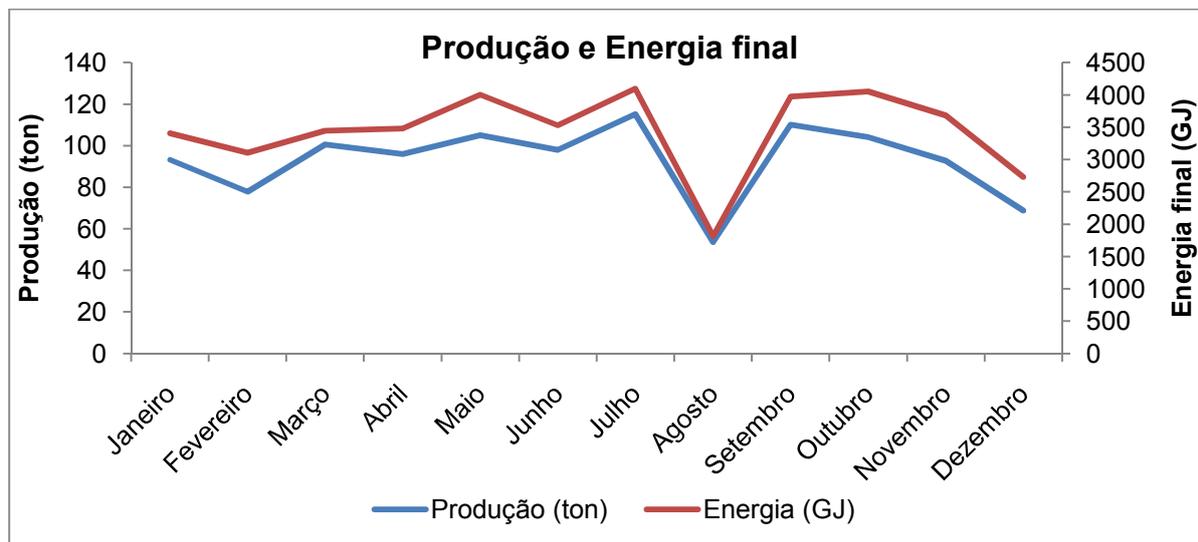


Figura 3.3- Representação gráfica da variação da produção e da energia final, ao longo de 2009.

Na tabela 3.3 estão representados os gastos com gás natural e energia eléctrica que a empresa teve no ano de 2009. Os custos são os facturados, todos os meses, pela empresa EDP. Os dados utilizados estão no anexo A, tabela A.9.

Tabela 3.3- Custos anuais com gás natural e energia eléctrica no ano 2009.

	Custos	
	€	%
Gás Natural	299916	71
Energia Eléctrica	122913	29
Total	422829	100

Na figura 3.4 estão representados os gastos que a empresa teve com energia eléctrica e gás natural, no ano de 2009, necessários ao seu normal funcionamento.

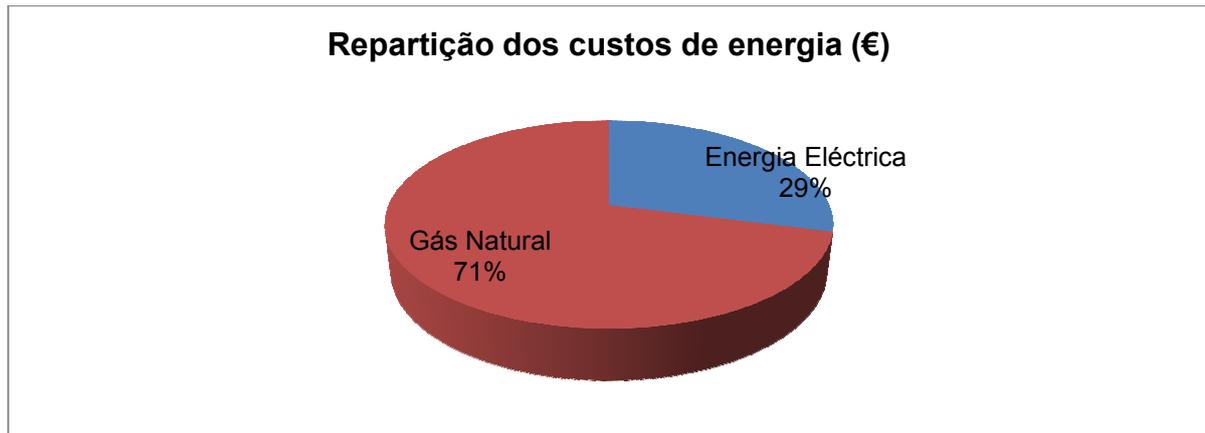


Figura 3.4- Distribuição dos custos com gás natural e energia eléctrica no ano de 2009 (€).

Em relação ao custo das formas de energia, o gás natural foi o que representou maior peso percentual, com 71%. A energia eléctrica representou 29%, como se observa na figura 3.4. No ano de 2009 os gastos com gás natural foram muito superiores aos tidos com a energia eléctrica, (figura 3.5).

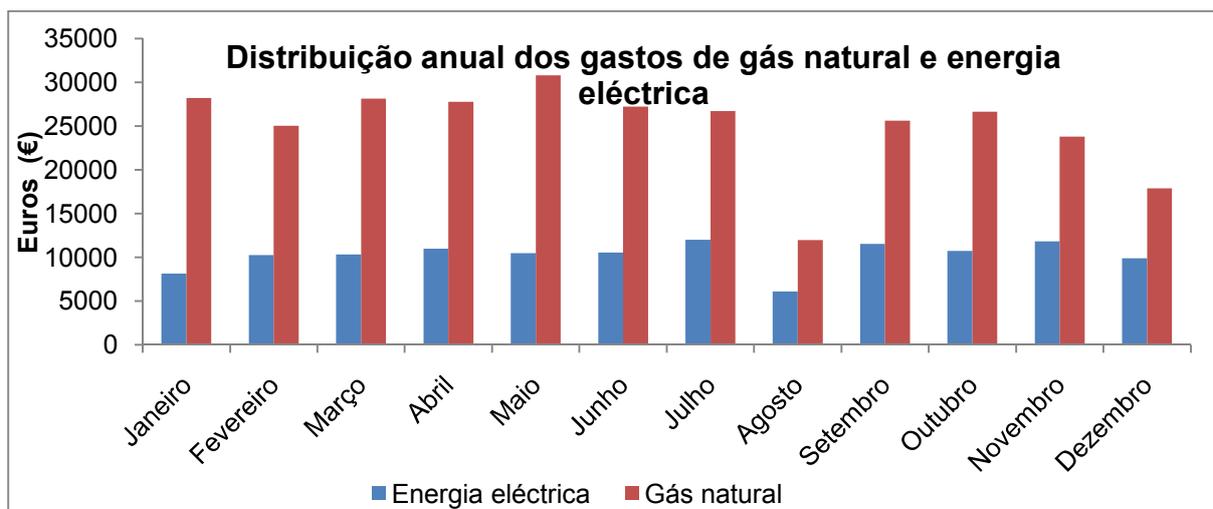


Figura 3.5- Distribuição dos gastos com gás natural e energia eléctrica durante o ano de 2009.

O gás natural é consumido, exclusivamente, na caldeira de vapor, que produz energia térmica necessária ao normal funcionamento da fábrica.

No anexo A, na tabela A.3, observou-se que no ano de 2009, os maiores consumos de gás natural, ocorrem nos meses de Maio, Julho, Setembro e Outubro. Na mesma tabela, é possível verificar que os consumos de energia eléctrica mantêm-se aproximadamente constantes ao longo do ano, apenas evidenciando no mês de Agosto uma quebra, que é justificada pela paragem da fábrica.

3.2 Indicadores de eficiência energética

Os indicadores de eficiência energética, medem o grau de desempenho energético de uma empresa. Estes indicadores são:

- Intensidade Carbónica, medida pelo quociente entre o valor das emissões de gases de efeito de estufa, resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo, e o respectivo consumo total de energia. [11]

$$\text{Intensidade carbónica} = \frac{\text{Emissões de GEE (ton CO}_2\text{e)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}} \quad (3.1)$$

- Consumo Específico de Energia, determinado pelo quociente entre o consumo total de energia (considerando apenas 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis) e o volume de produção. [11]

$$\text{Consumo Específico de Energia} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Quantidade total de produto produzido (ton)}} \quad (3.2)$$

Na figura 3.6, está representada a variação da intensidade carbónica e da produção da fábrica. Pela análise da figura observa-se que a intensidade carbónica varia ao longo do ano. De realçar as quebras nos meses de Agosto, Novembro e Dezembro. A intensidade carbónica foi maior nos meses de Janeiro, Maio e Outubro.

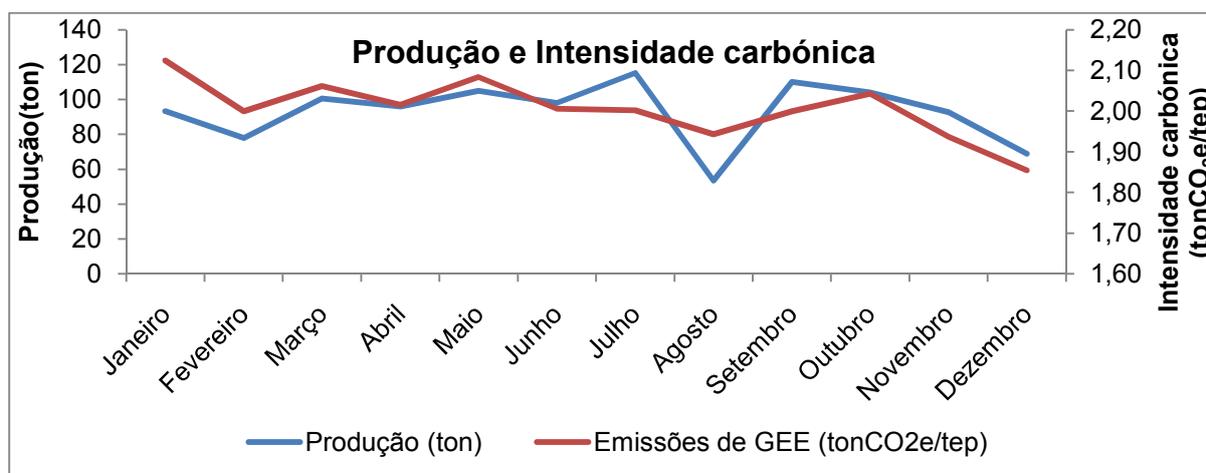


Figura 3.6- Representação gráfica da variação da produção e da intensidade carbónica ao longo de 2009.

Na figura 3.7, estão representadas as percentagens referentes à energia primária consumida em 2009, tendo em consideração os dados apresentados na tabela 4.2.

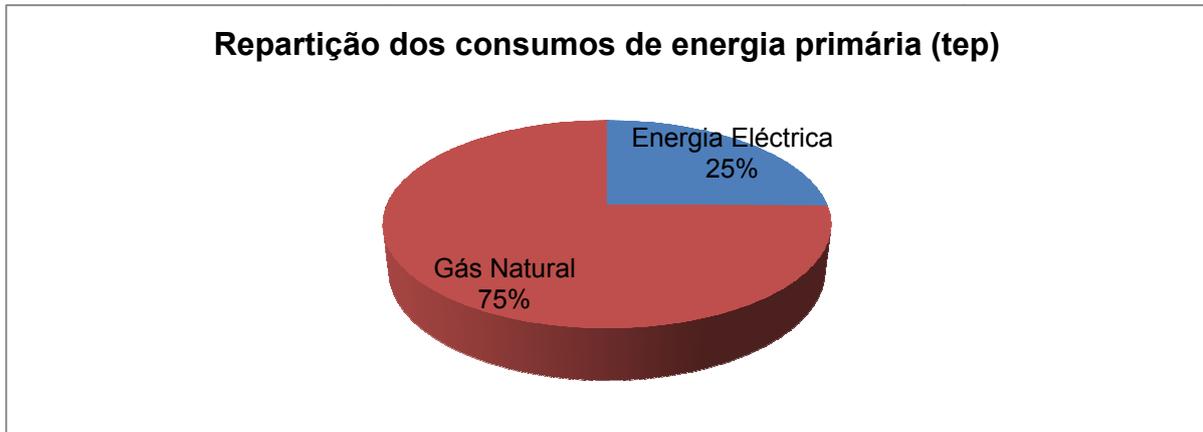


Figura 3.7-Distribuição dos consumos de energia primária, no ano de 2009, (tep).

Na figura 3.8 está representada a variação do consumo específico e da produção. Pode verificar-se que o consumo específico não teve grandes variações ao longo do ano de 2009. A produção teve quebras no mês de Fevereiro, Agosto, Novembro e Dezembro, sendo a maior quebra registada no mês de Agosto.

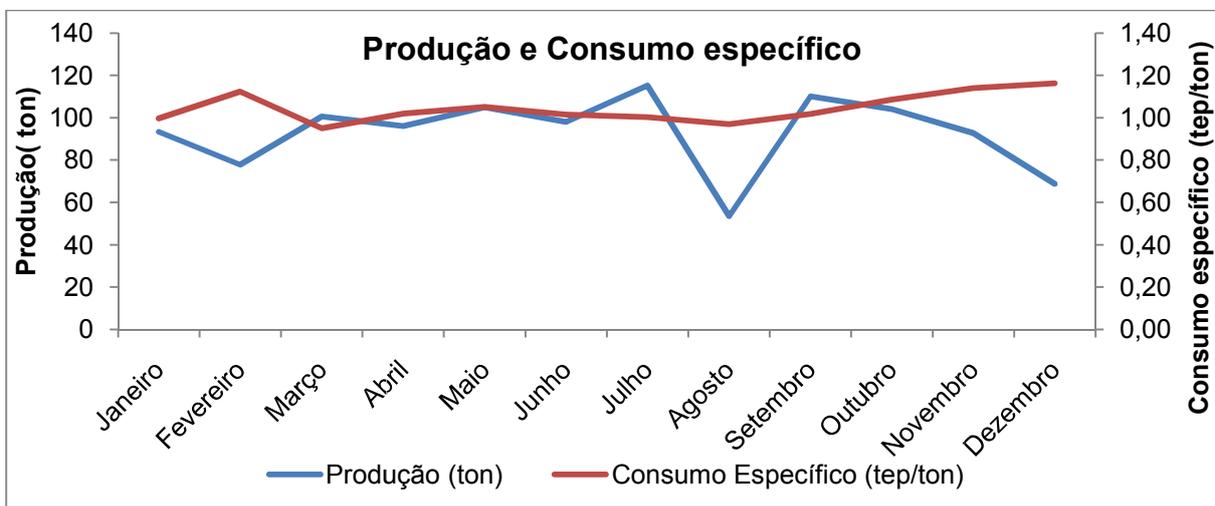


Figura 3.8- Representação gráfica da variação da produção e do consumo específico ao longo de 2009.

Os valores obtidos para a intensidade carbónica e o consumo específico no ano de 2009, assim como os dados necessários para a construção das figuras 3.6, e 3.8, encontram-se apresentados no anexo B.2.

Tabela 3.4-Valores obtidos para o consumo específico de energia e a intensidade carbónica, no ano de 2009.

Consumo Específico de Energia (tep/ton)	1,04
Intensidade Carbónica (tonCO₂e/tep)	2,01
Total (tep)	1161

O consumo específico de energia é de 1,04 tep/ton. Embora não existam, para este tipo de indústria, valores de referência de consumo específico de energia e intensidade carbónica, estes, servem como valores de controlo para a empresa. Uma vez que o consumo total de energia primária é superior a 500 tep, como se pode observar na tabela 3.4, esta empresa é considerada um Consumidor Intensivo de Energia de acordo com a legislação em vigor (Decreto – lei nº71/2008 de 15 de Abril).

3.3 Energia eléctrica

A energia eléctrica consumida, na Petibol, é usada para alimentar os equipamentos consumidores de energia eléctrica e na iluminação dos espaços.

Depois de analisado o processo produtivo, procedeu-se a um levantamento energético, ou seja, procurou-se identificar como e onde se consome energia eléctrica. Na tabela 3.5, encontra-se uma listagem dos equipamentos existentes na empresa que consomem energia eléctrica, as respectivas potências instaladas e o tempo médio de trabalho de cada um deles. O tempo de operação e a potência instalada são referentes a cada peça de equipamento.

Tabela 3.5- Listagem de equipamentos consumidores de energia eléctrica.

Equipamento	Tempo de operação anual (h)	Potência instalada (kW)
Central de vácuo		
4 Bombas de vácuo	5280	4
2 Bombas de água	2640	3
Central de bombagem		
2 Bombas de água	5280	3
2 Bombas de furo	2640	4
Central de água de refrigeração		

Tabela 3.5- Listagem de equipamentos consumidores de energia eléctrica. (Continuação)

2 Ventiladores	5280	4
2 Bombas de água	5280	7
2 Bomba de circulação	5280	3
Central de aspiração de matéria-prima		
2 Ventiladores sugadores	5280	3
Central de ar comprimido		
Secador de ar	5280	4,31
Compressor de ar Ingersoll Nirvana N75	3855	75
Compressor de ar Ingersoll ML55	3342	55
Compressor de ar Atlas Copco GA55	1883	55
Central de produção de vapor		
Caldeira	4950	13,5
Sector de moldados		
Pré-expansor 05	1829	14
Máq. injeção 1	5280	2,2
Máq. Injeção 2	5280	3,6
Máq. injeção 3	5280	2,2
Máq. injeção 4	5280	10
Máq. injeção 5	5280	10
Máq. injeção 6	5280	9,0
Máq. injeção 7	5280	7,5
Máq. injeção 8	5280	7,5
Máq. injeção 9	5280	7,5
Máq. injeção 10	5280	10
Máq. injeção 11	5280	8
Máq. injeção 12	5280	8
Máq. injeção 13	5280	5
Máq. injeção 14	5280	4
Máq. injeção 15	5280	11
Máq. injeção 16	5280	12
Máq. injeção 17	5280	17

No caso de alguns equipamentos, como as dezassete máquinas o pré-expansor 05, e os três compressores, foram feitas medições para tentar obter a potência média consumida, durante uma semana. Este dado foi extrapolado para um ano inteiro para efeito de cálculos.

A empresa tem instalados, em oito pontos da fábrica, contadores de energia eléctrica. Os registos são feitos às segundas-feiras, de cada semana. No final do ano têm o consumo anual de energia eléctrica, em cada ponto. Os quadros eléctricos são os apresentados na tabela 3.6.

Tabela 3.6- Distribuição da energia eléctrica em quadros.

Quadro da sala da caldeira	Sala da caldeira e sala da bombagem.
Quadro da sala técnica nº1 (Q.ST1)	Compressor Nirvana e compressor AtlasGA 55.
Quadro sala técnica nº 2 (Q.ST2)	Compressor ML55, secador, central de vácuo, central de aspiração de matéria-prima, bombas de água e torres de arrefecimento.
Quadro da fábrica nº1 (Q.F1)	Pré-expansor 05, e máquina de injeção 1 até à máquina de injeção 9
Quadro da fábrica nº2 (Q.F2)	Máquina de injeção 10 até máquina de injeção 17.
Quadro da fábrica nº3 (Q.F3)	Pré-expansor 06 e máquina de blocos.
Quadro da fábrica nº4 (Q.F4)	Moinho 1, moinho 2, e máquina de betisol.
Quadro da fábrica nº5 (Q.F5)	Sector do corte e iluminação sector corte.

As contagens dos quadros correspondentes ao ano de referência estão no anexo A, tabela A.1.

Foi proposto pela empresa, que se efectuasse a divisão dos consumos de cada quadro, ou seja, uma estimativa da percentagem que cada equipamento representa no consumo total do quadro. Para a empresa apenas é pertinente a divisão do quadro da sala da caldeira, das salas técnicas nº1 e 2 e dos quadros da fábrica nº1 e 2.

Com o tempo médio de operação e a potência instalada, dados fornecidos pela empresa, que estão representados na tabela 3.5, efectuou-se uma estimativa dos consumos anuais de cada equipamento. Como se pode verificar mais à frente, na maioria dos quadros o valor desses consumos foi superior ao registado nos quadros, ou seja, ao valor real, consumido em 2009 (Anexo A, tabela A.1). Considerou-se que a percentagem de energia real consumida por cada equipamento afecto a cada quadro eléctrico é igual à determinada nos cálculos. Essas diferenças entre os consumos estimados e os consumos reais podem ser justificadas pelo facto de, numa fábrica, as condições de produção nunca serem constantes, ou seja, as necessidades de utilidades (água, vapor, energia eléctrica e ar comprimido), o número de máquinas a trabalhar, o tipo de material que está a ser utilizado, variam tornando irregular a produção, numa fábrica.

Considerou-se, também, que cada equipamento trabalhou igual número de horas nos períodos de Verão e Inverno. O exemplo de cálculo, referente aos consumos estimados (tabela 3.7, 3.9, 3.11, 3.13 e 3.15) é apresentado no anexo B.4. O exemplo de cálculo referente às percentagens sobre os consumos reais é referido no anexo B.5 (tabela 3.8, 3.10, 3.12, 3.14 e 3.16 e figura 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13)

- **Quadro da sala da caldeira**

O consumo anual real total registado no contador do quadro da sala da caldeira foi de 63145 kWh em 2009, como se pode observar na tabela A.1, no anexo A. Como já foi referido, os consumos estimados foram calculados a partir do tempo de operação e potência instalada (dados apresentados na tabela 3.5).

Neste caso, a potência da caldeira foi multiplicada por um factor de 2/5, uma vez que a produção nominal da caldeira é de 5 ton/h, mas em 2009, produziu em média 2 ton/h. Então, a potência média consumida em 2009 é de 5,4 kW, ao invés dos 13,5 kW, referido na tabela 3.5.

Tabela 3.7- Consumos estimados no quadro da sala da caldeira.

	Pot. instal. (kW)	Pot. cons. (kWh)	Energia anual cons. (kWh)	Custo eléctrico Inverno (€)	Custo eléctrico Verão (€)	Custo total (€)
Sala caldeira	13,5	5,4	26730	966	997	1963
Sala de bombagem						
2 Bombas de água	6	6	31680	1144	1181	2325
2 Bombas de furo	8	8	21120	763	787	1550
Total (kWh)	-	-	79530	-	-	-

O total dos consumos calculados (tabela 3.7) apresenta um valor superior ao valor real consumido em 2009, 79530 e 63145 kWh, respectivamente. Este facto poderá verificar-se devido a diferenças na produção e, conseqüentemente diferentes necessidades de vapor e

água. Assim efectuou-se uma extrapolação dos consumos calculados para o valor real consumido, ou seja, considerou-se que, no ano de 2009, 66,5% do valor total foi consumido na sala de bombagem e os restantes 33,5% na sala da caldeira. Na tabela 3.8, estão representados os valores correspondentes as percentagens da sala da caldeira e de bombagem, mas agora relativos ao valor real, consumido em 2009.

Os valores, representados na tabela 3.8, são calculados multiplicando o consumo real, 63145 kWh, da sala da caldeira pela percentagem correspondente à sala da caldeira e à sala de bombagem. Este exemplo de cálculo é apresentado no anexo B.5.

Tabela 3.8- Consumos reais anuais do quadro da sala da caldeira.

	Consumo anual real (kWh)
Sala da caldeira	21154
Sala de bombagem	41991
Total	63145

Por análise da figura 3.9, conclui-se que a sala que representa mais gastos é a sala de bombagem, representando 66,5% dos gastos, (41991 kWh/ano). A sala da caldeira, com gastos anuais de 21154 kWh, representa no total 33,5% do total da energia consumida, nesse quadro.

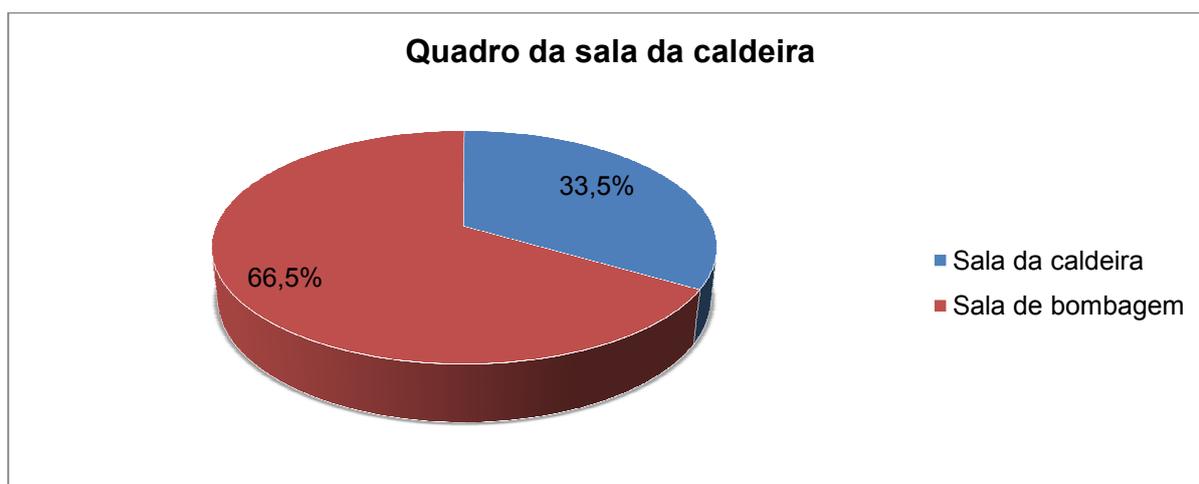


Figura 3.9- Consumos percentuais no quadro da sala da caldeira

- **Quadro da sala técnica nº1**

O consumo total registado no contador do quadro da sala técnica nº1 foi de 456332 kWh, no ano de 2009, como se pode observar na tabela A.1, anexo A.

Os dois compressores registados neste quadro, possuem um equipamento que contabiliza as horas que os compressores trabalharam. A potência consumida, apresentada na segunda coluna da tabela 3.9, como já foi mencionado, representa as potências médias registadas nas medições que foram feitas, durante uma semana, a esses equipamentos.

Tabela 3.9- Consumos estimados no quadro da sala técnica nº1.

	Pot. Instal. (kW)	Pot. Cons. (kW)	Energia anual cons. (kWh)	Custo eléctrico Inverno (€)	Custo eléctrico Verão (€)	Custo total (€)
Compressor de ar Ingersoll Nirvana	75	77,4	298377	10779	11125	21904
Compressor de ar AtlasCopco GA 55	55	59,6	112227	4054	4184	8238
Total (kWh)	-	-	410604	-	-	-

Neste caso, consumo total calculado (410604 kWh, tabela 3.9), foi inferior aos 456332 kWh (Anexo A, tabela A.1) registados no quadro (consumo real). Esta discrepância nos valores, pode estar relacionada com o facto de os compressores não trabalharem a uma potência constante ao longo do ano. Embora o Atlas- Copco tenha um controlo carga-vazio, nas medições efectuadas apresentou uma potência média consumida 8,4% superior à potência instalada, mas isso pode não se ter verificado ao longo do ano. O Nirvana, tem accionamento variável de velocidade, o que permite trabalhar a potências variáveis, conforme a necessidade de ar comprimido. As diferenças entre a potência nominal e a potência consumida, no compressor Nirvana e no Atlas- Copco, devem-se ao facto dos fabricantes, se limitarem a informar a potência útil que a unidade compressora vai consumir. Porém, para que essa potência seja transmitida, é necessário que o motor absorva uma superior, já que a transformação acarreta desvios de uma parte dessa energia, para formas não úteis e que se designam por perdas.

Embora na sala da caldeira tenha acontecido o oposto, o consumo estimado foi superior ao real, aqui, seguiu-se o mesmo método utilizado no quadro anterior. Na tabela 3.10 estão representados os valores correspondentes ao valor real consumido, relativos a cada compressor. Esses valores são resultantes da multiplicação do consumo real do quadro (anexo A, tabela A.1) pela percentagem correspondente a cada compressor (figura 3.10).

Tabela 3.10- Consumos reais anuais do quadro da sala técnica nº1.

	Consumo anual real (kWh)
Compressor de ar Ingersoll Nirvana	331753
Compressor de ar Atlas - Copco GA 55	124579
Total (kWh)	456332

Por análise à figura 3.10, verificou-se que o maior consumidor de energia eléctrica no quadro da sala técnica nº1 é o compressor Nirvana, como seria de esperar, uma vez que foi o compressor que mais horas trabalhou, no ano de 2009. Com uma parcela de 72,7%, que em consumo real anual representa 331753 kWh, contra os 27,3% e 124579 kWh do Atlas Copco GA 55.

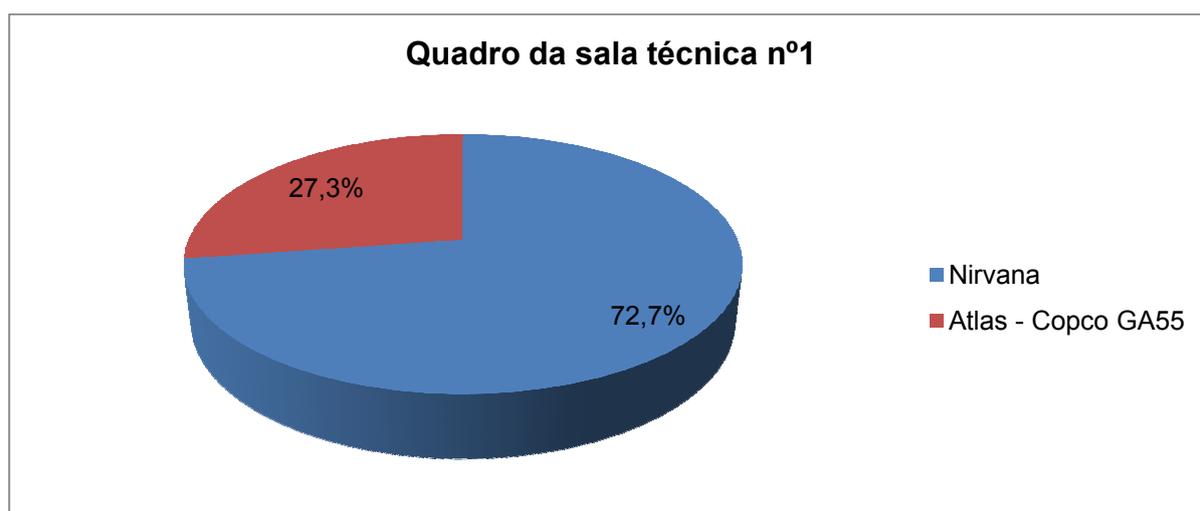


Figura 3.10- Consumos percentuais no quadro da sala técnica nº1.

- **Quadro da sala técnica nº2**

O consumo total registado no contador do quadro da sala técnica nº2 foi de 494133 kWh, no ano de 2009, como se pode verificar pela tabela A.1, no anexo A.

Tabela 3.11- Consumos estimados no quadro da sala técnica nº2.

	Pot. Instal. (kW)	Pot. Cons. (kW)	Energia anual cons. (kWh)	Custo eléctrico Inverno (€)	Custo eléctrico Verão (€)	Custo total (€)
Secador de ar	4,31	-	22757	822	848	1670
Compressor de ar Ingersoll ML55	55	63,9	213554	7715	7962	15677
Central de vácuo						
4 Bombas de vácuo	16	-	84480	3052	3150	6202
2 Bombas de água	6	-	15840	572	591	1163
Central de aspiração de matéria-prima						
2 Ventiladores sugadores	6	-	31680	1144	1181	2325
Central de refrigeração da água						
2 Ventiladores (torres de refrigeração)	8	-	42240	1526	1575	3101
2 Bombas de água	14	-	73920	2670	2756	5426
2 Bombas de circulação (torre de refrigeração)	6	-	31680	1144	1181	2325
Total (kWh)	-	-	516151	-	-	-

O consumo total calculado (tabela 3.11) apresenta um valor superior ao real, 516151 e 494133 kWh, respectivamente. Essa disparidade pode ter sido provocada pelo compressor Ingersoll ML55, isto porque, apesar de ter uma potência instalada de 55 kW, nas medições verificou-se que está a consumir 16,2% acima da mesma. A diferença entre potência nominal e potência consumida, é motivada, pelas mesmas razões que nos

compressores Nirvana e Atlas- Copco, isto é, a potência nominal refere-se apenas à potência útil que o compressor vai consumir, quando na verdade o motor para transmitir uma determinada potência nominal necessita de absorver uma potência superior. No entanto, o utilizador paga a factura total, onde também se incluem as perdas.

Assim como aconteceu nos quadros anteriores, os valores apresentados na tabela 3.12, foram resultado da multiplicação do consumo real registado no quadro (anexo A, tabela A.1) e a percentagem relativa a cada conjunto de equipamentos representados na figura 3.11.

Tabela 3.12- Consumos reais anuais do quadro da sala técnica nº2.

	Consumo anual real (kWh)
Secador	21742
Compressor de ar Ingersoll ML55	204571
Central de vácuo	95862
Central de aspiração de matéria-prima	30142
Central de refrigeração da água	141322
Total	494133

No quadro da sala técnica nº2, o responsável pelo maior consumo de energia, como se pode observar na figura 4.11, foi o compressor Ingersoll ML55, com 41,4%, seguido da central de água de refrigeração, central de vácuo, central de aspiração de matéria-prima e o secador com 28,6%, 19,4%, 6,1% e 4,4%, respectivamente.

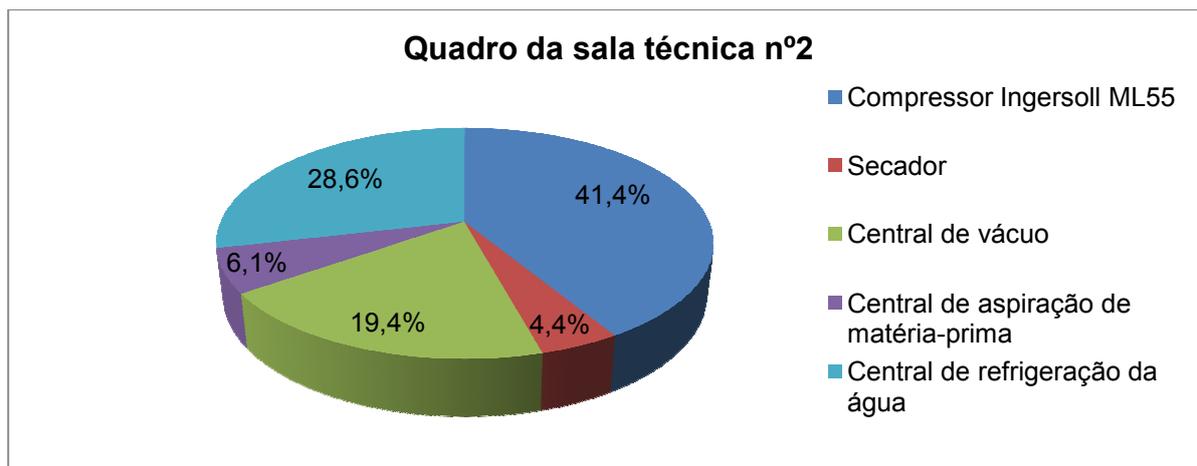


Figura 3.11- Consumos percentuais no quadro da sala técnica nº2.

- **Quadro da fábrica nº1**

O consumo total registado no contador do quadro da fábrica nº1 foi de 59861 kWh, no ano de 2009, como se pode observar pela tabela A.1, no anexo A. Neste quadro, o equipamento que registou as horas de trabalho foi o pré-expansor 05, é, ainda, de referir que nos cálculos da energia anual consumida pelas máquinas considerou-se um factor médio de ocupação destas de 0,77, (dado que foi fornecido pela empresa).

Tabela 3.13- Consumos estimados no quadro da fábrica nº1.

	Pot. Cons. (kW)	Energia anual cons. (kWh)	Custo eléctrico Inverno (€)	Custo eléctrico Verão (€)	Custo total (€)
Pré-expansor 05	2,1	3841	139	143	282
Máq. injeção 1	0,5	2033	73	76	149
Máq. injeção 2	0,8	3252	117	121	238
Máq. injeção 3	0,5	2033	73	76	149
Máq. injeção 4	2,3	9351	338	349	687
Máq. injeção 5	2,3	9351	338	349	687
Máq. injeção 6	2,0	8131	294	303	597
Máq. injeção 7	1,7	6912	250	258	508

Tabela 3.13- Consumos estimados no quadro da fábrica nº1. (Continuação)

Máq. injeção 8	1,7	6912	250	258	508
Máq. injeção 9	1,7	6912	250	258	508
Total (kWh)	-	58728	-	-	-

No quadro da fábrica nº1, assim como nos quadros da sala da caldeira e quadro da sala técnica nº1, verificou-se uma diferença entre o valor do consumo total estimado (tabela 3.13) e o registado, no ano de 2009. Neste caso, a diferença não foi tão significativa como a verificada nos outros quadros. O valor calculado foi de 58728 kWh e o valor real foi de 59861 kWh. Esta diferença pode dever-se a dois factores: o tempo de ocupação nas máquinas, (nem sempre as máquinas estão a trabalhar, existem tempos “mortos”, como na mudança de molde, manutenção, paragens com avarias ou outros problemas associados às máquinas) ou a potência consumida pelo pré-expansor, que apesar de consumir em média 2,1 kWh, não significa que ao longo de um ano esta se mantenha constante. Na tabela 3.14, estão representados os valores consumidos pelos equipamentos, relativamente ao valor real registado no quadro, seguindo o mesmo critério que nos quadros anteriores.

Tabela 3.14- Consumos reais anuais do quadro da fábrica nº1.

	Consumo anual real (kWh)
Pré-expansor 05	3951
Máq. injeção 1	2095
Máq. injeção 2	3292
Máq. injeção 3	2095
Máq. injeção 4	9518
Máq. injeção 5	9518
Máq. injeção 6	8261
Máq. injeção 7	7064
Máq. injeção 8	7064

Tabela 3.14- Consumos reais anuais do quadro da fábrica nº1. (Continuação)

Máq. injeção 9	7064
Total	59861

No quadro da fábrica nº1, representado na figura 3.12, as máquinas que mais energia eléctrica consomem são as máquinas nº 5 e 4, (ambas com percentagens de 15,9%) seguidas da máquina 6, (com 13,8%). As máquinas 7,8 e 9 (com 11,8% do consumo), a máquina 2 (com 5,5%), o pré-expansor (com 6,6%) e por último as máquinas 1 e 3 (com apenas 3,5% do consumo total).

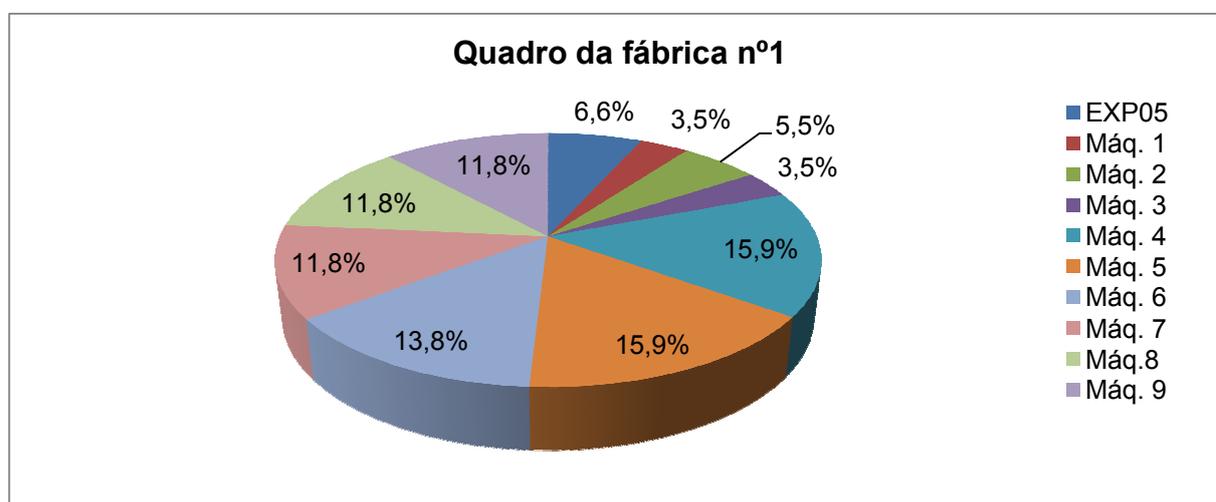


Figura 3.12- Consumos percentuais no quadro da fábrica nº1.

- **Quadro da fábrica nº2**

O consumo total registado no contador do quadro da fábrica nº2 foi de 41907 kWh, no ano de 2009, como se pode observar na tabela A.1, no anexo A. À semelhança do quadro anterior, utilizou-se o factor de 0,77, como factor médio de ocupação das máquinas, em 2009. É de salientar que tanto no quadro da fábrica nº1 e 2, a primeira coluna refere-se à potência média consumida durante a semana em que se fizeram as medições.

Tabela 3.15- Consumos estimados no quadro da fábrica nº1.

	Pot. Cons. (kW)	Energia anual cons. (kWh)	Custo eléctrico	Custo eléctrico	Custo total (€)
			Inverno (€)	Verão (€)	
Máq. injeção 10	2,3	9351	338	385	723
Máq. injeção 11	1,8	7318	264	273	537
Máq. injeção 12	1,8	7318	264	273	537
Máq. injeção 13	1,4	5692	206	212	418
Máq. injeção 14	0,9	3659	132	136	268
Máq. injeção 15	2,5	10164	367	379	746
Máq. injeção 16	2,7	10977	397	409	806
Máq. injeção 17	3,9	15856	573	591	1164
Total	-	70335	-	-	-

No quadro da fábrica nº2, verificou-se, novamente, uma discrepância entre o valor calculado, (70335 kWh, tabela 3.15) e o valor registado, 41907 kWh no ano de 2009. Esta diferença pode ter sido derivada, como já foi mencionado no quadro da fábrica nº1, ao tempo de ocupação das máquinas. Usando o mesmo critério que nos quadros anteriores, os consumos para ao vários equipamentos, relativamente ao valor real consumido em 2009, encontram-se na tabela 3.16.

Tabela 3.16- Consumos reais anuais do quadro da fábrica nº2.

	Consumo anual real (kWh)
Máq. injeção 10	5574
Máq. injeção 11	4358
Máq. injeção 12	4358
Máq. injeção 13	3394

Tabela 3.16- Consumos reais anuais do quadro da fábrica nº2. (Continuação)

Máq. injeção 14	2179
Máq. injeção 15	6077
Máq. injeção 16	6537
Máq. injeção 17	9429
Total	41907

A máquina que apresenta maior parcela de gastos com energia eléctrica no quadro da fábrica nº2, figura 3.13, é a máquina 17, com 22,5%, seguida das máquinas 16, 15 e 10 com parcelas de 15,6%, 14,5% e 13,3%, respectivamente. Essas percentagens representam os consumos reais apresentados na tabela 3.16.

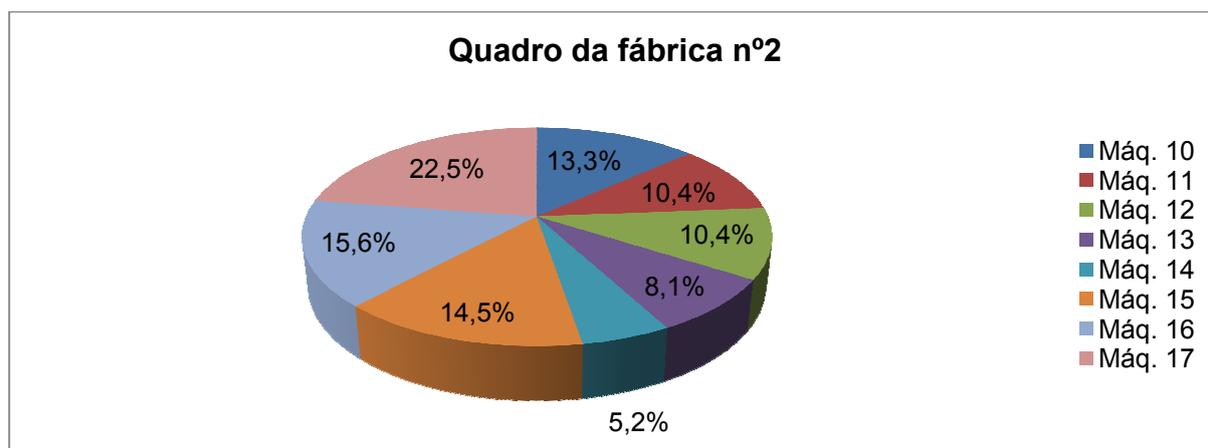


Figura 3.13- Consumos percentuais no quadro da fábrica nº2.

- **Iluminação**

Na Petibol, a iluminação no interior da fábrica é feita por noventa e sete lâmpadas. Na fábrica, na zona da produção, existem quarenta e seis lâmpadas, de vapor de mercúrio, de 400 W, dezasseis lâmpadas, de iodetos metálicos, de 250 W e, ainda, onze lâmpadas fluorescentes, de 37 W. Na sala dos silos e na oficina, existem em cada uma delas, doze lâmpadas fluorescentes, de 37 W. A iluminação no interior da fábrica, na zona das máquinas, está ligada durante, uma média de, dezasseis horas por dia, na oficina oito horas por dia e na sala dos silos dezasseis horas por dia. A iluminação natural disponível na

fábrica é conseguida através de algumas telhas translúcidas, que permitem a passagem de luz suficiente nos dias e horas de maior incidência solar. No entanto, nos dias mais cinzentos é necessário o recurso à iluminação artificial, durante vinte e quatro horas por dia.

A iluminação exterior é feita por vinte e quatro lâmpadas de vapor de sódio, de 150 W, e está ligada, em média, dezasseis horas por dia.

Na tabela 3.17, são apresentadas as potências e os gastos da empresa com iluminação.

Tabela 3.17- Potências e custos associados à iluminação

	Quantidade	Energia (MWh/ano)	Custo (€)
Iluminação interior (Fábrica)	97	82,6	6066
Iluminação exterior	24	21,0	1543
Total	121	104	7609

Como se pode observar a partir da tabela 3.17, os gastos anuais da empresa com iluminação, quer interior como exterior, ascendem aos 7609 €/ano. O consumo eléctrico inerente à iluminação é cerca de 104 MWh/ano, equivalente a 22,3 tep e 10,5 kgCO₂e. O exemplo de cálculo referente aos cálculos da iluminação encontra-se no anexo B.6.

Melhoria:

Iluminação interior (Fábrica, sala dos silos e oficina):

Substituição de quarentas e duas lâmpadas de vapor de mercúrio, de 400 W por lâmpadas de iodetos metálicos, de 250 W. Com esta troca, como se calculou no anexo B.7 iria haver uma poupança de 26,6 MWh/ano, 5,2 tep, 2,5 kgCO₂e e de 1777 €/ano. Com a proposta feita pela empresa Maiamorim, este investimento, com um valor de 6030 €, teria um “payback” simples de 3,4 anos.

Iluminação Exterior:

Colocação de um interruptor crepuscular. Este equipamento liga e desliga a iluminação de acordo com a incidência solar. Considerando que os funcionários da empresa ligam a iluminação exterior no final do dia, logo que haja necessidade, mas que por esquecimento, desligam, em média, duas horas depois de já haver iluminação natural suficiente, através dos cálculos efectuados no anexo B.7, pode verificar-se que esta medida traria uma poupança anual de 188 € e com o investimento de 246,05 € o “payback” simples será de 1,3 anos.

4 A central de vapor

A caldeira, como já foi mencionado, produz vapor saturado entre 6,5 e 7,2 barg, mas para efeito de cálculos, considerou-se que a caldeira produz vapor saturado à pressão de 6,8 barg, a uma temperatura de saturação de 169°C.

4.1 Levantamento Energético

Neste capítulo são apresentadas as principais características da caldeira e equipamento auxiliar existente na empresa.

A caldeira do tipo tubos de fumo, que alimenta a totalidade da fábrica tem a as seguintes características, apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1- Principais características da caldeira.

Marca	Luís Gonçalves e Irmão
Ano de fabrico	2000
Potência nominal	3844,4 kW
Tipo de vapor	Vapor Saturado
Timbre	10 bar
Capacidade	12,121 m ³
Área da superfície de aquecimento	125 m ²
Capacidade máxima de produção de vapor	5000 kg/h
Tipo de combustível	Gás Natural
Tipo de isolamento	Isolamento lã de vidro com cerca de 3 cm de espessura.

- **Equipamento Auxiliar**

Nesta secção são descritos todos os equipamentos auxiliares à caldeira, existentes na Petibol. Esses equipamentos, tais como o queimador modulante, o desgaseificador e economizador, têm como objectivo melhorar o funcionamento e aumentar a eficiência da caldeira. Nas tabelas, 4.2, 4.3, 4.4, e 4.5 estão representadas as características mais importantes desses equipamentos.

Ainda nesta secção, são apresentadas algumas características, das electro-bombas da água de alimentação, do gás natural, e da chaminé, tabela 4.5, 4.6 e 4.7 respectivamente.

Tabela 4.2-Principais características do queimador.

Marca	Proterm CE
Modelo	R510
Ano	2000
Tipo de queimador	Difusão tipo chama
Potência térmica	8 kW
Consumo mínimo-máximo de combustível	53 - 393 kg/h
Potência do motor ventilador	7,5 kW
Tipo de funcionamento	Modulante

Tabela 4.3-Características do desgaseificador.

Tipo	Térmico
Pressão de funcionamento	0,2 barg
Controlo de água	ON/OFF

Tabela 4.4- Características do economizador.

Temperatura média dos gases de combustão à entrada do economizador	205°C
Temperatura média dos gases de combustão à saída do economizador	160°C
Temperatura da água de alimentação à entrada do economizador	105°C
Temperatura da água de alimentação à saída do economizador	120°C
Área de transferência de calor	51,43 m ²
Potência	176 kW

Tabela 4.5-Equipamentos consumidores de energia eléctrica na sala da caldeira

Electro-bombas para água de alimentação	2
Potência	5,5 kW

O abastecimento do gás natural à fábrica é feito por intermédio de um Posto de Regulação e Medida (PRM), localizado próximo do limite de propriedade da empresa. Do PRM, a tubagem segue enterrada até a central térmica.

O custo e o consumo horário de gás natural, em 2009, são calculados como está apresentado nos anexos B.9 e B.10.

Tabela 4.6- Dados relativos ao gás natural alimentado à caldeira.

Poder Calorífico Inferior	45,1 MJ/kg (Anexo L, figura L.1)
Massa volúmica	0,8404 kg/Nm ³ (Anexo L, figura L.1)
Pressão de fornecimento	0,1 bar
Custo médio do combustível em 2009	0,02634 €/kW
Consumo médio de combustível	163 kg/h

Na tabela 4.7 estão descritas as características do tipo de chaminé que a empresa possui.

Tabela 4.7- Características da chaminé

Tipo de saída dos fumos do gerador	Para cima
Tipo de protecção exterior	Chapa de aço galvanizado
Tiragem:	Natural
Material de construção:	Aço

Para garantir que a caldeira trabalhe com elevada eficiência, para além dos equipamentos auxiliares referidos anteriormente, é necessário fazer purgas à caldeira para evitar problemas como corrosão, arrastamentos de vapor e outros problemas específicos, evitando a eficiência da caldeira diminuir.

Os sólidos suspensos são mantidos em suspensão enquanto a água da caldeira se mantiver agitada, mas, mal a agitação pare, eles irão cair e depositar-se no fundo da caldeira. Se não forem removidos, eles acumulam-se e passado algum tempo, inibirão a transferência de calor, nos tubos da caldeira, que poderá provocar sobreaquecimento ou até mesmo falha da caldeira. Como o objectivo de controlar as lamas depositadas no fundo da caldeira, por efeito da decantação de sólidos suspensos, é realizada à caldeira uma purga de fundo. A purga não é nada mais que abrir uma válvula existente no fundo da caldeira durante um determinado período de tempo, o suficiente para remover os sólidos depositados, como se apresenta na figura 4.1. No caso da Petibol, a purga é intermitente e realizada de meia em meia hora, com uma duração de seis segundos, tabela 4.8.

Tabela 4.8- Purga de fundo

Tipo de purga	Intermitente
Número de purgas diárias:	48
Duração da purga:	6 segundos



Figura 4.1- Válvula da purga de fundo.

4.2 Eficiência da Caldeira

Nesta secção, será calculada a eficiência da caldeira, através do método indirecto ou também designado por método das perdas. A eficiência será calculada a partir da análise efectuada aos gases de combustão, no ano de 2009. A análise está apresentada no anexo L, tabela L.2.

Através dessa mesma análise com a percentagem de O_2 ou CO_2 , lê-se o excesso de ar correspondente, na tabela L.1 do anexo L.

Tabela 4.9- Excesso de ar utilizado na caldeira. [12]

Percentagem de O_2	2,8%
Percentagem de CO_2	10,3%
Excesso de ar (e)	12%

A maneira de controlar o bom funcionamento de uma caldeira é efectuado determinando a sua eficiência, η . Este valor pode ser determinado por dois métodos: o directo (quociente entre o calor fornecido ao fluido de trabalho e a energia total inerente no combustível), equação 4.1,

$$\eta_{Caldeira} = \frac{\dot{m}_{vapor} \times (hg_{Pressão\ operação\ da\ caldeira} - hf_{Temperatura\ da\ água\ de\ alimentação})}{\dot{m}_{combustível} \times PCI} \quad (4.1)$$

e o indirecto ou das perdas, sendo este último utilizado com maior frequência.

Para o cálculo da eficiência, pelo método indirecto recorreu-se à seguinte expressão,

$$\eta_{Caldeira} = 100 - \Sigma_{Perdas} \quad (4.2)$$

As perdas consideradas foram as seguintes:

- **Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes. [13]**

$$P_{CV} = \frac{A + FCI + C_{CC} \times 33820 \times 100}{(1 - C_{CC}) \times PCI} \quad (4.3)$$

Sendo que: A, fracção em peso de inertes no combustível.

PCI, é o poder calorífico inferior do combustível alimentado à caldeira

C_{cc}, é a fracção, em peso, de inertes no combustível

FCI, fracção, em peso, das cinzas volantes em relação ao total de inertes no combustível.

- **Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo. [13]**

$$P_{CF} = \frac{A + FCI \times 33820 \times 100}{(1 - C_{CC}) \times PCI} \quad (4.4)$$

As perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes e nas cinzas de fundo, neste caso, não são consideradas, isto porque o combustível alimentado à caldeira não é um combustível sólido.

- **Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão. [13]**

$$P_{gc} = \frac{K \times (Tg - Ta) \times \left[1 - \frac{(Pcv + Pcf)}{100} \right]}{\%CO_2} \quad (4.5)$$

$$K = \frac{255 \times C}{PCI} \quad (4.6)$$

em que, C representa a percentagem em peso de carbono no combustível.

- **Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases secos de combustão. [13]**

$$P_{H_2O} = \frac{(m_{H_2O} + 9H) \cdot (210 - 4,2Ta + 2,1Tg)}{PCI} \quad (4.7)$$

Sabendo que: Tg, é a temperatura dos gases à saída da caldeira.

Ta, a temperatura ambiente

m_{H_2O} , percentagem, em peso, da humidade no combustível.

H, percentagem de hidrogénio no combustível.

- **Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão. [13]**

$$P_{CO} = \frac{K \cdot CO \cdot [1 - 0,01 \cdot (Pcv + Pcf)]}{CO + CO_2} \quad (4.8)$$

CO - percentagem de monóxido de carbono nos gases de exaustão, à saída da caldeira

CO₂- percentagem de dióxido de carbono nos gases de exaustão, à saída da caldeira

- **Perdas por convecção e radiação.**

As perdas por convecção e radiação são calculadas através da tabela L.4, representada no anexo L. Para tal é necessário ter a capacidade nominal, que é calculada a partir da equação 4.9.

$$\text{Capacidade nominal} = \text{Produção máxima de vapor} \times hg_{\text{Pressao de operação}} \quad [14] \quad (4.9)$$

- **Perdas associadas às purgas. [13]**

$$P_p = \frac{(T_p - T_{H2O}) \cdot (p) \cdot (100 - \Sigma \text{perdas})}{(T_p - T_{H2O}) \cdot (p) + [100 - (p)] \cdot (660 - T_{H2O})} \quad (4.10)$$

Sendo que :

$$p = \frac{\text{Caudal}_{\text{Purga}}}{\text{Caudal}_{\text{Água de alimentação}}} \times 100 \quad (4.11)$$

T_{H2O} - Temperatura da água de alimentação à caldeira neste caso, à entrada do economizador.

T_p - Temperatura da purga.

Na tabela 4.10, são apresentadas algumas características da caldeira, os valores obtidos para as perdas existentes e a eficiência da caldeira. Os cálculos referentes a estes resultados são apresentados no anexo D.

Tabela 4.10- Dados de funcionamento da caldeira.

PETIBOL

Combustível	Gás Natural
Carga	40%
Temperatura ambiente média	24,3°C
Temperatura dos gases de combustão média, após economizador	160°C

Tabela 4.10- Dados de funcionamento da caldeira. (Continuação)

Temperatura dos gases de combustão à saída caldeira	205°C
%O ₂	2,8%
%CO ₂	10,3%
Excesso de ar	12%
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão.	7,19%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases secos de combustão.	2,47%
Perdas associadas aos inqueimados.	0%
Perdas por convecção e radiação.	1,6%
Perdas associadas às purgas.	1,02%
Eficiência da caldeira	87,72%
Caudal de vapor	2000 kg/h

4.3 Optimização Energética

Neste capítulo é feito um estudo sobre a viabilidade de equipamentos auxiliares à caldeira, ou melhorias no funcionamento da caldeira, na tentativa de aumentar a sua eficiência.

Estudaram-se então as seguintes possibilidades:

- Usado de um permutador de calor à saída do economizador (para aproveitar o calor dos gases de combustão);
- Substituição do actual economizador;
- Recuperação do calor perdido nas purgas.

4.3.1 Dimensionamento de um permutador de calor

Um permutador de calor compacto de fluxo cruzado, que no seu interior apresenta feixes de tubos com alhetas circulares, seria uma possível escolha para este caso, isto porque são permutadores pequenos mas com grandes áreas de transferência de calor. Este permutador teria como objectivo aquecer a água de compensação, antes desta entrar no desgaseificador. A água passa no interior dos tubos e é aquecida através do calor cedido pelos gases de combustão, provenientes da caldeira, que circulam no exterior dos mesmos.

Neste capítulo, é feito um estudo da exequibilidade de colocação de um permutador de calor, para aquecer a água de compensação. O proposto pela empresa, seria tentar analisar a viabilidade de passagem da situação representada na figura N.1, no anexo N (assinalado a amarelo), para a situação representada na figura O.1, anexo O. Os cálculos inerentes ao dimensionamento do permutador encontram-se no anexo E.

Para poder analisar a viabilidade da solução apresentada, foi necessário começar pelo estudo das propriedades físicas dos gases de combustão. Com a composição dos gases de combustão calcularam-se as suas propriedades físicas, Anexo C.

As propriedades físicas dos gases de combustão e da água às temperaturas médias do economizador e do permutador de calor, estão apresentadas nas tabelas E.1 e E.2 no anexo E.

Para determinar o caudal de gases de combustão que vai entrar no permutador, foi necessário realizar um balanço energético ao economizador, como está apresentado nas equações 4.12 e 4.13.

Balanço de energia ao economizador:

$$Q = \dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs}) = \dot{m}_f \times Cp_f \times (T_{fs} - T_{fe}) \quad [15] \quad (4.12)$$

$$\dot{m}_q = \frac{\dot{m}_f \times Cp_f \times (T_{fs} - T_{fe})}{Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs})} \quad (4.13)$$

Balço de energia ao permutador de calor:

Considerou-se que a temperatura dos gases à saída deste permutador seria de 130°C, isto porque a temperatura desses gases à saída de uma caldeira, a gás natural, nunca deve ser inferior a 120°C, dado o risco de corrosão na chaminé, provocado pela condensação do vapor de água. [16]

A água entra no permutador de calor a 40°C, proveniente de uma serpentina (dado retirado da tese “Caracterização de águas do processo e optimização dos consumos de água nos vários circuitos da Petibol” da Márcia Silva – a publicar).

O fluido quente, neste caso, são os gases de combustão e o fluido frio a água.

$$Q = \dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs}) = \dot{m}_f \times Cp_f \times (T_{fs} - T_{fe})$$

$$T_{fs} = \left(\frac{\dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs})}{\dot{m}_f \times Cp_f} \right) + T_{fe} \quad (4.14)$$

Equação projecto:

$$Q = UA\Delta T_{lm}F \quad [15] \quad (4.15)$$

Sendo o ΔT_{lm} , calculado considerando condições em contra-corrente.

Como já foi referido, o permutador escolhido, foi um permutador compacto de fluxo cruzado (uma passagem para cada um dos fluidos). No seu interior teria um feixe de tubos de aço com alhetas radiais do mesmo material.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{qe} - T_{fs}) - (T_{qs} - T_{fe})}{\ln \frac{(T_{qe} - T_{fs})}{(T_{qs} - T_{fe})}} \quad [15] \quad (4.16)$$

Rearranjando a equação 4.15, obtém-se:

$$UA = \frac{Q}{\Delta T_{lm} \cdot F} \quad (4.17)$$

O factor de correcção da temperatura, F , depende das temperaturas dos fluidos, do tipo de permutador e é função de dois parâmetros adimensionais, R e P , definidos por: [17]

$$R = \frac{T_{qe} - T_{qs}}{T_{fs} - T_{fe}} \quad (4.18)$$

$$S = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{qe} - T_{fe}} \quad (4.19)$$

Com os parâmetros S e R , retira-se o valor de F , anexo L, figura L.2 [17]

Quando o valor obtido, UA , na equação 4.20, for da mesma ordem de grandeza que o calculado na equação 4.17, o permutador pretendido está dimensionado [15]

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\Delta x}{K_p \cdot A_{lm}} + \frac{1}{h_o \cdot A_o \cdot \eta'} \quad (4.20)$$

Cálculo do coeficiente de transferência de calor do lado dos gases de combustão h_o : [18]

Conhecendo o tipo de permutador, (permutador compacto com feixe de tubos com alhetas circulares) calculou-se, a velocidade mássica, G , definida como:

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{min}} \quad (4.21)$$

Em que:

\dot{m} , é o caudal mássico dos gases de combustão,

A_{min} , é a área mínima transversal ao escoamento livre

O permutador terá as características representadas na figura L.3, no anexo L.

Sabendo que σ , é o quociente entre a área mínima de escoamento livre e a área frontal do permutador:

$$\sigma = \frac{\text{Área}_{minima}}{\text{Área}_{frontal}} \quad (4.22)$$

$$\text{Área}_{minima} = \text{Área}_{frontal} \times \sigma \quad (4.23)$$

Por sua vez,

$$Re = \frac{G \times D_h}{\mu} \quad (4.24)$$

D_h , representa o diâmetro hidráulico definido como o, quociente entre quatro vezes o volume mínimo de passagem da corrente livre e a área de transferência de calor.

O diâmetro hidráulico, tirou-se na figura L.3 no anexo L.

Da mesma figura, com o número de Reynolds retira-se:

$$\frac{ho}{G \times Cp} \times Pr^{\frac{2}{3}} = 0.014 \quad (4.25)$$

Cálculo da área total de transferência, A_t : [18]

$$Volume_{permutador} = Largura \times Altura \times Comprimento \quad (4.26)$$

Pela figura L.3, no anexo L, tira-se o valor de α , definido por:

$$\alpha = \frac{\text{Área de transferência de calor}}{\text{Volume total}} \quad (4.27)$$

A partir da equação 4.27 retira-se o valor de A_t .

Determinação da eficiência das alhetas: [18]

Através da figura L.3, no anexo L., retira-se o diâmetro externo dos tubos e o diâmetro das alhetas.

$$ri = \frac{Di}{2} \quad (4.28)$$

$$ro = \frac{Do}{2} \quad (4.29)$$

$$L = ro - ri \quad (4.30)$$

Para determinar a eficiência da alheta, calcula-se os seguintes parâmetros:

$$L \times \sqrt{\frac{2 \times h}{k \times t}} \quad (4.31)$$

$$\frac{ro}{ri} \quad (4.32)$$

Com os parâmetros acima descritos, determina-se a eficiência da alheta, figura L.4, no anexo L.

Da figura L.3, no anexo L, retira-se o quociente entre a área das alhetas e a área total:

$$\frac{Af}{At} = \frac{\text{Área das alhetas}}{\text{Área total}} \quad (4.33)$$

A eficiência da alheta será calculada a partir da equação 4.34,

$$\eta' = \frac{Af}{At} \times \eta + 1 - \frac{Af}{At} \quad (4.34)$$

Determinação do número total de tubos, N_t:

Com as dimensões do permutador, e o passo dos tubos na horizontal e na vertical retirado da figura L.3, no anexo L, calcula-se o número total de tubos.

$$N_{t\text{horizontal}} = \frac{\text{Largura}}{0,0343} \quad (4.35)$$

$$N_{t\text{vertical}} = \frac{\text{Altura}}{0,0313} \quad (4.36)$$

$$N_t = N_{t\text{horizontal}} \times N_{t\text{vertical}} \quad (4.37)$$

Determinação da área média logarítmica para a condução através dos tubos: [18]

Considerando a espessura do tubo, e tendo em conta, as espessuras apresentadas na referência [19]

$$A_{lm} = \frac{Ae - Ai}{\ln \frac{Ae}{Ai}} \quad (4.38)$$

$$Ae = 2 \times \pi \times r_o \times L \times N_t \quad (4.39)$$

$$Ai = 2 \times \pi \times r_i \times L \times N_t \quad (4.40)$$

$$\frac{\Delta x}{Kp \cdot A_{lm}} \quad (4.41)$$

Cálculo do coeficiente de transferência de calor do lado da água, h_i: [19]

$$v = \frac{\dot{v}_{\text{água}}}{s} \quad (4.42)$$

$$v = \frac{\frac{\dot{v}_{\text{água}}}{N_t}}{s} \quad (4.43)$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times Di}{\mu} \quad (4.44)$$

Se Reynolds é inferior a 2100, é regime laminar, então:

$$Nu = \frac{hDi}{k} = 1.86 \left(Re Pr \frac{Di}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (4.45)$$

Se Reynolds é superior a 6000:

$$Nu = \frac{h_i D}{k} = 0.027 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (4.46)$$

Tendo o valor de h_o e h_i , calcula-se o valor de UA pela equação 4.21. O projecto do permutador fica resolvido quando se verificar a convergência entre o valor de UA obtido pela equação 4.20 e pela equação 4.17.

De seguida, é calculada a poupança obtida com a colocação do permutador de calor à saída do economizador (anexo E).

Cálculo Poupança:

Para poder determinar a poupança obtida com a instalação do permutador, fez-se inicialmente um balanço energético ao desgaseificador nas condições actuais, ou seja, a água é aquecida de 15°C até a 105 °C. Assim foi possível determinar a quantidade de vapor que é necessário injectar para esse aquecimento.

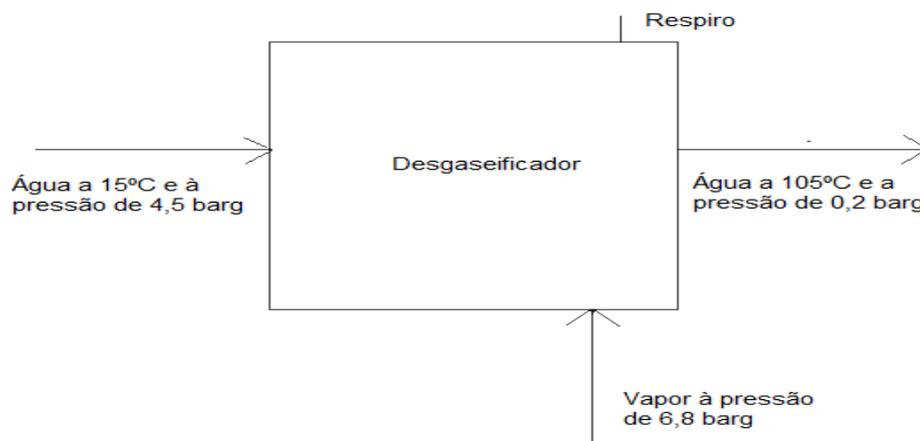


Figura 4.2- Esquema do desgaseificador.

Na figura 4.2, pode-se observar as correntes de entrada e de saída do desgaseificador e as condições das mesmas, na situação actual.

- Sem aquecimento antes do desgaseificador, (situação actual).

No desgaseificador é injectado vapor para aquecer água que entra a 15°C até 105°C, então:

Balço energético ao desgaseificador: [20]

$$\dot{m}_{\text{água}} \times hf_{T=15^{\circ}\text{C}} + \dot{m}_{\text{vapor}} \times hg_{P=6,8\text{barg}} = \dot{m}_{\text{Total}} \times hf_{P=0,2\text{barg}} \quad (4.47)$$

Sendo que \dot{m}_{Total} ,

$$\dot{m}_{\text{Total}} = \dot{m}_{\text{água}} + \dot{m}_{\text{vapor}} \quad (4.48)$$

O caudal de vapor injectado no desgaseificador é

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \dot{m}_{\text{água}} \times \frac{(hf_{P=0,2\text{barg}} - hf_{T=15^{\circ}\text{C}})}{(hg_{P=6,8\text{barg}} - hf_{P=0,2\text{barg}})} \quad (4.49)$$

Então,

$$\text{Percentagem de vapor} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor injectado}}}{\dot{m}_{\text{vapor produzido}}} \times 100 \quad (4.50)$$

- Com aquecimento antes do desgaseificador, (situação provável)

Neste caso, o vapor é injectado no desgaseificador para aquecer água que vem do permutador de calor a temperatura de 50°C até 105°C.

$$\dot{m}_{\text{água}} \times hf_{T=50^{\circ}\text{C}} + \dot{m}_{\text{vapor}} \times hg_{P=6,8\text{barg}} = \dot{m}_{\text{água}} \times hf_{P=0,2\text{barg}} \quad (4.51)$$

O caudal de vapor injectado no desgaseificador será,

$$\dot{m}_{vapor} = \dot{m}_{\text{água}} \times \frac{(h_{f_{P=0,2barg}} - h_{f_{T=50^{\circ}C}})}{(h_{g_{P=6,8barg}} - h_{f_{P=0,2barg}})} \quad (4.52)$$

Então,

$$\text{Percentagem de vapor} = \frac{\dot{m}_{vapor \text{ injectado}}}{\dot{m}_{vapor \text{ produzido}}} \times 100 \quad (4.53)$$

$$\text{Poupança} = \text{Percentagem de vapor}_{\text{situação actual}} - \text{Percentagem de vapor}_{\text{situação provável}} \quad (4.54)$$

Na tabela 4.11, estão as características dos fluidos que circulam no permutador. Os cálculos referentes encontram-se no anexo E.

Tabela 4.11-Características do fluido frio e quente no economizador.

	Gases de combustão	Água de compensação
<i>m</i> (kg/s)	0,67	0,56
Temperatura de entrada (°C)	160	40
Temperatura de saída (°C)	130	50

Na tabela 4.12 estão representadas as características do permutador dimensionado, para o caso da Petibol. Os cálculos relativos a esses dados encontram-se no anexo E.

Tabela 4.12- Características do permutador de calor.

Potência térmica (kW)		23,72
Dimensões (m)	Altura	0,25
	Comprimento	0,25
	Largura	0,25
Área de transferência de calor (m²)		4,2
Volume (m³)		0,016
Tubos de aço (m)	de	0,0164
	di	0,01178

Com este estudo concluiu-se que, embora na teoria seja possível colocar um permutador de calor à saída do economizador, para aquecer a água de compensação (que entra a 40°C), na prática esta opção não é viável. Existe um elevado risco de

condensação, devido a possibilidade dos gases de combustão poderem atingir o seu ponto de orvalho, provocando corrosão tanto no permutador como na chaminé da caldeira, causando, com o passar do tempo, problemas de funcionamento. Como exposto na referência bibliográfica [16], numa caldeira, que queima gás natural, os gases de combustão, por razões de segurança, nunca devem baixar até temperaturas inferiores a 120°C.

4.3.2 Substituição do economizador actual.

Foi proposto, por uma empresa, à Petibol, a substituição do actual economizador por um novo, com uma potência adicional recuperada, de 80 kW. Nesta secção, é estudada a viabilidade da substituição do actual economizador.

Como se pode observar no capítulo 4.2, tabela 4.10, a eficiência da caldeira é de 87,72%. Esta eficiência refere-se apenas à caldeira, por isso, foi calculada a eficiência da caldeira sem e com economizador actual e proposto, para ver qual o aumento que cada um deles representa na eficiência.

Na tabela 4.13 está apresentada a eficiência da caldeira com o actual economizador e com o economizador proposto, os cálculos relativos a esses dados estão nos anexos F e G.

Tabela 4.13- Características da caldeira com a substituição do actual economizador.

Carga economizador proposto	74%
Temperatura ambiente média	24,3°C
Temperatura fumos média, à entrada do economizador	205°C
Temperatura fumos à saída do economizador	130°C
Temperatura média da água de alimentação, antes economizador	105°C
Temperatura média da água de alimentação, após economizador	130°C
%O ₂	2,8%
%CO ₂	10,3%

Tabela 4.13- Características da caldeira com a substituição do actual economizador.
(Continuação)

Excesso de ar	12%
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão.	4,23%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases secos de combustão.	1,75%
Perdas associadas aos inqueimados.	0%
Perdas por convecção e radiação.	1,6%
Perdas associadas às purgas.	0,67%
Eficiência da caldeira	87,72%
Caudal de vapor	2000 kg/h
Eficiência da caldeira com economizador actual	90,15%
Eficiência da caldeira com economizador proposto	91,75%
Poupança em gás natural com a substituição do actual economizador	4987 €/ano

Com a substituição do actual economizador, pelo proposto, haveria um aumento da eficiência da caldeira em cerca de 1,6%, quando comparada com a eficiência da caldeira com o economizador actual. O “payback” deste investimento, como se pode observar no anexo G, seria de 5,6 anos.

4.3.3 Recuperação do calor perdido na purga

Nas caldeiras fazem-se purgas, o motivo deve-se ao aumento da concentração de impurezas (sólidos suspensos e sólidos dissolvidos) na água da caldeira, transportadas pela água da alimentação. O nível de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Suspensos Totais (SST) pode ser controlado através da medição de condutividade da água, isto é, quanto maior for a condutividade da água, maior é a quantidade de sólidos presentes. Essas impurezas podem provocar diversos problemas na caldeira e linhas de distribuição, tais como:

- Arrastamento de água, carregada de sólidos, causado por bolhas de vapor formadas;

- Problemas associados à água, corrosão, erosão, martelo hidráulico, redução da eficiência dos permutadores;
- Problemas associados aos sólidos: deposição em purgadores, válvulas e superfícies de transferência de calor.

Existem dois tipos de purga: a purga de topo ou escumação, que é feita perto do nível da água da caldeira, controla os SDT e SST e a purga de fundo, feita no fundo da caldeira, para controlar as lamas depositadas por efeito da decantação dos sólidos suspensos. O nível de SDT pode influenciar a eficiência da caldeira e qualidade do vapor produzido. Se o nível de SDT estiver baixo, existe perda de energia e de água. Se, pelo contrário, o nível de TSD estiver alto, o vapor produzido será de má qualidade.

Os sólidos suspensos podem ser mantidos em suspensão, enquanto a água da caldeira é agitada, mas assim que a agitação pára, eles depositam-se no fundo da caldeira. Se não forem removidos, eles acumulam-se e com o tempo vão inibir a transferência de calor da caldeira que irá sobreaquecer, podendo mesmo falhar. O método recomendado para a remoção destas lamas é através de curtas purgas. Para o mesmo efeito de limpeza de superfícies de transferência de calor é maior com mais purgas de fundo curtas do que com menos purgas embora mais prolongadas. O objectivo é permitir que haja tempo para as lamas se redistribuírem, de modo a que mais possa ser retirado na próxima purga. Por esta razão, a purga deverá ser de quatro segundos a cada oito horas, sendo muito mais eficaz do que grandes descargas mais distanciadas.

No caso da Petibol, apenas é feita a purga de fundo. A purga de topo não existe, uma vez que se trata de um equipamento sob pressão, não é possível fazer alterações na sua estrutura, visto que são equipamentos sob uma rigorosa legislação. Como já foi referido, (tabela 4.8), a purga de fundo é feita de trinta em trinta minutos, durante seis segundos. Essa purga, neste caso em particular, regula a concentração de todas as impurezas, tais como SDT, SST e as lamas.

Como se pode observar no anexo I, água de alimentação à caldeira apresenta valores de pH, oxigénio, ferro, dureza e condutividade, superiores aos valores limite recomendados, tabela L.5, no anexo L, assim como a água da caldeira apresenta valores de condutividade superiores ao recomendado. Esses valores, poderão justificar a quantidade excessiva de purgas efectuadas à caldeira, levando a perdas desnecessárias de água e de vapor, que em normal funcionamento seria apenas de

quatro segundos de oito em oito horas. Isto indica que a água de alimentação não deve estar a ser correctamente tratada.

A empresa propôs um estudo do aproveitamento da purga de fundo, utilizando um tanque -flash para recuperar o vapor flash formado quando o vapor sai da caldeira a uma pressão elevada e passa para a pressão atmosférica. Esse vapor seria condensado no desgaseificador e tentar-se-ia, ainda, colocar um permutador, de forma a aproveitar o calor da purga para aquecer a água de compensação, antes de entrar no desgaseificador. Para isso, a purga teria de passar a contínua.

Na tabela 4.14, estão as características da purga actual, existente na Petibol, e a recomendada. Os cálculos referentes a esses dados estão no anexo H.

Tabela 4.14- Características da purga actual e recomendada.

	Caudal purga (kg/h)	Energia na purga (kW)	Quant. de água purgada (kg)	Volume de água purgada (m³)	Custo diário (€/dia)	Custo anual (€/ano)
Purga actual	186	37,04	93	0,093	7,72	1699
Purga recomendada	7,75	1,54	62	0,062	0,32	71

Como se pode verificar pelos valores representados na tabela 4.14, ao final de um ano, os gastos com a purga actual são de 1699 €, enquanto a purga recomendada teria gastos anuais de 71 €. Ou seja, se o tratamento da água de alimentação à caldeira for revisto, e a purga for alterada para a recomendada haveria uma poupança de 1628 €/ano, não justificando assim, o investimento na recuperação de calor nas purgas, uma vez que a energia perdida passaria a ser de 1,54 kW (um valor muito reduzido).

4.4 Custos de Funcionamento

Na tabela 4.15, são apresentados os custos de funcionamento necessários ao normal funcionamento da caldeira.

Tabela 4.15- Custos de funcionamento da caldeira

Produtos/Serviços	Custo (€)
Bellaux	1191,46
Bellaux LIQ	147,56
Complexe B106	2415,57
Complexe S106	37,22
Complexe S2000	6062,85
Complexe VN111	11016,40
Complexo B106	374,22
Resinas sódicas	812,50
Manutenção ao queimador	90,00
Manutenção à caldeira	605,00
NaCl	115,28

A empresa teve gastos com a caldeira, no ano de 2009, de 24 532,06 €/ano.

5 Discussão e conclusões

Este trabalho teve como objectivos otimizar as utilidades de consumo: energia eléctrica, vapor e ar comprimido. Como já foi mencionado anteriormente, durante o tempo de estágio não foi possível fazer um estudo do ar comprimido.

Foi proposto na central de vapor que fosse estudada, a viabilidade das seguintes situações:

- Colocar um permutador de calor à saída do economizador, com objectivo de recuperar calor dos gases de combustão, para aquecer a água de alimentação;
- Recuperação da purga de fundo, para aquecer a água de alimentação.
- Substituição do actual economizador

Como se pode observar no Anexo N, a caldeira é alimentada com mistura de água de compensação e condensados, provenientes da fábrica. A água de compensação, actualmente, chega ao desgaseificador à temperatura de 15°C, que é aquecida neste até à temperatura de 105°C. O aquecimento no desgaseificador é feito através de vapor que lhe é injectado. Antes de ser alimentada à caldeira, a água de alimentação passa pelo economizador e atinge a temperatura de 120°C.

Depois de estudada a hipótese de colocar um permutador compacto à saída do economizador, concluiu-se que, esta apresentaria poupanças de 28 518 €/ano em gás natural, 0,016 tep de energia primária e 42,04 kgCO₂e. Apesar disso, chegou-se a conclusão que, embora na teoria seja possível colocar um permutador de calor para aquecer a água de compensação, que entra a 40°C, na prática não se pode colocar água a essa temperatura no permutador, porque existe um grande risco de haver condensação e corrosão do lado dos gases nos tubos, uma vez que pode ser atingido o ponto de orvalho (120°C). Mesmo tendo colocado como margem de segurança os 130°C, na prática não existe a certeza de que a temperatura dos gases não baixaria até aos 120°C, provocando problemas no permutador e na chaminé da caldeira.

Quanto a hipótese de recuperar o calor perdido na purga conclui-se que, embora a purga actual apresente um elevado caudal (186 kg/h), esta não está a ser feita com a correcta frequência, provocando assim perdas excessivas e desnecessárias de vapor.

Como se pode verificar no anexo I, os valores de condutividade da água de alimentação e da água dentro da caldeira, são superiores ao valor limite recomendado

(tabela L.5, anexo L, caldeiras a pressões inferiores a 2 MPa). O que leva a que se faça a purga com mais frequência do que o normal, para evitar problemas na caldeira.

É de salientar a necessidade, urgente, de verificar o tratamento que se está a efectuar a água, pois, com este problema resolvido, poder-se-á fazer a purga como o recomendado por empresas especializadas em vapor, isto é de oito em oito horas durante quatro segundos.

Com o sistema de purga actual, num dia, a empresa tem gastos de 7,72 €/dia, se passar ao sistema de purga recomendado os gastos diários passariam a ser de 0,32 €/dia. Num ano, essa poupança representa 1628 €.

Além das situações apresentadas pela empresa, calculou-se a eficiência da caldeira, e estudou-se a substituição do actual economizador por um novo proposto.

A eficiência da caldeira, no ano de 2009, foi de 87,72%, a eficiência com o actual economizador é de 90,15%.

Foi proposto à Petibol substituir o actual economizador por um novo de potência 80kW. Esse economizador aumentaria a eficiência da caldeira (com economizador actual) em 1,6%, isto é, passaria de 90,15% para 91,75%. Traria ainda uma poupança de 4987 €/ano, em gás natural. O “payback” simples do investimento seria de 5,6 anos.

Na tabela 5.1 estão apresentadas as poupanças obtidas, com as três propostas de melhoria na central de vapor, referidas na secção 4.3

Tabela 5.1- Gastos e poupanças obtidas com as propostas de melhoria na central de vapor.

	Gastos		Poupanças	
	Economizador actual	Economizador proposto	Permutador de calor	Economizador proposto
Gás natural (€/ano)	154 568	149 581	28 518	4987
Energia primária (tep)	0,085	0,082	0,016	0,003
Emissões de GEE (kgCO₂e)	227,8	220,5	42,04	7,3
“Payback” simples (anos)	-	-	-	5,6

A nível da energia eléctrica, as propostas de melhoria são a nível da iluminação interior e exterior da fábrica.

- Iluminação interior da fábrica, substituição de quarenta e seis lâmpadas de vapor de mercúrio, de 400 W, por lâmpadas de iodetos metálicos, de 250 W. Esta melhoria traria uma poupança de 26,6 MWh/ano, 5,2 tep , 2,5 kgCO₂e e de 1777 €/ano. O investimento teria um “payback” simples de 3,4 anos.
- Iluminação exterior, colocação de um interruptor crepuscular. Com este equipamento a iluminação no exterior da fábrica é ligada e desligada de acordo com a incidência solar, evitando assim gastos desnecessários com a iluminação. Com este equipamento haveria uma poupança de 188 €/ano. O “payback” simples do investimento seria de 1,3 anos.

É de salientar a importância de se proceder a um estudo, pormenorizado, na instalação de ar comprimido. Embora, a energia eléctrica represente 29% dos gastos totais de energia, a central de ar comprimido é uma grande consumidora de energia eléctrica. Existem maneiras de gerir de forma equilibrada, quer a nível energético quer

a nível económico, uma central de ar comprimido. Uma melhoria de 10%, no consumo de energia eléctrica, pode significar uma poupança de 12 300 € anuais.

Na tabela 5.2 estão apresentadas as poupanças obtidas, com as alterações propostas para a iluminação.

Tabela 5.2- Poupanças obtidas com as propostas de melhoria a nível da iluminação.

Poupança	Iluminação interior	Iluminação exterior
Energia eléctrica (MWh/ano)	26,6	-
Energia eléctrica (€/ano)	1777	188
Energia primária (tep)	5,2	-
Emissões de GEE (kgCO₂e)	2,5	-
“Payback” simples (anos)	3,4	1,3

Sugestão de trabalho futuro:

- Análise e optimização da instalação de ar comprimido.

Referências bibliográficas

- [1] Petibol 2010, disponível no endereço - <http://www.petibol.pt/>, acedido no dia 20 de Abril de 2010.
- [2] Junta de freguesia de Leça do Balio, disponível no endereço - <http://www.jf-balio.pt/site/noticia.asp?id=4206>, acedido no dia 15 de Abril de 2010.
- [3] Google Maps, disponível no endereço - <http://maps.google.pt/>, acedido no dia 25 de Junho de 2010.
- [4] Emplac, Embalagens e Placas em EPS, disponível no endereço - <http://www.emplac.ind.br/tecnologia.htm>, acedido no dia 28 de Maio de 2010.
- [5] BASF, The Chemical Company, disponível no endereço - www.basf.com.br/PSMLoad.dll?id=5010&usage=501, acedido no dia 04 de Fevereiro de 2010.
- [6] Die Stizack- Manufaktur, disponível no endereço - http://www.sitzsack.de/sitzsack-fuellung/sitzsack-fuellung-styropor-flocken/cx3_135.html, acedido no dia 31 de Maio de 2010.
- [7] OLX, disponível no endereço - <http://tlalpan.olx.com.mx/venta-de-polipropileno-expandido-iiid-56244988>, acedido no dia 25 de Junho de 2010.
- [8] DGEG, Direcção Geral de Energia e Geologia, disponível no endereço - <http://www.dgge.pt/>, - acedido no dia 06 de Abril de 2010.
- [9] Eficiência Energética, disponível no endereço - http://www.eficiencia-energetica.com/html/ure/ure_servicos.htm, acedido no dia 29 de Abril de 2010.
- [10] BCSD Portugal, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, ISR, Dep. Electrotécnica e de Computadores Universidade Coimbra, “Manual de boas práticas de eficiência energética”
- [11] SGCIE, Sistemas de Gestão de Consumos Intensivos de Energia, disponível no endereço - <http://www.adene.pt/SGCIE/pages/default.aspx>, acedido no dia 07 de Abril de 2010.
- [12] Taplin, Harry, “Combustion Efficiency Tables” Libburn: The Fairmont Press, 1991.
- [13] Direcção Geral de Energia, “Manual Conservação de Energia, Lanifícios” Ministério da Indústria e Energia
- [14] Pilão, Rosa “Apontamentos da cadeira Fontes e Conversão de Energia”, Mestrado em Engenharia Química, ramo Optimização Energética na Indústria Química, ano lectivo 2008/2009.
- [15] Coulson, J. M. e Richardson, J.F, “Tecnologia Química”, Vol. 6, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- [16] Turner, Wayne C., “Energy Management Handbook” 2nd Ed. Libburn: The Fairmont Press, 1993.

- [17] Incropera, F.P., de Witt, D.P. "Fundamentos de transferência de calor e massa", Editora Guanabara Koogan S.a: Rio de Janeiro, 1992, 3ª Edição
- [18] Ozisik, M.N., "Transferência de Calor, um texto básico", Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 1990.
- [19] GEANKOPLIS, C.J. - "Transport Processes and Unit Operations", Prentice Hall Inc., 3 ed., 1993.
- [20] Spirax Sarco, disponível no endereço - <http://www.spiraxsarco.com/>, acedido no dia 29 de Abril de 2010.
- [21] EDP, Energia de Portugal, disponível no endereço - <http://www.edpsu.pt/pt/empresas/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx> , acedido no dia 04 de Março de 2010.
- [22] EDP, Energia de Portugal, disponível no endereço - <http://www.edpsu.pt/pt/empresas/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosMT.aspx> , acedido no dia 04 de Março de 2010.
- [23] TimeandDate, disponível no endereço - <http://www.timeanddate.com/worldclock/astronomy.html?n=320&month=3&year=2009&obj=sun&afl=-11&day=1> , acedido no dia 01 de Julho de 2010
- [24] Ciência Viva, disponível no endereço - http://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat_long/cap2.asp , acedido no dia 1 de Julho de 2010.
- [25] Pinho, C., "Combustão", Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, FEUP, 2008.
- [26] REN, Rede Energética Nacional, disponível no endereço - http://www.ren.pt/vPT/Gas/Armazenamento/adt/Pages/documentacao_tecnica.aspx, acedido no dia 30 de Abril de 2010.
- [27] Assis, Carlos, "Apontamentos da cadeira Utilidades na Indústria", Mestrado em Engenharia Química, ramo Optimização Energética na Indústria Química, ano lectivo 2008/2009.
- [28] GE, General Electrics, disponível no site no endereço - http://www.gewater.com/handbook/boiler_water_systems/Table13-2.jsp, acedido no dia 22 de Junho de 2010.
- [29] Teixeira, Francisco, Pereira, Isabel, Santos, Rosário, Beleza, Vitorino, "Tratamento de Água de Caldeiras" Publicações Politema, Colecção Cadernos Profissionais 7, 2001.
- [30] ADENE, Agência para a Energia, disponível no endereço - <http://www.adene.pt/> , acedido no dia 04 de Abril de 2010.

Anexos

A. Dados fornecidos pela empresa

Neste anexo, são apresentados os dados fornecidos pela empresa. Todos os dados são relativos ao ano de 2009, o ano de referência deste trabalho.

Tabela A.1- Registo mensal de energia eléctrica consumida, kWh.

	Sala caldeira (kWh)	Q.ST1 (kWh)	Q.ST2 (kWh)	Q.F1 (kWh)	Q.F2 (kWh)
Janeiro	5652	38089	36682	4658	3842
Fevereiro	5452	31786	39643	4722	3500
Março	5467	33480	42372	4636	3725
Abril	4643	31212	44398	4880	3763
Maio	5311	35716	53123	5838	4438
Junho	4790	32986	47004	4849	3868
Julho	6562	52576	46945	6133	3577
Agosto	3213	13869	30263	2900	1587
Setembro	6213	61247	32400	5961	3770
Outubro	5940	47910	43319	5840	3739
Novembro	5788	49047	42044	5610	3556
Dezembro	4114	28414	35940	3834	2542
Total	63145	456332	494133	59861	41907

Quadro da sala técnica nº 1: QST1

Quadro da sala técnica nº 2: QST2

Quadro da fábrica nº1: QF1

Quadro da fábrica nº2: QF2

Alguns equipamentos têm contadores de horas, tal como os três compressores, a caldeira e o pré-expansor 05. Na tabela A.2, são apresentados as horas de funcionamento, ao longo do ano de 2009 para esses equipamentos.

Tabela A.2- Registo mensal dos contadores de horas de funcionamento em 2009.

	Nirvana (h)	Ingersoll ML55 (h)	Atlas Copco GA 55 (h)	Caldeira (h)	EXP 05 (h)
Janeiro	323	228	193	370	138
Fevereiro	360	293	25	361	135
Março	371	350	31	371	146
Abril	396	358	2	392	150
Mai	473	416	2	466	216
Junho	414	377	3	399	164
Julho	544	260	197	537	186
Agosto	0	246	178	309	80
Setembro	494	89	379	467	175
Outubro	137	268	428	488	165
Novembro	14	190	431	462	175
Dezembro	329	267	14	326	100
Total	3855	3342	1883	4950	1829

EXP05 - Pré-expansor 05

Sabendo que a massa volúmica do gás natural é $0,8404 \text{ kg/m}^3\text{N}$, para as condições normais de pressão e temperatura (PTN), presente no Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de Abril (anexo L, figura L.1)

Tabela A.3- Dados de consumo com gás natural e energia eléctrica.

	Energia Eléctrica (kWh)	Gás Natural (m³)	Gás natural (ton)
Janeiro	90155	81238	68
Fevereiro	103743	72038	60
Março	103040	81072	68
Abril	113285	81119	68
Mai	114949	94689	80
Junho	116718	82032	69
Julho	136306	95116	80
Agosto	66682	41527	35
Setembro	132848	92270	78
Outubro	125670	95055	80
Novembro	136742	84219	71
Dezembro	115064	61086	51
Total	1355202	961461	808

Tabela A.4- Consumo de matéria-prima, retomas e produção no ano de 2009.

Consumo Matéria-Prima			
	Matéria-Prima (kg)	Retomas (kg)	Produção (kg)
Janeiro	90290	2972	93262
Fevereiro	75443	2427	77870
Março	95720	4854	100574
Abril	91926	4066	95992
Mai	99962	5029	104991
Junho	95047	2907	97954
Julho	113877	1280	115157
Agosto	53408	130	53538
Setembro	109930	200	110130
Outubro	103477	630	104107
Novembro	92118	560	92678
Dezembro	67818	992	68810
Total	1089016	26047	1115063

O tarifário de electricidade adoptada pela empresa é:

Tabela A.5- Tipo de tarifário em uso pela empresa.

Tarifa do contrato	MTB-Longas UT, Tetra-Horária
Ciclo Horário	Diário

Como é tipo de tarifa é tetra-horária, então, o dia vai dividir-se em quatro horários.

Tabela A.6- Ciclo horário, no tipo de tarifa tetra-horária. [21]

	Horário de Inverno	Horário de Verão
Horas de ponta	09h30m às 11h30m	10h30m às 12h30m
	19h00m às 21h00m	20h00m às 22h00m
Horas de cheias	08h00m às 09h30m	09h00 às 10h30m
	11h30m às 19h00m	12h30m às 20h00m
	21h00m às 22h00	22h00m às 23h00
Horas de vazio normal	22h00m às 02h00	23h00 às 02h00m
	06h00m às 08h00m	06h00m às 09h00m
Horas de super vazio	02h00m às 06h00m	02h00m às 06h00m

Tabela A.7- Custo horário de energia eléctrica. [22]

Período trimestral	Horas de ponta (€/kWh)	Horas de Cheias (€/kWh)	Horas de vazio normal (€/kWh)	Horas super vazio (€/kWh)
I	0,1058	0,081	0,0514	0,0481
II	0,1092	0,0833	0,0535	0,0497
III	0,1092	0,0833	0,0535	0,0497
IV	0,1058	0,081	0,0514	0,0481

Nota: Período I e IV refere-se ao Período de Inverno

Período II e III refere-se ao Período de Verão.

Tabela A.8- Número de horas existentes, no Inverno e Verão. [22]

Num dia:	Inverno (h)	Verão (h)
Horas de ponta	4	4
Horas de cheias	10	10
Horas de vazio normal	6	6
Horas de super vazio	4	4

Tabela A.9- Custos com gás natural e energia eléctrica, no ano de 2009.

	Energia eléctrica (€)	Gás natural (€)	Total (€)
Janeiro	8138	28217	36355
Fevereiro	10257	25044	35301
Março	10338	28159	38497
Abril	11001	27770	38771
Mai	10479	30814	41293
Junho	10562	27226	37788
Julho	12022	26737	38759
Agosto	6090	11965	18055
Setembro	11555	25642	37197
Outubro	10754	26655	37409
Novembro	11833	23793	35626
Dezembro	9884	17894	27778
Total	122913	299916	422829

Os dados da tabela A.9 foram utilizados para calcular as percentagens de custos, de cada fonte de energia (figura 3.4).

B. Resultados calculados

Neste anexo, são apresentados os dados e exemplos de cálculos referentes ao capítulo 3, do relatório.

B.1 Cálculos de energia final, energia primária e emissão de GEE.

Na tabela B.1, estão representados os dados usados para a figura 3.1 e 3.2.

Tabela B.1 - Energia final consumida, no ano de 2009.

	Energia eléctrica (GJ)	Gás natural (kWh)	Gás natural (GJ)
Janeiro	325	962670	3067
Fevereiro	373	853650	2706
Março	371	960703	3067
Abril	408	961260	3067
Mai	414	1122065	3608
Junho	420	972079	3112
Julho	491	1127125	3608
Agosto	240	492095	1579
Setembro	478	1093400	3518
Outubro	452	1126402	3608
Novembro	492	997995	3202
Dezembro	414	723869	2300
Total	4878	11393313	36442

- Exemplo de Cálculo:

Para calcular a energia final referente ao gás natural, foi necessário converter o volume para massa, (ton) e converteu-se também para energia.

Para o mês de Janeiro:

Sabendo que a massa volúmica do gás natural é 0,8404 kg/m³N, para as condições normais de pressão e temperatura (PTN), presente no Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de Abril (figura L.1, anexo L).

Usando os valores de volume de gás natural consumido, no anexo A, tabela A.3, calculou-se a massa e energia referente a esse volume.

$$m_{Gás\ natural} = 81238 \times 0,8404 = \frac{68272}{1000} = 68\ ton$$

$$Energia_{Gás\ natural} = 81238 \times 11,85 = 962670\ kWh$$

O factor de conversão é calculado através da média dos valores de PCS, do mês de Dezembro de 2009 (tabela L.3, anexo L), e para efeito de cálculos considerou-se que este manteve-se constante durante todo o ano. O valor médio foi de 11,85 kWh/m³.

No mês de Janeiro consumiu-se 90155 kWh de energia eléctrica como o apresentado na tabela A.3

Usando o factor de conversão de gás natural e energia eléctrica para energia final na tabela 3.1, obtém-se:

$$Energia\ final_{Energia\ eléctrica} = 90155\ kWh \times 0,0036\ GJ/kWh = 325\ GJ$$

$$Energia\ final_{Gás\ natural} = 68\ ton \times 45,1\ \frac{GJ}{ton} = 3067\ GJ$$

$$Energia\ final_{Total} = 325 + 3067 = 3392\ GJ$$

$$Porcentagem\ Energia\ final_{Energia\ eléctrica} = \frac{4878}{4878 + 36442} \times 100 = 12\%$$

$$Porcentagem\ Energia\ final_{Gás\ natural} = \frac{36442}{4878 + 36442} \times 100 = 88\%$$

Os dados da tabela B.1, foram usados nas figuras 3.1 e 3.2.

Tabela B.2- Produção e energia final, no ano de 2009.

	Produção (kg)	Energia final total (GJ)
Janeiro	93262	3392
Fevereiro	77870	3079
Março	100574	3438
Abril	95992	3475
Mai	104991	4022
Junho	97954	3532
Julho	115157	4099
Agosto	53538	1819
Setembro	110130	3996
Outubro	104107	4060
Novembro	92678	3694
Dezembro	68810	2714

Na tabela B.2, estão representados os dados usados na figura 3.3.

Tabela B.3- Consumos de energia eléctrica e gás natural, no ano de 2009.

	Energia eléctrica		Gás natural	
	tep	kgCO₂e	tep	kgCO₂e
Janeiro	19	9	74	198594
Fevereiro	22	10	66	177124
Março	22	10	73	195910
Abril	24	11	73	195910
Mai	25	12	86	230798
Junho	25	12	74	198594
Julho	29	14	86	230798

Tabela B.3- Consumos de energia eléctrica e gás natural, no ano de 2009.
(Continuação)

Agosto	14	7	38	101981
Setembro	29	14	84	225431
Outubro	27	13	86	230798
Novembro	29	14	76	203961
Dezembro	25	12	55	147604
Total	290	138	871	2337503

- **Exemplo de Cálculo**

Usando o factor de conversão da tabela 3.1, obtém-se:

No total no ano de 2009, consumiu-se de energia primária:

$$Energia\ primária_{Energia\ eléctrica} = 1355202\ kWh \times 0,000215\ tep/kWh = 290\ tep$$

$$Energia\ primária_{Gás\ natural} = 808\ ton \times 1,077\ tep/ton = 871\ tep$$

$$Porcentagem\ de\ energia\ primária_{Energia\ eléctrica} = \frac{290}{290 + 871} = 25\%$$

$$Porcentagem\ de\ energia\ primária_{Gás\ natural} = \frac{871}{290 + 871} = 75\%$$

No ano de 2009, as emissões de gases de efeito de estufa foram de:

$$Emissões\ Gases\ de\ efeito\ de\ estufa_{Energia\ eléctrica} = 290\ tep \times 0,47\ tep/kgCO_2e = 138\ kgCO_2e$$

$$Emissões\ Gases\ de\ efeito\ de\ estufa_{Gás\ natural} = 871\ tep \times \frac{2683,7\ tep}{kgCO_2e} = 2337503\ kgCO_2e$$

$$\text{Percentagem de emissão de GEE}_{\text{Energia eléctrica}} = \frac{138}{138 + 2337503} = 0\%$$

$$\text{Percentagem de emissão de GEE}_{\text{Gás natural}} = \frac{2337503}{138 + 2337503} = 100\%$$

B.2 Cálculo dos indicadores de eficiência energética

Na tabela B.4, estão representados as toneladas de CO₂ totais, a energia primária total consumida, gás natural e energia eléctrica, no ano de 2009. Dados necessários para calcular a intensidade carbónica.

Tabela B.4- Valores de intensidade carbónica, no ano de 2009.

	Emissão de GEE (tonCO ₂ e)	Energia primária (tep)	Intensidade carbónica (tonCO ₂ e/tep)
Janeiro	199	93	2,14
Fevereiro	177	88	2,01
Março	196	95	2,06
Abril	196	97	2,02
Maio	231	111	2,08
Junho	199	99	2,01
Julho	231	115	2,00
Agosto	102	52	1,96
Setembro	225	113	1,99
Outubro	231	113	2,04
Novembro	204	105	1,94
Dezembro	148	80	1,85

- **Exemplo de cálculo:**

No mês de Janeiro, a intensidade carbónica foi de:

$$\text{Intensidade Carbónica} = \frac{199}{93} = 2,14 \text{ tonCO}_2\text{e/tep}$$

Intensidade carbónica, no ano de 2009, foi a média das intensidades carbónicas nos vários meses desse ano.

$$\begin{aligned} & \text{Intensidade carbónica} \\ &= \frac{2,14 + 2,01 + 2,06 + 2,02 + 2,08 + 2,01 + 2,00 + 1,96 + 1,99 + 2,04 + 1,94 + 1,85}{12} \\ &= 2,01 \text{ tonCO}_2\text{e/tep} \end{aligned}$$

Na tabela B.4, estão apresentados os dados, relativos aos consumos de energia primária total, gás natural e energia eléctrica, e a produção no ano de 2009, dados necessários para o cálculo do consumo específico.

Tabela B.5- Relação entre produção e o consumo específico obtidos em 2009.

	Energia primária (tep)	Produção (ton)	Consumo específico (tep/ton)
Janeiro	93	93	1,00
Fevereiro	88	78	1,13
Março	95	101	0,94
Abril	97	96	1,01
Maió	111	105	1,06
Junho	99	98	1,01
Julho	115	115	1,00
Agosto	52	54	0,96
Setembro	113	110	1,03
Outubro	113	104	1,09
Novembro	105	93	1,13
Dezembro	80	69	1,16

- **Exemplo de cálculo:**

Para o mês de Janeiro, o consumo específico foi de:

$$\text{Consumo Específico} = \frac{\text{Energia primária}_{\text{Energia eléctrica}} + \text{Energia primária}_{\text{Gás natural}}}{\text{Produção}}$$

$$\text{Consumo Específico} = \frac{93}{93} = 1,00 \text{ tep/ton}$$

Consumo específico, no ano de 2009, foi a média dos consumos específicos nos vários meses desse ano.

$$\begin{aligned} & \text{Consumo Específico} \\ &= \frac{1,00 + 1,13 + 0,94 + 1,01 + 1,06 + 1,01 + 1,00 + 0,96 + 1,03 + 1,09 + 1,13 + 1,16}{12} \\ &= 1,04 \text{ tep/ton} \end{aligned}$$

B.3 Cálculo do custo horário de energia eléctrica

Aqui é calculado, com base nas tabelas A.6, A.7 e A.8 do anexo A, o custo horário da energia eléctrica, no período de Inverno e de Verão.

Tabela B.6- Custo horário de Verão e Inverno

Custo horário energia eléctrica. Inverno €/kWh	Custo horário energia eléctrica Verão €/kWh
0,07225	0,07457

- **Exemplo de cálculo:**

De acordo com a tabela A.6, A.7 e A.8 obteve-se:

Custo horário de energia eléctrica no Inverno:

$$\begin{aligned} \text{Custo}_{\text{Inverno}} &= \frac{(0,1058 \times 4) + (0,081 \times 10) + (0,0514 \times 6) + (0,0481 \times 4)}{24} \\ &= 0,07225\text{€/kWh} \end{aligned}$$

Custo horário de energia eléctrica no Verão:

$$\begin{aligned} \text{Custo}_{\text{Verão}} &= \frac{(0,1092 \times 4) + (0,0833 \times 10) + (0,0535 \times 6) + (0,0497 \times 4)}{24} \\ &= 0,07457\text{€/kWh} \end{aligned}$$

B.4 Exemplo de cálculo da energia e custo de cada equipamento

Aqui é apresentado o cálculo da energia e do custo de cada equipamento no ano de referência (2009). Para efeitos de cálculo, entendeu-se que os equipamentos trabalharam igual tempo, em período de Inverno e Verão. O custo horário da energia eléctrica nos períodos de Inverno e de Verão estão calculados no anexo B.3.

É de salientar que, foram realizadas medições, às dezassete máquinas de injeção, aos três compressores e ao pré-expansor 05, com o objectivo de medir a potência média consumida, por esses equipamentos durante uma semana. A potência média obtida, durante essa semana, considerou-se ser igual para todo o ano de 2009.

A máquina de injeção número 1, em que a potência consumida é de 0,5 kW (tabela 3.5), trabalha durante vinte e quatro horas, duzentos e vinte dias por ano, como o tempo médio de ocupação das máquinas é de 77% (dado fornecido pela empresa), então:

$$\text{Energia}_{\text{cons.}} = \text{Potência} \times 24 \text{ horas} \times 220 \text{ dias}$$

$$\text{Energia}_{\text{cons.}} = 0,5 \times 24 \times 220 \times 0,77 = 2033 \text{ kWh/ano}$$

O custo num ano é de:

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= ((0,5 \times 0,77 \times 24) \times 110 \text{ dias} \times 0,07225) + ((0,5 \times 0,77 \times 24) \times 110 \text{ dias} \\ &\quad \times 0,07457) \end{aligned}$$

$$Custo = 149\text{€}$$

O compressor Ingersoll ML55, tem contador de horas, sendo a potência consumida de 63,9 kW (tabela 3.11), então:

$$Energia_{cons.} = 63,9 \times 3342 = 213554 \text{ kWh/ano}$$

O custo num ano é de:

$$Custo = \left(63,9 \times \frac{3342}{2} \times 0,07225\right) + \left(63,9 \times \frac{3342}{2} \times 0,07457\right)$$

$$Custo = 15677 \text{ €}$$

B.5 Exemplo de cálculo das percentagens de consumos dos quadros da fábrica

O quadro da sala da caldeira é dividido em sala da caldeira e sala de bombagem. A caldeira tem um aparelho que conta às horas de funcionamento da caldeira. Em 2009 trabalhou 4950 horas.

Neste caso, a potência dos equipamentos da sala da caldeira foi multiplicada por um factor de 0,4, uma vez que sendo a produção máxima da caldeira de 5 ton/h, em 2009 produziu em média 2 ton/h. Dado que os equipamentos que consomem energia eléctrica são modulantes, isto é, não consomem sempre a mesma potência, considerou-se que consumiram energia eléctrica no mesmo factor que a caldeira produziu vapor.

De acordo com os valores da potência instalada na sala da caldeira (ver tabela 3.5).

$$Consumo \text{ sala da caldeira}_{anual} = (13,5 \times 4950) \times \frac{2}{5} = 26730 \text{ kWh}$$

Na sala de bombagem encontram-se duas bombas de água, que trabalham vinte e quatro horas por dia, e duas bombas do furo, que trabalham mediante o nível de água no tanque de bombagem. De acordo com a informação da empresa, considerou-se que em média, essas bombas do furo trabalham doze horas por dia.

$$\begin{aligned} \text{Consumo sala de bombagem}_{\text{anual}} &= ((2 \times 3) \times 24 \times 220) + ((2 \times 4) \times 12 \times 220) \\ &= 52800 \text{ kWh} \end{aligned}$$

De seguida, foram calculadas as percentagens de cada uma das salas relativamente ao consumo total estimado. Isto porque o consumo estimado apresenta um valor superior ao consumo real anual, como se pode ver por exemplo nas tabelas 3.7 e 3.8. Isto deve-se ao facto da empresa nem sempre trabalhar nas mesmas condições, isto é, as necessidades em utilidades não são constantes. Nem sempre trabalham igual número de máquinas e a sua laboração depende do tipo de matéria-prima que está a ser utilizada.

Por isso, depois de calculadas as percentagens relativas ao consumo estimado essas são multiplicadas pelo consumo anual real, que é apresentada na tabela A.1.

De acordo com os dados da tabela 3.7 obtém-se:

$$\text{Percentagem}_{\text{sala da caldeira}} = \left(\frac{26730}{(26730 + 52800)} \right) \times 100 = 33,5\%$$

$$\text{Percentagem}_{\text{sala de bombagem}} = \left(\frac{52800}{(26730 + 52800)} \right) \times 100 = 66,5\%$$

$$\text{Consumo}_{\text{sala da caldeira}} = 0,335 \times 63145 = 21154 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{sala de bombagem}} = 0,665 \times 63145 = 41991 \text{ kWh}$$

B.6 Exemplo de cálculo da iluminação

Situação actual:

De acordo com o site da DGE, a potência das lâmpadas fluorescentes varia entre 15 a 58 W. Considerou-se que as lâmpadas existentes na Petibol têm potência de 37 W. [8]

- Fábrica

Sabendo que a fábrica tem quarenta seis lâmpadas de vapor de mercúrio, de 400 W, dezasseis lâmpadas de iodetos metálicos, de 250 W e onze lâmpadas fluorescentes, e que a iluminação nesse sector está ligada dezasseis horas por dia então:

$$Energia_{Fábrica} = \frac{N^{\circ} \text{ de lâmpadas} \times Potência \times N^{\circ} \text{ de horas de trabalho}}{1000}$$

$$Energia_{Fábrica} = \frac{(46 \times 400 \times 16) + (16 \times 250 \times 16) + (11 \times 37 \times 16)}{1000} = 365 \text{ kWh}$$

$$Energia_{Fábrica} = \frac{365}{1000} \times 220 \text{ dias} = 80,3 \text{ MWh/ano}$$

Com o custo horário de energia eléctrica, de Verão e Inverno, calcula-se o custo da iluminação, considerando que esta está ligada igual número de dias, em horário de Inverno e Verão.

Como a fábrica funciona durante duzentos e vinte dias por ano

$$Custo = (110 \times Energia_{Fábrica} \times 0,07225) + (110 \times Energia_{Fábrica} \times 0,07457)$$

$$Custo = (110 \times 365 \times 0,07225) + (110 \times 365 \times 0,07457) = 5895 \text{ €/ano}$$

- Sala silos

A iluminação da sala dos silos está ligada dezasseis horas por dia. Existem doze lâmpadas fluorescentes.

$$Energia_{Sala \text{ silos}} = \frac{12 \times 37 \times 16}{1000} = 7,1 \text{ kWh}$$

$$Energia_{Sala \text{ silos}} = \frac{7,1}{1000} \times 220 = 1,56 \text{ MWh/ano}$$

$$Custo = (110 \times 7,1 \times 0,07225) + (110 \times 7,1 \times 0,07457) = 114 \text{ €/ano}$$

- Oficina

A iluminação da oficina é feita através de doze lâmpadas fluorescentes e está ligada oito horas por dia.

$$Energia_{oficina} = \frac{12 \times 37 \times 8}{1000} = 3,5 \text{ kWh}$$

$$Energia_{oficina} = \frac{3,5}{1000} \times 220 = 0,78 \text{ MWh/ano}$$

$$Custo = (110 \times 3,5 \times 0,07225) + (110 \times 3,5 \times 0,07457) = 57 \text{ €/ano}$$

Então, os gastos e custos totais, em 2009, foram de:

$$Energia_{Total} = Energia_{Fábrica} + Energia_{Sala\ silos} + Energia_{Oficina}$$

$$Energia_{Total} = 80,3 + 1,56 + 0,78 = 82,6 \text{ MWh/ano}$$

$$Custo_{Total} = Custo_{Fábrica} + Custo_{Sala\ silos} + Custo_{Oficina}$$

$$Custo_{Total} = 5895 + 114 + 57 = 6066 \text{ €/ano}$$

A iluminação interior gasta cerca de 82,6 MWh/ano e tem um custo inerente de 6066 € (valores apresentados na tabela 3.17).

- Iluminação exterior

Sabendo que está ligada durante dezasseis horas por dia, então:

$$Energia_{iluminação\ exterior} = \frac{24 \times 150 \times 16}{1000} = 57,6 \text{ kWh}$$

$$Energia_{iluminação\ exterior} = \frac{57,6}{1000} \times 365 \text{ dias} = 21,0 \text{ MWh/ano}$$

$$Custo = (182,5 \times Potência_{iluminação\ exterior} \times 0,07225) \\ + (182,5 \times Potência_{iluminação\ exterior} \times 0,07457)$$

$$Custo = (182,5 \times 57,6 \times 0,07225) + (182,5 \times 57,6 \times 0,07457) = 1543 \text{ €/ano}$$

Num ano, a Petibol, tem gastos com a iluminação de:

$$Custo_{Total} = 6066 + 1543 = 7609 \text{ €/ano}$$

Sabendo o total de energia eléctrica consumida pela iluminação, converteu-se esse valor em energia primária e emissões de GEE. Os resultados obtidos foram:

$$Energia \text{ primária (tep) } = ((82,6 + 21,0) \times 1000) \times 0,000215 = 22,3 \text{ tep}$$

$$Emissões \text{ de GEE } = 22,3 \times 0,47 = 10,5 \text{ kgCO}_2$$

B.7 Melhoria sugerida na iluminação

Iluminação interior:

Substituição das quarenta e seis lâmpadas de vapor de mercúrio, de 400 W, por lâmpadas de iodetos metálicos, de 250 W.

$$Energia_{Iluminação \text{ interior}} = \frac{(62 \times 250 \times 16) + (11 \times 37 \times 16)}{1000} = 255 \text{ kWh}$$

$$Energia_{Iluminação \text{ interior}} = \frac{255}{1000} \times 220 \text{ dias} = 56 \text{ MWh/ano}$$

Então, poupar-se-ia em energia eléctrica:

$$Poupança = 82,6 - 56 = 26,6 \text{ MWh/ano}$$

Assim,

$$Energia_{Total} = Energia_{Oficina} + Energia_{Fábrica} + Energia_{Sala \text{ silos}} \\ + Energia_{Iluminação \text{ Exterior}}$$

$$Energia_{Total} = 0,78 + 56 + 1,56 + 21,0 = 79,3 \text{ MWh/ano}$$

Diminuirá, também, a quantidade de energia primária e emissões de GEE,

$$Energia \text{ Primária} = (79,3 \times 1000) \times 0,000215 = 17,1 \text{ tep}$$

$$Emissões \text{ de GEE} = 17,1 \times 0,47 = 8,0 \text{ kgCO}_2e$$

$$Poupança = 22,3 - 17,1 = 5,2 \text{ tep}$$

$$Poupança = 10,5 - 8,0 = 2,5 \text{ kgCO}_2e$$

Para essa substituição de lâmpadas será necessário um investimento (como se pode observar na proposta da Maiamorim, no anexo K) de:

$$Investimento = 6030€$$

Com essa substituição, o custo com a energia eléctrica no sector da fábrica será de:

$$Custo = (110 \times 255 \times 0,07225) + (110 \times 255 \times 0,07457) = 4118 \text{ €/ano}$$

*Custo total*_{Iluminação}

$$= \text{Custo}_{Fábrica} + \text{Custo}_{Oficina} + \text{Custo}_{Sala Silos} + \text{Custo}_{Iluminação Exterior}$$

$$\text{Custo total}_{Iluminação} = 4118 + 57 + 114 + 1543 = 5832 \text{ €/ano}$$

Como o gasto com energia eléctrica, sem a substituição das lâmpadas, é de 7609 €/ano (como se verifica na tabela 3.17), existe uma poupança de:

$$Poupança = 7609 - 5832 = 1777 \text{ €/ano}$$

$$\text{"Payback" simples} = \frac{6030}{1777} = 3,4 \text{ anos}$$

Iluminação exterior da fábrica

Colocação de um interruptor crepuscular, com este equipamento a iluminação no exterior da fábrica é ligada e desligada de acordo com a incidência de luz solar, evitando assim gastos desnecessários com a iluminação.

Considerando que os funcionários da empresa ligam a iluminação exterior no final do dia, logo que haja necessidade, mas que, por esquecimento, desligam, em média, duas horas depois de já haver iluminação natural suficiente.

O ano é dividido em duas partes:

- Verão e Primavera
- Outono e Inverno

Em média, o Sol levanta-se e põe-se no Verão e Primavera, às 06h e 20h, respectivamente.

Em média, o Sol levanta-se e põe-se no Outono e Inverno, às 08h e 18h30m, respectivamente. [23]

As horas foram vistas na cidade do Porto no primeiro dia de cada estação: 21 de Junho, 21 de Março, 22 de Setembro e 21 de Dezembro. [24]

No período de Verão a iluminação estaria ligada desde às 20h da noite até às 08h da manhã, então o custo é:

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= (2 \times 0,1092) + (1 \times 0,0833) + (3 \times 0,0535) + (4 \times 0,0497) + (2 \times 0,0535) \\ &= 0,77 \text{ €/kWh} \end{aligned}$$

Como são vinte e quatro lâmpadas de vapor de sódio, de 150 W, o período de Verão é de seis meses, ou seja, 180 dias,

$$\text{Custo} = 0,77 \times \left(\frac{24 \times 150}{1000} \right) \times 180 = 499 \text{ €/ano}$$

Com o interruptor crepuscular, a iluminação desligaria às 06h:

$$\text{Custo} = (2 \times 0,1092) + (1 \times 0,0833) + (3 \times 0,0535) + (4 \times 0,0497) = 0,66 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Custo} = 0,66 \times \left(\frac{24 \times 150}{1000} \right) \times 180 = 428 \text{ €/ano}$$

No período de Inverno a iluminação estaria ligada desde as 18h30m até às 08h. Então o custo seria:

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= (0,5 \times 0,081) + (2 \times 0,1058) + (1 \times 0,081) + (4 \times 0,0514) + (4 \times 0,0481) \\ &\quad + (2 \times 0,0514) + (1,5 \times 0,081) + (0,5 \times 0,1058) \\ &= 1,01 \text{ €/kWh} \end{aligned}$$

Como são vinte e quatro lâmpadas de vapor de sódio, de 150 W, o período de Inverno é de seis meses, ou seja, 180 dias,

$$\text{Custo} = 1,01 \times \left(\frac{24 \times 150}{1000} \right) \times 180 = 655 \text{ €/ano}$$

Com o interruptor crepuscular, a iluminação desligaria às 08h:

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= (0,5 \times 0,081) + (2 \times 0,1058) + (1 \times 0,081) + (4 \times 0,0514) + (4 \times 0,0481) \\ &+ (2 \times 0,0514) = 0,83 \text{ €/kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Custo} = 0,83 \times \left(\frac{24 \times 150}{1000} \right) \times 180 = 538 \text{ €/ano}$$

Então, a poupança anual seria de:

$$\text{Poupança anual} = (499 + 655) - (428 + 538) = 188 \text{ €/ano}$$

A empresa Maiamorim forneceu o preço do material necessário e a mão-de-obra:

Célula: 59,05 €

Contacto modular CT de 63 A 4MA: 127€

Quatro horas de mão-de-obra: 60€

$$\text{"Payback" simples} = \frac{(59,05 + 127 + 60)}{188} = 1,3 \text{ anos}$$

B.8 Cálculo do consumo horário água de “make-up” ou compensação.

Segundo dados da Petibol, entre 5 de Janeiro de 2009 e 5 de Janeiro de 2010, consumiu-se 9822 m³/ano de água na caldeira. Então caudal horário,

$$\dot{v}_{\text{água}} = \frac{9822}{4950} = 1,98 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como a empresa não sabe a quantidade de condensado que é recuperado e alimentado ao desgaseificador, considerou-se que o caudal de água de alimentação à caldeira foi de 2 m³/h, e não de 1,98 m³/h.

Sabendo que ρ da água é de 1000 kg/m³,

$$\dot{m}_{\text{água de reposição}} = 2 \times 1000 = 2000 \text{ kg/h}$$

B.9 Cálculo do consumo horário de gás natural

Como se pode observar pela tabela A.3, consumiu-se no ano de 2009, 961461 m³ de gás natural, então:

$$\dot{v}_{G.N.} = \frac{961461}{4950} = 194,24 \text{ m}^3/h$$

$$\dot{m}_{G.N.} = 182,09 \times 0,8404 = 163,24 \text{ kg/h}$$

B.10 Cálculo do custo médio do gás natural

O custo médio do gás natural não é constante ao longo do ano, varia consoante o caudal de gás que a caldeira necessita. Por isso fez-se uma média do preço do gás natural de todos os meses de 2009.

Sabendo que a Petibol consumiu 962670 kWh no mês de Janeiro (tabela B.1), e que pagou no mesmo mês 28217 € (tabela A.9), então:

O custo de gás natural no mês de Janeiro foi de:

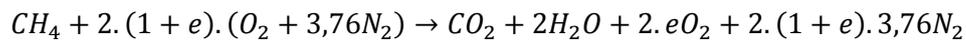
$$Custo_{Gás\ natural} = \frac{28217}{962670} = 0,0293 \text{ €/kWh}$$

O custo anual do gás natural, em 2009, foi de 0,02634 €/kWh, resultante da média dos custos mensais.

C. Propriedades dos gases de combustão

Como se pode observar pela composição do gás natural existente na REN (anexo J, tabela J.1), o gás natural é composto, na sua maioria, por metano. Por isso, a reacção de combustão é apenas referida ao metano.

A reacção de combustão, que se processa na caldeira, corresponde à queima do metano com excesso de ar. A reacção química é a seguinte:



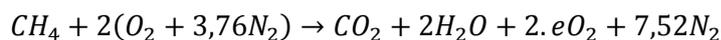
Sabendo a percentagem de CO_2 e O_2 , presente na análise dos gases de combustão (tabela L.2, anexo L), retira-se na tabela L.1 do anexo L. A percentagem de excesso de ar relativo a essas percentagens.

Percentagem de O_2 : 2,8%

Percentagem CO_2 : 10,3%

Excesso: 12%

Então, a reacção do metano com excesso de ar é:



Neste capítulo, são calculadas as propriedades físicas dos gases de combustão.

As propriedades dos componentes puros (oxigénio, dióxido de carbono, vapor de água, e azoto) foram retiradas na referência [19] da bibliografia. Com a temperatura média do economizador e do permutador de calor, fez-se uma interpolação linear e determinaram-se às propriedades dos componentes puros, à temperatura pretendida.

- Cálculo da composição dos gases de combustão:

Base de cálculo: 1 mol de CH₄

	Número de mol	Percentagem molar (%)	Massa molecular (g/mol)
CO ₂	0,086	8,6	44
H ₂ O	0,172	17,2	18
O ₂	0,021	2,1	32
N ₂	0,722	72,2	28

$$\text{Percentagem}_{CO_2} = \frac{1}{(1 + 2 + 0,24 + 8,42)} \times 100 = 8,6 \%$$

Sabendo que a temperatura média do economizador é:

$$\text{Temperatura}_{m\acute{e}dia} = \frac{(205 + 160)}{2} = 182,5^{\circ}C$$

A temperatura média do permutador de calor é de, como se pode ver no anexo E, é de:

$$\text{Temperatura}_{m\acute{e}dia} = \frac{(160 + 130)}{2} = 145^{\circ}C$$

Muitas das vezes lida-se com misturas de gases perfeitos, cujas propriedades físicas não são conhecidas com rigor, como é o caso. É, no entanto, possível recorrer-se às propriedades dos gases puros e obter-se as propriedades da mistura.

- **Exemplo de cálculo para o Cp da mistura gasosa:**

Para o cálculo da capacidade calorífica da mistura é apenas necessário saber a fracção de cada componente e respectivas capacidades caloríficas, à temperatura pretendida. De acordo com a referência bibliográfica [19], obteve-se os valores apresentados na tabela C.1.

Tabela C.1- Capacidade calorífica dos constituintes puros dos gases de combustão, à temperatura média do economizador, 182,5°C. [19]

	Cp (kJ/kg°C)
Dióxido de carbono	0,971
Vapor de água	1,936
Oxigénio	0,967
Azoto	1,049

$$Cp_{G.C.} = (0,971 \times 0,086) + (1,936 \times 0,172) + (0,967 \times 0,021) + (1,049 \times 0,722)$$

$$= 1,19 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

- **Cálculo do μ :**

Através da referência [25] da bibliografia, obtém-se as seguintes fórmulas, para o cálculo da viscosidade dinâmica.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \times \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_i \times \Phi_{ij}} \quad [25]$$

$$\Phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \times \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-1/2} \times \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{1/2} \times \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{1/4}\right]^2 \quad [25]$$

Tabela C.2- Viscosidade dinâmica dos constituintes puros dos gases de combustão, à temperatura média do economizador, 182,5°C. [19]

	μ (Pa.s)
Dióxido de carbono	2,73E-5
Vapor de água	1,63E-5
Oxigénio	2,91E-5
Azoto	2,73E-5

$$X_i \times \Phi_{ij} = (0,086 \times 1) + (0,086 \times 0,79) + (0,086 \times 0,60) + (0,086 \times 0,79) = 0,27$$

$$\mu_{CO_2} = \frac{0,086 \times 2,73E^{-5}}{0,27} = 8,7E^{-6} Pa.s$$

Tabela C.3- Parâmetros intermédios para o cálculo da viscosidade dinâmica dos gases de combustão, à temperatura média do economizador.

	$\frac{X_i \times \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_i \times \Phi_{ij}}$
CO₂	8,7E-6
O₂	7,0E-6
H₂O	4,0E-6
N₂	6,3E-6

$$\mu_{G.C.} = \mu_{CO_2} + \mu_{O_2} + \mu_{H_2O} + \mu_{N_2}$$

$$\mu_{G.C.} = 8,7E^{-5} + 7,0E^{-5} + 4,0E^{-6} + 6,3E^{-5}$$

$$\mu_{G.C.} = 2,6E^{-5} Pa.s$$

Cálculo do k:

Através da mesma referência que a viscosidade dinâmica, [25] da bibliografia, obtém-se as seguintes fórmulas, para o cálculo da viscosidade dinâmica.

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \times K_{ti}}{\sum_{j=1}^n X_i \times \Phi_{ij}} \quad [25]$$

$$\Phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \times \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-1/2} \times \left[1 + \left(\frac{K_{ti}}{K_{tj}}\right)^{1/2} \times \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{1/4}\right]^2 \quad [25]$$

Tabela C.4- Condutividade térmica dos constituintes puros dos gases de combustão, à temperatura média do economizador, 182,5°C. [19]

	k (W/m.°C)
Dióxido de carbono	0,0172
Vapor de água	0,0321
Oxigénio	0,0379
Azoto	0,0369

$$X_i \times \Phi_{ij} = (0,086 \times 1) + (0,086 \times 0,48) + (0,086 \times 0,60) + (0,086 \times 0,57) = 0,23$$

$$k_{CO_2} = \frac{0,086 \times 0,017}{0,13} = 0,0064 \text{ Pa.s}$$

Tabela C.5- Parâmetros intermédios para o cálculo da condutividade térmica dos gases de combustão, à temperatura média do economizador, 182,5°C.

	$\frac{X_i \times \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_i \times \Phi_{ij}}$
CO₂	6,4E-3
O₂	1,1E-2
H₂O	5,8E-3
N₂	7,6E-3

$$k_{G.C.} = k_{CO_2} + k_{O_2} + k_{H_2O} + k_{N_2}$$

$$k_{G.C.} = 6,4E^{-3} + 1,1E^{-2} + 5,8E^{-3} + 7,6E^{-3}$$

$$k_{G.C.} = 0,031 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Cálculo do Pr:

$$Pr = \frac{Cp \times \mu}{k}$$

$$Pr_{G.C.} = \frac{(1,19 \times 1000) \times 2,6E^{-5}}{0,031} = 1,0$$

Tabela C.6- Propriedades físicas dos gases de combustão, à temperatura média de 182,5°C no economizador.

Cp	1,19 kJ/kg°C
μ	2,6E-5 Pa.s
k	0,031 W/m.°C
Pr	1,0

Para os cálculos do permutador de calor, foi necessário calcular as propriedades dos gases de combustão à temperatura média do permutador. Essas propriedades encontram-se na tabela C.7.

Tabela C.7- Propriedades físicas dos gases de combustão, à temperatura média de 145°C no permutador de calor.

Cp	1,18 kJ/kg°C
μ	2,4E-5 Pa.s
k	0,026 W/m.°C
Pr	1,09

D. Cálculo da eficiência da caldeira

Sendo a pressão de operação da caldeira entre 6,5 barg e os 7,2 barg, para efeito de cálculo, considerou-se que a pressão de funcionamento é de 6,8 barg.

No início de cada mês, leram-se as temperaturas dos gases de combustão à entrada e saída do economizador. Essas leituras eram feitas através de termómetros localizados à saída da caldeira e à saída do economizador. As temperaturas médias dos gases de combustão à entrada e saída do economizador foram de 205°C e 160°C, respectivamente, como se pode observar na tabela 4.4. Apesar de os cálculos se basearem em dados do ano de 2009, foram utilizadas temperaturas do ano de 2010, mas como de 2009 para 2010 a central de vapor não sofreu qualquer alteração estrutural, ou seja, não foi retirado ou colocado qualquer tipo de equipamento, considerou-se, para efeito de cálculo, que as condições de funcionamento se mantiveram iguais.

Como já foi referido no anexo C, o excesso de ar alimentado à caldeira foi de 12%.

Para a temperatura ambiente, foi considerada a média das temperaturas registadas nos vários ensaios efectuados aos gases de combustão (anexo L, tabela L.2).

$$Temperatura_{Ambiente\ média} = 24,3^{\circ}C$$

Como já foi mencionado no capítulo 4.2, a eficiência da caldeira é calculada pelo método indirecto ou também designado pelo método das perdas.

Da seguinte forma:

$$\eta_{Caldeira} = 100 - \Sigma_{Perdas} \quad (4.2)$$

- **Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes.**

$$P_{CV} = \frac{A + FCI + C_{CC} \times 33820 \times 100}{(1 - C_{CC}) \times PCI} \quad (4.3)$$

- **Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo.**

$$P_{CF} = \frac{A + FCI \times 33820 \times 100}{(1 - C_{CC}) \times PCI} \quad (4.4)$$

Estas perdas apenas se aplicam a combustíveis sólido, como não é o caso então

$$P_{CV} = 0 \text{ e } P_{CF} = 0$$

- **Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão.**

$$P_{gc} = \frac{K \times (Tg - Ta) \times \left[1 - \frac{(Pcv + Pcf)}{100} \right]}{\%CO_2} \quad (4.5)$$

$$K = \frac{255 \times C}{PCI} \quad (4.6)$$

C- Percentagem, em peso, de carbono no combustível.

Calculou-se a percentagem de carbono existente no gás natural, através da sua composição (tabela J.1, no anexo J).

Tabela D.1-Composição do gás natural, segundo a REN. [26]

Componente	Fracção molar	Massa molecular (g/mol)
Metano	0,87885	16,04
Etano	0,0805	30,07
Propano	0,01378	44,10
Azoto	0,01088	28,01

Tabela D.1-Composição do gás natural, segundo a REN. [26] (Continuação)

n-Butano	0,00158	58,12
i-Butano	0,00108	58,12
n-Pentano	0,00018	72,15
i-Pentano	0,00022	72,15
n-Hexano	0,0002	86,18
Dióxido de carbono	0,01266	44,01

De acordo com esta composição obtém-se para a massa molecular do gás natural:

$$M(\text{gás natural}) = 18,19 \text{ g/mol}$$

A seguir calculou-se o número de moles de carbono existente em cada componente, tomando como base de cálculo 100 mol de combustível. O resultado é o apresentado na tabela D.2.

Tabela D.2-Cálculo da percentagem de carbono presente no gás natural.

Componente	Número de moles de carbono
Metano	87,89
Etano	16,10
Propano	4,13
n-Butano	0,63
i-Butano	0,43
n-Pentano	0,09
i-Pentano	0,11

Tabela D.2-Cálculo da percentagem de carbono presente no gás natural. (Continuação)

n-Hexano	0,12
n-Dióxido de carbono	1,27
Total	110,8
Massa total de carbono no combustível (g)	1330,8

Tendo em conta a massa molar do combustível, 18,19 g/mol em cada 100 mol de combustível existem 1819g então a percentagem em peso do carbono no combustível é de 73,1%.

Exemplo de cálculo relativo aos valores apresentados na tabela D.2.

$$n_{Metano} = 1 \times 100 \times 0,87885 = 87,89 \text{ mol}$$

$$n_{Total} = 87,89 + 16,10 + 4,13 + 0,63 + 0,43 + 0,09 + 0,11 + 0,12 + 1,27 = 110,8 \text{ mol}$$

$$m_{Carbono} = n_{Carbono} \times M_{Carbono}$$

$$m_{Carbono} = 110,8 \times 12,0107 = 133,8 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} M_{Gás\ natural} &= (0,87885 \times 16,04) + (0,0805 \times 30,07) + (0,01378 \times 44,10) \\ &+ (0,01088 \times 28,01) + (0,00158 \times 58,12) + (0,00108 \times 58,12) \\ &+ (0,00018 \times 72,15) + (0,00022 \times 72,15) + (0,0002 \times 86,18) + (0,01266 \\ &\times 44,01) \end{aligned}$$

$$M_{Gás\ natural} = 18,19 \text{ g/mol}$$

Em 100 g de combustível,

$$Percentagem_{Carbono} = \left(\frac{1330,8}{(100 \times 18,19)} \right) \times 100$$

$$Percentagem_{Carbono} = 73,1\%$$

Sabendo a percentagem de carbono presente no gás natural, calculou-se a constante K, através da equação 4.6:

$$K = \frac{255 \times 73,1}{45100} = 0,41$$

Da equação 4.5,

$$P_{gc} = \frac{0,41 \times (205 - 24,3) \times [1 - 0]}{10,3}$$

Finalmente, as perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão foram de:

$$P_{gc} = 7,19\%$$

- **Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases secos de combustão.**

$$P_{H_2O} = \frac{(m_{H_2O} + 9H) \cdot (210 - 4,2T_a + 2,1T_g)}{PCI} \quad (4.7)$$

Para calcular as perdas referidas na equação 4.7, é necessário saber a percentagem de hidrogénio no gás natural. Assim sendo, calculou-se:

- **Cálculo percentagem em peso de hidrogénio no combustível, H:**

Com a composição do gás natural, apresentada no Anexo J, tabela J.1, e sabendo que o cálculo da percentagem de hidrogénio presente no combustível calcula-se do mesmo modo que a percentagem de carbono, na tabela D.3 encontram-se os valores obtidos e a percentagem de hidrogénio no combustível.

Tabela D.3-Cálculo da percentagem de hidrogénio presente no gás natural.

Componente	Número de moles de hidrogénio
Metano	351,5
Etano	48,3
Propano	11,0
n-Butano	1,58
i-Butano	1,08
n-Pentano	0,2
i-Pentano	0,26
n-Hexano	0,28
Total	414,2
Massa de hidrogénio (g)	417,57
Massa molecular do gás natural (g/mol)	1819
Percentagem em peso de hidrogénio (%)	22,96

Exemplo de cálculo da percentagem de hidrogénio presente no combustível:

$$n_{CH_4} = 0,87885 \times 4 \times 100 = 351,54 \text{ mol}$$

$$n_{Total} = 351,5 + 48,3 + 11 + 1,58 + 1,08 + 0,22 + 0,26 + 0,28 = 414,2 \text{ mol}$$

$$m_{Hidrogénio} = 414,2 \text{ mol} \times 1,00794 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 417,5 \text{ g}$$

$$\%H = \frac{417,5}{1819} \times 100 = 22,95\%$$

Da equação 4.7,

$$P_{H_2O} = \frac{(0 + 9 \times 22,95) \cdot (210 - 4,2 \times 24,3 + 2,1 \times 205)}{45100} = 2,47\%$$

- **Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão**

$$P_{CO} = \frac{K \cdot CO \cdot [1 - 0.01 \cdot (P_{cv} + P_{cf})]}{CO + CO_2} \quad (4.8)$$

Como se pode observar na análise dos gases de combustão, a concentração de 12 ppm de CO é tão pequena, que se consideram desprezáveis as perdas nos gases de combustão, logo:

$$P_{CO} = 0\%$$

- **Perdas por convecção e radiação.**

As perdas por convecção e radiação, são calculadas através da tabela L.4, do anexo L, mas é necessário saber a capacidade nominal da caldeira, então:

$$\text{Capacidade nominal} = \text{Produção máxima de vapor} \times h_{g_{\text{Pressão de operação}}} [14] \quad (4.9)$$

$$h_{g_{\text{Pressão de operação } p=6,8\text{bar}_g}} = 2767,96 \text{ kJ/kg} \quad [20]$$

$$\text{Produção máxima de vapor} = 5000 \text{ kg/h}$$

$$\text{Capacidade nominal} = 2767,96 \times \left(\frac{5000}{3600}\right) = 3844,4 \text{ kW} = 3,8 \text{ MW}$$

Com a capacidade nominal da caldeira, 3,8 MW, lê-se, na tabela L.4 no Anexo L, o valor de perdas por convecção e radiação referentes a essa capacidade:

$$P_r = 1,6\%$$

- **Perdas associadas às purgas**

$$P_p = \frac{(T_p - T_{H_2O}) \cdot (p) \cdot (100 - EP)}{(T_p - T_{H_2O}) \cdot (p) + [100 - (p)] \cdot (660 - T_{H_2O})} \quad (4.10)$$

Para calcular as perdas nas purgas, é necessário saber qual o caudal de purga debitado. Sabendo que o caudal da purga no caso da Petibol é de 186 kg/h (tabela 4.16), calcula-se a percentagem referente a água de alimentação

$$p = \frac{Caudal_{Purga}}{Caudal_{Água\ de\ alimentação}} \times 100 \quad (4.11)$$

Como a purga é feita durante seis segundos de trinta em trinta minutos, então numa hora o caudal debitado é de:

$$Caudal_{Purga} = \frac{15,5 \times 6 \times 2}{1h} = 186 \text{ kg/h}$$

$$p = \frac{186}{2000} \times 100 = 9,3\%$$

$$P_p = \frac{(169,467 - 105) \cdot (9,3) \cdot (100 - 7,19 - 2,47 - 0 - 4)}{(169,467 - 105) \cdot (9,3) + [(100 - 9,3) \times (660 - 105)]} = 1,02\%$$

Depois de calculadas todas as perdas, através da equação 4.2, calculou-se a eficiência da caldeira:

$$\eta = 100 - 7,19 - 2,47 - 0 - 1,6 - 1,02 = 87,72\%$$

Na tabela D.4 estão as propriedades físicas do vapor saturado à pressão de 6,8 barg.

Tabela D.4- Propriedades físicas do vapor saturado, à pressão de 6,8 barg. [20]

	Pressão 6,8 barg
Temperatura de Saturação (°C), Ts	169,467
hf (kJ/kg)	716,98
ΔH vaporização (kJ/kg)	2050,97
hg (kJ/kg)	2767,96

A água entra no desgaseificador a temperatura de 15°C e a pressão de 4,5 barg, no estado líquido, ou seja o seu estado termodinâmico é líquido comprimido. Como as tabelas de líquido comprimido não têm as propriedades para a pressão de 4,5 barg, considerou-se que as propriedades do líquido comprimido são iguais às do líquido saturado. Com recurso a referência bibliográfica, número [20], retirou-se a entalpia da água saturada a 15°C ($h_f=62,94$ kJ/kg).

Como a caldeira tem uma eficiência de 87,72%, o caudal de vapor produzido é de, equação 4.1,

$$0,8772 = \frac{\dot{m}_{vapor} \times (2767,96 - 62,94)}{163,24 \times 45100}$$

$$\dot{m}_{vapor} = 2387,43 \text{ kg/h}$$

O caudal de vapor dá superior a 2000 kg/h, o que nunca poderia dar, já que o caudal médio de água alimentada à caldeira é de 2 m³/h, logo se a caldeira tivesse operado a eficiência máxima, o caudal máximo de vapor produzido seria de 2000 kg/h. Este erro deve-se ao facto de as relações utilizadas no cálculo do caudal de vapor (equação 4.1) serem relações empíricas, acarretando um determinado erro. Além disso o caudal de água alimentada a caldeira foi um caudal médio, conduzindo assim ao erro verificado no cálculo do vapor produzido. Por isso o caudal de vapor produzido considerado nos cálculos seguintes é de 2000 kg/h.

E. Exemplo de cálculo do permutador compacto.

Com a composição dos gases de combustão, calcularam-se as propriedades físicas dos gases de combustão, Anexo C. Os resultados obtidos são apresentados na tabela E.1.

Tabela E.1-Propriedades físicas dos gases de combustão, às temperaturas médias do economizador e do permutador de calor, respectivamente.

	Economizador (T=182,5°C)	Permutador de calor (T=145°C)
Cp (kJ/kg.°C)	1,19	1,18
μ (Pa.s)	2,6E-05	2,4E-05
k (W/m.°C)	0,031	0,026
Pr	1,0	1,09

Para as propriedades físicas da água recorreu-se a referência bibliográfica [18], e estão apresentadas na tabela E.2.

Tabela E.2- Propriedades físicas da água, às temperaturas médias do economizador e do permutador de calor, respectivamente. [19]

	Economizador (T=182,5°C)	Permutador de calor (T=145°C)
Cp (kJ/kg°C)	4,256	4,175
μ (Pa.s)	2,4E-04	5,8E-04
k (W/m°C)	0,69	0,64
Pr	1,46	3,75
ρ (kg/m³)	950,2	992,2

Balço de energia ao economizador:

Das equações 4.12 e 4.13, calculou-se o caudal de gases de combustão, à saída da caldeira, tendo em conta que o caudal de água alimentada à caldeira.

$$\dot{m}_q = \frac{0,56 \times 4,256 \times (120 - 105)}{1,19 \times (205 - 160)} = 0,67 \text{ kg/s}$$

Balço de energia ao permutador de calor:

Considerou-se que a temperatura dos gases à saída deste permutador, por razões de segurança, seria de 130°C, isto porque a temperatura desses gases à saída de uma caldeira, a gás natural, nunca deve ser inferior a 120°C, devido ao risco de corrosão na chaminé provocado pela condensação do vapor de água. [16]

A temperatura de entrada da água é 40°C, proveniente de uma serpentina (dado retirado da tese “Caracterização de águas do processo e optimização dos consumos de água nos vários circuitos da Petibol” da Márcia Silva - a publicar).

O fluido quente, neste caso, foram os gases de combustão que circulam nos tubos (1 passagem) o fluido frio a água, que circula no exterior dos tubos (1 passagem).

A partir da equação 4.14, retirou-se a temperatura da água à saída do permutador de calor.

$$T_{fs} = \left(\frac{0,67 \times 1,18 \times (160 - 130)}{0,56 \times 4,175} \right) + 40$$

$$T_{fs} = 50^\circ\text{C}$$

Potência térmica:

$$Q = \dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs}) = \dot{m}_f \times Cp_f \times (T_{fs} - T_{fe})$$

$$Q = 0,67 \times 1,18 \times (160 - 130) = 23,72 \text{ kW} = 23720 \text{ W}$$

O permutador compacto escolhido para este caso seria: fluxo cruzado (uma passagem para cada um dos fluidos), no seu interior com feixe de tubos em aço com alhetas radiais de aço, que teria as seguintes características:

- Potência: 23,72 kW
- Área de superfície de aquecimento: 4,2 m²
- Número de tubos (Nt): 56 tubos
- Material tubos: Aço
- Tubos: $d_i = 0,01178m$
 $d_e = 0,0164m$
- Dimensões: altura 0,25m; comprimento 0,25m; largura 0,25m

Da equação 4.16, retira-se:

$$\Delta T_m = \frac{(160 - 50) - (130 - 40)}{\ln \frac{(160 - 50)}{(130 - 40)}} = 99,7^\circ C$$

O factor de correcção da temperatura, F , depende das temperaturas dos fluidos, do tipo de permutador e é função de dois parâmetros adimensionais, R e S , definidos por:

A partir das equações 4.18 e 4.19, calcularam-se os factores, R e S :

$$R = \frac{160 - 130}{50 - 40} = 3$$

$$S = \frac{50 - 40}{160 - 40} = 0,08$$

Com os parâmetros S e R , retira-se o valor de F , considerando permutador de fluxo cruzado com uma passagem, um dos fluidos misturado e o outro não misturado, [17]:

$$F = 0,97$$

Então,

$$UA = \frac{23710}{99,7 \times 0,97} = 245,2 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Este valor tem de ser da mesma ordem de grandeza que o calculado na equação 4.20.

Cálculo do coeficiente de transferência de calor do lado dos gases de combustão h_o :

Começou-se por calcular a velocidade mássica,

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{min}}$$

Sabendo que: $\text{Área}_{frontal} = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2$

O permutador terá as características representadas na figura L.3 no anexo L,

$$\sigma = \frac{\text{Área}_{mínima}}{\text{Área}_{frontal}} = 0,449$$

$$\text{Área}_{mínima} = 0,0625 \times 0,449 = 0,028 \text{ m}^2$$

Por sua vez,

$$G = \frac{0,67}{0,028} = 23,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{G \times Dh}{\mu}$$

$$Dh = 6,68E^{-3} \text{ m}$$

$$Re = \frac{8,38 \times 6,68E^{-3}}{2,4E^{-5}} = 6660,1$$

Da equação 4.25

$$\frac{h_o}{23,9 \times 1,18E^3} \times (1,09)^{\frac{2}{3}} = 0,0072$$

$$h_o = 191,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Cálculo da área de transferência total, A_t

$$\text{Volume} = 0,25 \times 0,25 \times 0,25 = 0,016m^3$$

Pela na figura L.3 no anexo L,

$$\alpha = \frac{\text{Área de transferência de calor}}{\text{Volume total}} = 269m^2/m^3$$

$$\text{Área de transferência de calor} = A_t = 269 \times 0,016 = 4,2m^2$$

Determinação da eficiência das alhetas:

Na figura L.3 no anexo L, e de acordo com a nomenclatura aí apresentada:

Diâmetro externo dos tubos - 16.4mm $r_i = 8,2 \text{ mm}$

Diâmetro das alhetas – 28.5mm $r_o = 14,25mm$

$$L = r_o - r_i$$

$$L = 0,01425 - 0,0082 = 0,00605m$$

As alhetas são de aço, logo $k=45 \text{ W/m.°C}$

$$L \times \sqrt{\frac{2 \times h}{K \times t}} = 0,00605 \times \sqrt{\frac{2 \times 191,7}{45 \times 0,000254}} = 1,1$$

$$\frac{r_o}{r_i} = \frac{0,01425}{0,0082} = 1,7$$

Na figura L.4, no anexo L,

$$\eta = 0,79$$

Na figura L.3, do anexo L, retira-se o quociente entre a área das aletas e a área total:

$$\frac{Af}{At} = \frac{\text{Área das aletas}}{\text{Área total}}$$

$$\frac{Af}{At} = 0,83$$

$$\eta' = \frac{Af}{At} \times \eta + 1 - \frac{Af}{At}$$

$$\eta' = (0,83 \times 0,79) + 1 - 0,83 = 0,83$$

Determinação do número total de tubos, N_t :

$$N_{t\text{horizontal}} = \frac{0,25}{0,0343} = 7,28 = 7 \text{ tubos}$$

$$N_{t\text{vertical}} = \frac{0,25}{0,0313} = 7,98 = 8 \text{ tubos}$$

$$N_t = 7 \times 8 = 56 \text{ tubos}$$

Determinação da área para a condução através dos tubos:

Considerando a espessura do tubo de 0,00231m, como se viu na referência [19] da bibliografia, calculou-se o diâmetro interno dos tubos:

$$D_i = 16,4E^{-3} - (2 \times 0,00231) = 0,01178m$$

Com o diâmetro externo e interno dos tubos, calcula-se a área externa e interna, e finalmente, a área média logarítmica:

$$A_{lm} = \frac{Ae - Ai}{\ln \frac{Ae}{Ai}}$$

$$Ae = 2 \times \pi \times r_o \times L \times N_t$$

$$A_e = 2 \times \pi \times 0,0082 \times 0,25 \times 56 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$A_i = 2 \times \pi \times r_i \times L \times Nt$$

$$A_i = 2 \times \pi \times 0,00589 \times 0,25 \times 56 = 0,52 \text{ m}^2$$

$$A_{lm} = \frac{0,72 - 0,52}{\ln \frac{0,72}{0,52}} = 0,61 \text{ m}^2$$

Cálculo do coeficiente de transferência de calor do lado da água, h_i :

Através das equações 4.43 e 4.44, calculou-se a velocidade da água e o número de Reynolds:

$$\dot{v}_{\text{água}} = \frac{\left(\frac{2000}{3600}\right)}{992,2} = 0,00056 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{0,00056}{\pi \times 0,00589^2} = 0,092 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times Di}{\mu}$$

$$Re = \frac{992,2 \times 0,092 \times 0,01178}{5,8E^{-4}} = 1849,0$$

Como Reynolds apresenta um valor inferior a 2100, é regime laminar. A partir da equação 4.45:

$$\frac{h \times 0,01178}{0,64} = 1,86 \left(1849,0 \times 3,75 \times \frac{0,01178}{0,25} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_i = 696 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Então, através da equação, 4.20:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{hi \cdot Ai} + \frac{\Delta x}{Kp \cdot A_{tm}} + \frac{1}{ho \cdot At \cdot \eta'}$$

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{696 \times 0,52} + \frac{(0,0164 - 0,01178)}{45 \times 0,61} + \frac{1}{191,7 \times 4,2 \times 0,83}$$

$$\frac{1}{UA} = 4,43E^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$UA = 225,8 \text{ W/ } ^\circ\text{C}$$

Como os valores de UA deram próximos, 245,2 e 225,8 W/°C, o permutador que dimensionado ajusta-se a situação pretendida.

Cálculo Poupança:

- Sem aquecimento antes do desgaseificador (situação actual).

No desgaseificador é injectado vapor para aquecer água que entra, de 15°C até 105°C, então:

Na tabela E.3 estão apresentadas as propriedades físicas da água saturada à pressão de 0,2 barg.

Tabela E.3- Propriedades da água, à pressão de 0,2 barg. [20]

	Pressão 0,2 barg
Cp (kJ/kg°C)	4,22
ΔH vaporização (kJ/kg)	2243,05
hf(kJ/kg)	440,76

Na tabela E.4 estão apresentadas as propriedades físicas da água saturada a temperatura de 15 e 50°C.

Tabela E.4- Propriedades da água, à temperatura de 15°C. [20]

Temperatura	hf (kJ/kg)
15°C	62,94
50°C	209,2

Da equação 4.49, calculou-se o caudal de vapor injectado no desgaseificador:

$$\dot{m}_{vapor} = 2000 \times \frac{(440,76 - 62,94)}{(2767,96 - 440,76)}$$

$$\dot{m}_{vapor} = 324,7 \text{ kg/h}$$

Então, sabendo que o vapor produzido foi de 2000 kg/h, anexo D, a percentagem de vapor foi de:

$$\text{Percentagem de vapor} = \frac{\dot{m}_v \text{ injectado}}{\dot{m}_v \text{ produzido}} \times 100$$

$$\text{Percentagem de vapor} = \frac{324,7}{2000} \times 100 = 16,2\%$$

- Com aquecimento antes do desgaseificador (situação provável).

No desgaseificador é injectado vapor para aquecer água que entra, de 50°C até 105°C, então:

Da equação 4.52, calculou-se o caudal de vapor injectado no desgaseificador:

$$\dot{m}_{vapor} = 2000 \times \frac{(440,76 - 209,2)}{(2767,96 - 440,76)}$$

$$\dot{m}_{vapor} = 199,0 \text{ kg/h}$$

Então,

$$\text{Percentagem de vapor} = \frac{\dot{m}_v \text{ injectado}}{\dot{m}_v \text{ produzido}} \times 100$$

$$\text{Percentagem de vapor} = \frac{199}{2000} \times 100 = 9,95 \%$$

$$\text{Poupança} = 16,2 - 9,95 = 6,3 \%$$

Ou seja,

$$\dot{m}_{\text{vapor injectado}} = 2000 \times 0,095 = 190 \text{ kg/h}$$

$$\text{Relação} \frac{\text{Vapor}}{\text{Combustível}} = \frac{2000}{182,09}$$

$$= 10,98 \text{ kg Vapor formado} / \text{m}^3 \text{ combustível alimentado}$$

Considerando como base de cálculo, 1 hora:

Numa hora, a massa de vapor necessária para o aquecimento da água é de:

$$\text{Massa}_{\text{água}} = 190 \text{ kg}$$

$$\text{Combustível gasto} = \frac{1 \times 190}{10,98} = 17,3 \text{ m}^3$$

$$\text{Combustível gasto} = 17,3 \times 11,85 = 205,1 \text{ kWh}$$

Sendo o preço do gás natural, 0,02634€/kWh,

$$\text{Poupança} = 205,1 \times 0,02634 = 5,40 \text{ €/h}$$

Num ano,

$$\text{Poupança anual} = 5,40 \times 24 \times 220 = 28\,518 \text{ €}$$

$$\text{Energia primária} = \frac{205,1}{11,85} \times 0,8404 \times 1,077 = 0,016 \text{ tep}$$

$$\text{Emissão de GEE} = 0,016 \times 2683,7 = 42,04 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

F. Eficiência da caldeira com actual economizador

A eficiência calculada neste anexo, refere-se à eficiência da caldeira mas, neste caso, com o economizador actual.

Como já foi referido no anexo D, a temperatura média dos gases saída do economizador é de 160°C e a temperatura ambiente é de 24,3 °C.

- **Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão.**

Através das equações 4.5 e 4.6:

$$K = \frac{255 \times 73,14}{45100} = 0,41$$

$$P_{gc} = \frac{0,41 \times (160 - 24,3) \times [1 - 0]}{10,3}$$

$$P_{gc} = 5,40\%$$

- **Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases secos de combustão.**

Através da equação 4.7:

$$\%H = \frac{417,57}{1818,97} \times 100 = 22,96\%$$

$$P_{H_2O} = \frac{(0 + 9 \times 22,96) \cdot (210 - 4,2 \times 24,3 + 2,1 \times 160)}{45100} = 2,03\%$$

- **Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão**

$$P_{CO} = 0\%$$

- **Perdas por convecção e radiação.**

As perdas por convecção e radiação mantêm-se iguais (anexo D)

$$P_r = 1,6\%$$

- **Perdas associadas às purgas**

A partir das equações 4.11 e 4.10:

$$p = \frac{186}{2000} \times 100 = 9,3\%$$

$$P_p = \frac{(169,467 - 120) \cdot (9,3) \cdot (100 - 5,40 - 2,03 - 0 - 4)}{(169,467 - 120) \cdot (9,3) + [(100 - 9,3) \times (660 - 120)]} = 0,82\%$$

$$\eta = 100 - 5,40 - 2,03 - 0 - 1,6 - 0,82 = 90,15\%$$

$$\eta_{Com\ economizador} - \eta_{Sem\ economizador} = 90,15 - 87,72 = 2,43\%$$

$$\begin{aligned} \text{Potência térmica fornecida} &= \dot{m}_{Vapor} \times (h_{g\ P=6,8barg} - h_{f\ Água\ de\ alimentação\ T=120^\circ C}) \\ &= \dot{m}_{Gás\ natural} \times PCI \times \eta \end{aligned}$$

Sabendo que a água entra a 120°C e a pressão de 6,8 barg na caldeira, líquido comprimido, considerou-se que as propriedades físicas são iguais ao líquido saturado à temperatura de 120°C. Então na referência bibliográfica, [20], retirou-se a entalpia da água saturada (hf=503,813).

$$\text{Potência térmica fornecida} = \frac{2000}{3600} \times (2767,96 - 503,813) = 1257,9\text{ kW}$$

Considerou-se a eficiência da caldeira com o economizador actual

$$\text{Potência térmica fornecida} = \dot{m}_{\text{Gás natural}} \times PCI \times \eta$$

$$1257,9 = \dot{m}_{\text{Gás natural}} \times 45100 \times 0,9015 = 0,031 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 111,6 \text{kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{Gás natural}} = 111,6 \times 0,8404 = 93,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando como base de cálculo, 1 hora:

Numa hora o volume de gás natural consumido é de 93,8 m³.

$$\dot{m}_{\text{Gás natural}} = 93,8 \times 11,85 = 1111,4 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo}_{\text{Gás natural}} = (1111,4 \times 0,02634) \times 24 \times 220 = 154\,568 \text{ €/ano}$$

$$\text{Energia primária} = \frac{\frac{1111,4}{11,85} \times 0,8404}{1000} \times 1,077 = 0,085 \text{ tep}$$

$$\text{Emissão de GEE} = 0,059 \times 2683,7 = 227,8 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

G. Exemplo de cálculo da eficiência da caldeira com a substituição do actual economizador.

Sabendo que o economizador proposto, por uma empresa, para substituir o actual, tem uma potência adicional recuperada de 80 kW, calculou-se a eficiência da caldeira com o economizador proposto.

Balço energético ao economizador:

$$Q = \dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs}) = \dot{m}_f \times Cp_f \times (T_{fs} - T_{fe})$$

$$Q = \dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs}) = 80 = 0,67 \times 1,19 \times (205 - T_{qs})$$

$$T_{qs} = 104,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como se pode observar o economizador tem capacidade para arrefecer os gases de combustão até cerca de 104°C. Contudo, não é muito aconselhável, isto porque para uma caldeira que queima gás natural é prudente limitar a temperatura de saída dos gases de combustão aos 120°C, para evitar problemas de corrosão. Por isso, como segurança, considera-se que os gases saem a temperatura de 130°C.

$$Q = \dot{m}_q \times Cp_q \times (T_{qe} - T_{qs}) = 0,67 \times 1,18 \times (205 - 130) = 59,3 \text{ kWh}$$

Ou seja, o economizador trabalharia a cerca de 74% da sua potência máxima recuperada.

$$\text{Carga de trabalho} = \frac{59,3}{80} \times 100 = 74,1 \%$$

Então, o economizador aqueceria a água de alimentação até a temperatura de:

$$Q = \dot{m}_f \times Cp_f \times (T_{fs} - T_{fe})$$

$$59,3 = 0,56 \times 4,184 \times (T_{fs} - 105)$$

$$T_{fs} = 130,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A eficiência da caldeira seria de:

As perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes e nas cinzas de fundo, apenas se aplicam a combustíveis sólido. Como não é o caso:

$$P_{CV} = 0 \text{ e } P_{CF} = 0$$

- **Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão.**

Através das equações 4.4 e 4.5:

$$K = \frac{255 \times 73,14}{45100} = 0,41$$

$$P_{gc} = \frac{0,41 \times (130,6 - 24,3) \times [1 - 0]}{10,3}$$

$$P_{gc} = 4,23\%$$

- **Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases secos de combustão.**

A partir da equação 4.6:

$$\%H = \frac{417,57}{1818,97} \times 100 = 22,96\%$$

$$P_{H_2O} = \frac{(0 + 9 \times 22,96) \cdot (210 - 4,2 \times 24,3 + 2,1 \times 130,6)}{45100} = 1,75\%$$

- **Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão**

$$P_{CO} = 0\%$$

- **Perdas por convecção e radiação.**

As perdas por convecção e radiação não se alteram então,

$$P_r = 1,6\%$$

- **Perdas associadas às purgas**

Através da equação 4.11 e 4.10:

$$p = \frac{186}{2000} \times 100 = 9,3\%$$

$$P_p = \frac{(169,467 - 130,6) \cdot (9,3) \cdot (100 - 4,23 - 1,75 - 0 - 4)}{(169,467 - 130,4) \cdot (9,3) + [(100 - 9,3) \times (660 - 130,4)]} = 0,67\%$$

$$\eta = 100 - 4,23 - 1,75 - 0 - 1,6 - 0,67 = 91,75 \%$$

$$\eta_{Com\ economizador} - \eta_{Sem\ economizador} = 91,75 - 87,72 = 4,03\%$$

Como a temperatura de água a entrada da caldeira deu 130,5°C, para efeito de cálculos arredondou-se para 131°C

$$\begin{aligned} \text{Potência térmica fornecida} &= \dot{m}_{Vapor} \times (h_{g\ P=6,8\text{barg}} - h_{f\ \text{Água de alimentação } T=131^\circ\text{C}}) \\ &= \dot{m}_{Gás\ natural} \times PCI \times \eta \end{aligned}$$

Considerou-se a eficiência da caldeira com o economizador proposto. A entalpia da água líquida à temperatura de 131°C e a pressão de 6,8 barg, à semelhança do que aconteceu no anexo F, apesar de ser líquido comprimido considerou-se que as propriedades do líquido comprimido são iguais ao líquido saturado. Na referência bibliográfica [20] retirou-se a entalpia da água saturada à temperatura de 131°C, hf=550,715 KJ/kg.

$$\text{Potência térmica fornecida} = \frac{2000}{3600} \times (2767,96 - 550,715) = 1231,8\text{ kW}$$

$$\text{Potência térmica fornecida} = \dot{m}_{\text{Gás natural}} \times PCI \times \eta$$

$$1231,8 = \dot{m}_{\text{Gás natural}} \times 45100 \times 0,9175 = 0,03 \text{ kg/s} = 108 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{Gás natural}} = 108 \times 0,8404 = 90,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando como base de cálculo 1 hora, o volume de gás natural consumido é de 90,8 m³.

$$\dot{m}_{\text{Gás natural}} = 90,8 \times 11,85 = 1075,5 \text{ kWh}$$

Com o custo médio do gás natural, anexo B.10,

$$\text{Custo}_{\text{Gás natural}} = (1075,5 \times 0,02634) \times 24 \times 220 = 149\,581 \text{ €/ano}$$

$$\text{Poupança}_{\text{Gás natural}} = \text{Custo}_{\text{Economizador proposto}} - \text{Custo}_{\text{Economizador actual}}$$

$$\text{Poupança}_{\text{Gás natural}} = 154\,568 - 149\,581 = 4987 \text{ €/ano}$$

$$\text{Energia primária} = \frac{\frac{1075,5}{11,85} \times 0,8404}{1000} \times 1,077 = 0,082 \text{ tep}$$

$$\text{Emissão de GEE} = 0,057 \times 2683,7 = 220,5 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

Sabendo que o custo do equipamento e a montagem é de 28 000 €, então

$$\text{"Payback" simples} = \frac{28\,000}{4987} = 5,6 \text{ anos}$$

H. Estudo da purga

Neste anexo, calculou-se a perda de energia existente na purga actual e na purga recomendada.

- **Purga actual**

Segundo o Eng. Químico, responsável pelo tratamento de águas da Petibol, o caudal de purga é de 15,5 kg/s, durante seis segundos de meia em meia hora.

Numa hora o caudal é de:

$$\dot{m}_{purga} = \frac{15,5 \times 6 \times 2}{1h} = 186 \text{ kg/h} \quad (1)$$

Quantidade de energia na purga, [24]

$$\text{Energia na purga} = \dot{m}_{purga} \times hf_{P=6,8 \text{ barg}} \quad (2)$$

$$\text{Energia na purga} = 186 \times 716,98 = \frac{133358 \text{ kJ}}{h}$$

$$\text{Energia na purga} = \frac{133358}{3600} = 37,4 \text{ kW}$$

Quantidade de água purgada, [20]

$$m_{\text{Água purgada}} = \dot{m}_{purga} \times \text{Tempo}_{purga} \quad (3)$$

$$m_{\text{Água purgada}} = 15,5 \times 6 = 93 \text{ kg}$$

Volume de água purgada, [19]

Sabendo que, $\rho_{\text{Água}}$ é de 1000kg/m^3 então,

$$Volume_{\text{Água purgada}} = \frac{93}{1000} = 0,093\text{m}^3 \quad (4)$$

De seguida, foi calculada a energia dispendida com o aquecimento da água eliminada:

$$Energia\ dispendida_{\text{Purga}} = \dot{m}_{\text{Purga}} \times (hf_{P=6,8\text{bar}g} - hf_{T=120^{\circ}\text{C}}) \quad [27] \quad (5)$$

$$Energia\ dispendida_{\text{Purga}} = 186 \times (716,98 - 503,813) = 39649,1\text{ kJ/h}$$

$$Custo = \left(\frac{\frac{39649,1}{3600} \times 24 \times 0,02634}{0,9015} \right) = 7,72\text{ €/dia}$$

$$Custo = 7,72 \times 220 = 1699\text{ €/ano}$$

- **Purga recomendada**

Segundo a referência [20] da bibliografia, o ideal numa purga de fundo seria de quatro segundos de oito em oito horas.

Em oito horas, o caudal debitado é de:

$$\dot{m}_{\text{Purga}} = \frac{15,5 \times 4}{8h} = 7,75\text{ kg/h}$$

Quantidade de energia na purga, [25]

$$Energia\ na\ purga = \dot{m}_{\text{Purga}} \times hf_{P=6,8\text{bar}g} \quad (6)$$

$$\text{Energia na purga} = 7,75 \times 716,98 = 5556,6 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Energia na purga} = \frac{5556,6}{3600} = 1,54 \text{ kW}$$

Quantidade de água purgada, [19]

$$m_{\text{Água purgada}} = \dot{m}_{\text{Purga}} \times \text{Tempo}_{\text{Purga}} \quad (7)$$

$$m_{\text{Água purgada}} = 15,5 \times 4 = 62 \text{ kg}$$

Volume de água purgada, [19]

Sabendo que, $\rho_{\text{Água}}$ é de 1000 kg/m^3 então,

$$\text{Volume}_{\text{Água purgada}} = \frac{62}{1000} = 0,062 \text{ m}^3 \quad (8)$$

De seguida, foi calculada a energia dispendida com o aquecimento da água eliminada:

$$\text{Energia dispendida}_{\text{Purga}} = \dot{m}_{\text{Purga}} \times (h_{f_{P=6,8\text{ barg}}} - h_{f_{T=120^\circ\text{C}}}) \quad [27] \quad (9)$$

$$\text{Energia dispendida}_{\text{Purga}} = 7,75 \times (716,98 - 503,813) = 1652,04 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Custo} = \left(\frac{\frac{1652,04}{3600} \times 24 \times 0,02634}{0,9015} \right) = 0,32 \text{ €/dia}$$

$$\text{Custo} = 0,32 \times 220 = 70,8 \text{ €/ano}$$

I. Análises das águas da Petibol

Neste capítulo, são apresentadas as análises feitas á agua de alimentação à caldeira e a água dentro da caldeira. As análises são referentes ao ano 2010. Foram considerados estes valores, porque não foram feitas alterações ao circuito das águas, nem à caldeira. Estas análises foram retiradas da tese “Caracterização de águas do processo e optimização dos consumos nos vários circuitos da Petibol”, da Márcia Silva, - a publicar, com excepção das análises da água dentro da caldeira que foram feitas pelo Eng. Químico responsável pelo tratamento das águas na Petibol.

Tabela I.1- Registo dos valores obtidos na avaliação da água de alimentação à caldeira.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido
pH (T ≈ 20° C)	Escala de Sorensen	10,14
Condutividade (T ≈ 20° C)	µS/cm	363
Ferro	mg/L	1,21
Dureza	mg CaCO ₃ /L	16,0
Alcalinidade M	mg CaCO ₃ /L	242
Alcalinidade P	mg CaCO ₃ /L	87,3
O ₂ dissolvido	mg O ₂ /L	5
SST	mg SST/L	3,5
SDT	mg SDT/L	180
Cobre	mg/L	Quantidades vestigiais
Cor	mg/L Pt-Co	22
Turvação	FTU	4

- **Conversão de pressão**

Para saber quais os valores limite, aplicáveis a água de alimentação, é necessário converter a pressão de operação da caldeira de 6,8 barg para MPa:

$$6,8 \text{ barg} = (6,8 + 1) \times 1,01325E^5 = 790335Pa$$

$$= \frac{790355}{1,0E^6} = 0,79 \text{ MPa}$$

Então os valores limite, aplicáveis a caldeira em questão (tabela L.5, anexo L), são os valores referentes a pressões inferiores a 2MPa.

Tabela I.2- Registo de valores obtidos e valores limite, usadas na avaliação da água da caldeira.

Parâmetro	Unidades	Valor obtido	Valor limite ^[28] (ASME)
Condutividade (T ≈ 20° C)	μS/cm	7350	<3500
SDT	ppm	5248	-
Turvação	FTU	3	-
Hidratos	ppm	210	-
Cloretos	ppm	> 1000	-
Fosfatos	ppm	45	-
Sílica	mg/L SiO ₂	0	150
Alcalinidade M	mg/L CaCO ₃	450	-
Alcalinidade P	mg/L CaCO ₃	330	-
Alcalinidade total	mg/L CaCO ₃	780	<350

J. Parâmetros do gás natural

As informações que se seguem foram retiradas no site da Rede Energética Nacional (REN). [26]

Tabela J.1- Composição média do gás natural.

Components	mol %
Methane	87,885
Ethane	8,056
Propane	1,378
i-Butane	0,108
n-Butane	0,158
i-Pentane	0,022
n-Pentane	0,018
n-Hexane	0,020
Nitrogen	1,088
CO ₂	1,266

Nota: As presentes propriedades físicas foram calculadas de acordo com a ISSO 6976:1995 €. Secons Edition 95.12.01 Corrected and reprinted 96.02.01 Natural gás- Calculation of calorific value, density, relative density and Wobbe index from composition.

Condições de referência:

As condições de referência, são as condições denominadas como condições normais de referência:

- $p_n = 1.01325 \text{ bar (a)}$
- $T_n = 273.15\text{K (}^\circ\text{C)}$

K. Proposta de iluminação

Neste anexo, encontra-se a proposta feita pela empresa Maiamorim – Electrónica Industrial, Lda, para substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de iodetos metálicos.

PARTE TÉCNICA

DESCRIÇÃO DO FORNECIMENTO

Proposta de Preços N.º M040610

Vossa Ref: Vossa Consulta

1. Objecto da Proposta

A presente proposta de preços tem como objectivo o fornecimento e montagem de 42 Armaduras Disano Lucent 1101 de 250W.

2. Faz parte do nosso fornecimento o seguinte:

2.1 Substituição das Armaduras

42 – Armaduras Disano Lucent 1101 com Lampada JME 250W

80 – Hrs Trabalho de Montagem

3. Exclusões:

Exclui-se desta proposta o seguinte:

- Todos os serviços e trabalhos não descritos na nossa Proposta

NOTA: A Armadura terá que ser substituída, pois as Armaduras têm que ter Protecção com Vidro na parte Inferior devido a nova Legislação, e a substituição do balastro, a compra da lâmpada e do vidro em separado ficaria mais dispendioso do que a compra da Armadura já completa, bem como mais horas de trabalho na alteração da Armadura já existente.

Armadura Disano Lucent 1101com Lâmpada e Vidro ---	115,00€/Un.
Balastro 250W -----	33,07€/Un
Lâmpada JME250W -----	61,72€/Un
Vidro Protecção -----	80,25 €/Un
Preço Hora -----	15,00€/Un

II. PARTE COMERCIAL

Proposta de Preços N.º M040610

Vossa Ref: Vossa Consulta

Nossa Proposta de Preços N.º

Preço Total das Armaduras: 4.830,00 €

Preço da Mão-de-obra: 1.200,00 €

L. Dados Auxiliares

Neste anexo são apresentadas as figuras e tabelas usadas ao longo do relatório.

Tabela L.1- Tabelas que relacionam a percentagem de dióxido de carbono e oxigénio com a percentagem de excesso de ar. [12]

Appendix A

NATURAL GAS 300°F to 450°F

EXIT GAS HEAT LOSSES																			
%	%	%	NET STACK TEMPERATURE DEG F																
			EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE																
			EXCESS AIR	OXYGEN	CO2	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430
0.0	0.0	11.7	14.5	14.7	14.8	15.0	15.2	15.3	15.5	15.7	15.8	16.0	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	
2.2	0.5	11.4	14.6	14.8	15.0	15.1	15.3	15.5	15.6	15.8	16.0	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	17.1	
4.4	1.0	11.1	14.8	14.9	15.1	15.3	15.4	15.6	15.8	15.9	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	17.1	17.3	
6.8	1.5	10.9	14.9	15.1	15.2	15.4	15.6	15.8	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.3	17.5	
9.3	2.0	10.6	15.0	15.2	15.4	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.1	17.3	17.5	17.7	
12.0	2.5	10.3	15.2	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.5	17.7	17.9	
14.8	3.0	10.0	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	17.9	18.1	
17.7	3.5	9.8	15.5	15.7	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	
20.8	4.0	9.5	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.6	
24.1	4.5	9.2	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	
27.6	5.0	8.9	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.2	
31.4	5.5	8.6	16.2	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.4	18.6	18.8	19.0	19.2	19.5	
35.4	6.0	8.4	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	18.0	18.2	18.4	18.6	18.9	19.1	19.3	19.5	19.8	
39.6	6.5	8.1	16.6	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.0	18.3	18.5	18.7	19.0	19.2	19.4	19.6	19.9	20.1	
44.2	7.0	7.8	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.1	18.3	18.6	18.9	19.1	19.4	19.6	19.9	20.1	20.4	20.6	
49.0	7.5	7.5	17.1	17.4	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5	19.8	20.0	20.2	20.5	20.9	
54.3	8.0	7.2	17.4	17.7	17.9	18.2	18.4	18.7	19.0	19.2	19.5	19.7	20.0	20.3	20.5	20.8	21.0	21.3	
60.0	8.5	7.0	17.7	18.0	18.3	18.5	18.8	19.1	19.3	19.6	19.9	20.1	20.4	20.7	20.9	21.2	21.5	21.7	
66.1	9.0	6.7	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.2	
72.8	9.5	6.4	18.4	18.7	19.0	19.3	19.6	19.9	20.2	20.4	20.7	21.0	21.3	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8	
80.0	10.0	6.1	18.8	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.9	21.2	21.5	21.8	22.1	22.4	22.8	23.1	23.4	
88.0	10.5	5.9	19.2	19.5	19.9	20.2	20.5	20.8	21.1	21.5	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.4	23.7	24.0	
96.7	11.0	5.6	19.7	20.0	20.4	20.7	21.0	21.4	21.7	22.0	22.4	22.7	23.0	23.4	23.7	24.1	24.4	24.7	
106.3	11.5	5.3	20.2	20.6	20.9	21.3	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0	23.4	23.7	24.1	24.4	24.8	25.1	25.5	
117.0	12.0	5.0	20.8	21.2	21.5	21.9	22.3	22.6	23.0	23.4	23.8	24.1	24.5	24.9	25.2	25.6	26.0	26.4	
128.9	12.5	4.7	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0	23.4	23.8	24.2	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.2	27.6	
142.3	13.0	4.5	22.2	22.6	23.0	23.4	23.8	24.2	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.2	27.6	28.0	28.4	
157.4	13.5	4.2	23.0	23.4	23.9	24.3	24.8	25.2	25.6	26.1	26.5	27.0	27.4	27.9	28.3	28.8	29.2	29.6	
174.6	14.0	3.9	23.9	24.4	24.9	25.3	25.8	26.3	26.8	27.3	27.7	28.2	28.7	29.2	29.6	30.1	30.6	31.1	
194.4	14.5	3.6	25.0	25.5	26.0	26.5	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.1	31.7	32.2	32.7	
217.4	15.0	3.3	26.3	26.8	27.4	27.9	28.5	29.0	29.6	30.2	30.7	31.3	31.8	32.4	32.9	33.5	34.0	34.6	
244.4	15.5	3.1	27.8	28.4	29.0	29.6	30.2	30.8	31.4	32.0	32.6	33.2	33.8	34.4	35.0	35.6	36.2	36.8	
276.7	16.0	2.8	29.6	30.2	30.9	31.6	32.2	32.9	33.5	34.2	34.9	35.5	36.2	36.9	37.5	38.2	38.9	39.5	

27912

Diário da República, 2.ª série — N.º 122 — 26 de Junho de 2008

2003 — Nomeado perito institucional para a área de ambiente, junto da Comissão de Avaliação das propostas do concurso público internacional para a concessão rodoviária, em regime de portagem sem cobrança ao utilizador (SCUT), na ilha de S. Miguel.

2002 — Acompanhamento da elaboração do Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares dos Açores, promovido pela Direcção Regional do Ambiente dos Açores.

1998-1999 — Representante da Direcção Regional do Ambiente no grupo de trabalho para a elaboração do «Quality Status of the Wider Atlantic, OSPAR -Region V», no âmbito da Convenção OSPAR.

1998 — Participação na elaboração do Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos dos Açores, promovido pela Direcção Regional do Ambiente dos Açores.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO

Direcção-Geral de Energia e Geologia

Aviso n.º 18670/2008

Faz-se público, nos termos e para efeitos do n.º 1 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 88/90, de 16 de Março, que CORBÁRIO — Minerais Industriais, S. A., requereu a atribuição de direitos de prospecção e pesquisa de depósitos minerais de caulino, numa área localizada no concelho de Pombal, delimitada pela poligonal cujos vértices se indicam seguidamente, em coordenadas Hayford-Gauss, referidas ao Ponto Central:

Área total do pedido: 5,5207 km²

Vértice	Meridiana (m)	Perpendicular (m)
1	- 47184,0103	32683,7006
2	- 46655,9210	35237,5556

Vértice	Meridiana (m)	Perpendicular (m)
3	- 44600,7455	35299,2275
4	- 44902,7066	32738,4384

Convidam-se todos os interessados a apresentar reclamações, por escrito e devidamente fundamentadas, no prazo de 30 dias a contar da data da publicação do presente Aviso.

O pedido está patente para consulta, dentro das horas de expediente, na Direcção de Serviços de Minas e Pedreiras da Direcção-Geral de Energia e Geologia, na Av.ª 5 de Outubro, 87, 5.º andar, 1069-039 Lisboa, entidade para quem devem ser remetidas as reclamações.

4 de Junho de 2008. — O Subdirector-Geral, *Carlos A. A. Caxaria*.
300440245

Despacho n.º 17313/2008

Nos termos da alínea a) do n.º 2 do artigo 19.º do Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, do SGCE — Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, o presente despacho procede à publicação dos factores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis seleccionados para utilização final, bem como dos respectivos factores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO₂ equivalente (kgCO₂e).

Para efeitos deste Despacho, as quantidades e características das diferentes formas de energia consideradas devem ser verificadas à entrada da instalação CIE.

Nestes termos, estabelece-se o seguinte:

1 — Com base nos dados constantes da Tabela de Conversão incluída no Anexo II da Directiva 2006/32/CE publicada no Jornal Oficial da União Europeia de 27 de Abril de 2006, e do Quadro 4 da Decisão da Comissão n.º 2007/589/CE, de 18 de Julho, são adoptados para efeitos deste Despacho os factores de conversão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Poderes Caloríficos Inferiores e Factores de Emissão para Combustíveis

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO ₂ e/GJ)	FE (kgCO ₂ e/tep)
Antracite	26,7	0,638	98,2	4111,4
Betume / Alcatrão	40,2	0,96	80,6	3374,6
Biogasolina e Biodiesel	27	0,645	0	0,0
Briquetes de lignite	20	0,478	101,1	4232,9
Briquetes de turfa	16 — 16,8	0,382 — 0,401	105,9	4433,8
Carvão betuminoso	25,8	0,616	94,5	3956,5
Carvão sub-betuminoso	18,9	0,451	96,0	4019,3
Carvão vegetal	29,5	0,705	0	0,0
Combustível para motor (gasolina)	44 — 45	1,051 — 1,075	69,2	2897,3
Coque de Carvão	28,2	0,674	94,5	3956,5
Coque de forno / lignite ou gás	28,2 — 28,5	0,674 — 0,681	107	4479,9
Coque de Petróleo	31 — 32,5	0,740 — 0,776	97,5	4082,1
Etano	46,4	1,108	61,6	2579,1
Fuelóleo pesado	40 — 40,4	0,955 — 0,965	77,3	3236,4
Fuelóleo	41,2	0,984	77,3	3236,4
Gás de Alto Forno	2,5	0,060	259,4	10860,6
Gás de coqueria e de fábricas de Gás	38,7	0,924	44,7	1871,5
Gás de forno de aceria a oxigénio	7,1	0,170	171,8	7192,9
Gás de petróleo liquefeito	46 — 47,3	1,099 — 1,130	63,0	2637,7
Gás de Refinaria	49,5	1,182	51,3	2147,8
Gás natural (superior a 93 % de metano)	47,2 — 48	1,127 — 1,146	56,1	2348,8
Gás natural liquefeito	44,2 — 45,2	1,056 — 1,080	64,1	2683,7
Gás natural (L)	45,1	1,077	64,1	2683,7
Gases de aterro/lamas de depuração e outros biogases	50,4	1,204	0	0,0
Gasóleo / Diesel	42,3 — 43,3	1,010 — 1,034	74,0	3098,2
Hulha	17,2 — 30,7	0,411 — 0,733	97,5	4082,1
Lignite castanha	5,6 — 10,5	0,134 — 0,251	101,1	4232,9
Lignite negra	10,0 — 21	0,239 — 0,502	101,1	4232,9
Lubrificantes, ceras parafínicas e outros produtos Petrolíferos	40,2	0,960	73,3	3068,9
Madeira / resíduos de Madeira	13,8 — 15,6	0,330 — 0,373	0	0,0
Matérias-primas para refinaria	43	1,027	73,3	3068,9
Metano	50	1,194	54,9	2298,6
Monóxido de Carbono	10,1	0,241	155,2	6497,9
Nafta química / Condensados de gasolina	44,5	1,063	73,3	3068,9
Óleo de xisto	38,1	0,910	73,3	3068,9

Figura L.1- Despacho n.º 17313/2008 de 15 de Abril.

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO ₂ e/GJ)	FE (kgCO ₂ e/tep)
Óleos usados	40,2	0,960	73,3	3068,9
Orimulsão	27,5	0,657	76,9	3219,6
Outra biomassa primária sólida	11,6	0,277	0	0,0
Outros biocombustíveis Líquidos	27,4	0,654	0	0,0
Pelletes / briquetes de madeira	16,8	0,401	0	0,0
Petróleo Bruto	42,3	1,01	73,3	3068,9
Querosene	43,8	1,046	71,8	3006,1
Resíduos Industriais	7,4 — 10,7	0,177 — 0,256	142,9	5982,9
Turfa	7,8 — 13,8	0,186 — 0,330	105,9	4433,8
Xisto betuminoso	8 — 9	0,191 — 0,215	106,6	4463,1

(1) Peso específico do Gás Natural é de 0,8404 kg/m³N

Na tabela anterior, PCI (MJ/kg) é o poder calorífico inferior do combustível expresso em mega-Joule (MJ) por quilograma (kg), PCI (tep/t) é o poder calorífico inferior do combustível expresso em toneladas equivalente petróleo (tep) por tonelada (t), FE (kgCO₂e/GJ) é o factor de emissão de gases de efeito de estufa (ex: CO₂) expresso em quilogramas de CO₂ equivalentes por energia libertada pelo combustível em giga-Joule (GJ) e FE (kgCO₂e/tep) é o factor de emissão de gases de efeito de estufa expresso em quilogramas de CO₂ equivalentes por energia libertada pelo combustível em toneladas equivalente petróleo (tep).

2 — Para outros combustíveis primários sólidos, líquidos ou gasosos não referidos explicitamente na tabela do ponto anterior e aos quais estes também não possam ser equiparados, é usada a seguinte expressão que transforma o valor do poder calorífico inferior (PCI) do combustível de MJ/kg para tep/t:

$$PCI (tep/t) = \frac{PCI (MJ/kg)}{41,868}$$

Esta expressão considera a conversão termodinâmica de tep em MJ utilizada pela Agência Internacional da Energia (1 tep = 41 868 MJ).

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica, por emissão dos gases com efeito de estufa, para outros combustíveis primários sólidos, líquidos e gasosos não referidos explicitamente na tabela do ponto anterior e aos quais estes também não possam ser equiparados, deverão ser utilizados os valores de referência de factor de emissão (FE) de, respectivamente, 96, 73 e 59 kgCO₂e/GJ.

3 — A electricidade, o vapor e outros fluidos térmicos são formas de energia resultantes da transformação de fontes de energia primária. Assim, a conversão para tep da energia eléctrica e da energia térmica do vapor e de outros fluidos térmicos gerados por fornecedores externos tem que ter em conta o rendimento do processo de transformação.

3.1 — Para a energia eléctrica, a conversão considera o rendimento eléctrico médio ($\eta_{eléctrico}$) das centrais termoeléctricas que usam combustíveis fósseis. Nestes termos, a conversão de kWh de energia eléctrica para tep é dada pela fórmula:

$$Energia eléctrica (tep/kWh) = \frac{\eta_{eléctrico}}{86 \times 10^4}$$

Para efeitos deste Despacho e de acordo com o Anexo II da Directiva 2006/32/CE, o valor de $\eta_{eléctrico}$ é igual a 0,4, pelo que 1 kWh = 215 x 10⁴ tep.

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se que o factor de emissão associado ao consumo de electricidade é igual a 0,47 kgCO₂e/kWh, de acordo com o estabelecido na Portaria n.º 63/2008 de 21 de Janeiro, 1.ª série.

3.2 — Para o vapor, a conversão considera o rendimento térmico médio ($\eta_{térmico}$) das caldeiras utilizadas actualmente na geração de vapor, sendo dada por:

$$Energia do vapor (tep/t) = \frac{Entalpia específica do vapor (MJ/kg)}{\eta_{térmico} \times 41,868}$$

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se que o factor de emissão associado ao consumo de vapor é igual a:

Factor de Emissão para o consumo de vapor (kgCO₂e/GJ) = 65,05 / $\eta_{térmico}$

Para efeitos deste despacho, o valor de $\eta_{térmico}$ para as caldeiras de geração de vapor é igual a 0,9, pelo que 1 GJ de vapor consumido = 72,3 kgCO₂e.

3.3 — Para outros fluidos térmicos, a conversão considera o rendimento térmico médio da unidade de produção, sendo dada por:

$$Energia do fluido (tep/t) = \frac{Calor útil (MJ/kg)}{\eta_{térmico} \times 41,868}$$

O calor útil é definido como a diferença entre a energia térmica recebida do fornecedor e a devolvida.

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se que o factor de emissão associado ao consumo de fluido térmico é igual a:

Factor de Emissão para o consumo de fluido térmico (kgCO₂e/GJ) = 65,05 / $\eta_{térmico}$

Para efeitos deste despacho, o valor de $\eta_{térmico}$ para geradores de fluido térmico é igual a 0,9, pelo que 1 GJ de fluido térmico consumido = 72,3 kgCO₂e.

4 — Todas as situações que se encontrem fora do âmbito do presente Diploma, deverão ser apresentadas e comprovadas à Direcção-Geral de Energia e Geologia, que após análise emitirá um despacho.

O presente despacho entra em vigor à data da sua publicação no Diário da República.

3 de Junho de 2008. — O Subdirector-Geral, *Bento de Morais Sarmento*.

Direcção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo

Despacho n.º 17314/2008

Carlos Armando Martins de Azevedo Morais, técnico especialista principal, posicionado no escalão 2, índice 560, da carreira técnica do quadro de pessoal da Direcção Regional de Lisboa e Vale do Tejo do ex-Ministério da Economia, constante do mapa III anexo à Portaria n.º 443/99, de 18 de Junho, nomeado, por reclassificação profissional ao abrigo das disposições constantes do Decreto-Lei n.º 497/99, de 19 de Novembro, na categoria de técnico superior principal, escalão 2, índice 560, da carreira técnica superior, em lugar vago do mesmo quadro de pessoal.

Foi dado cumprimento às disposições legais constantes dos artigos 34.º e 41.º da Lei n.º 53/2006, de 7 de Dezembro, designadamente, através de processo de procedimento de selecção para reinício de funções por tempo indeterminado, P20080679/SigaME, publicitado em 14 de Fevereiro de 2008.

17 de Junho de 2008. — A Directora Regional, *Elisabete Velez*.

Região de Turismo do Alto Minho (Costa Verde)

Aviso n.º 18671/2008

Por despacho da Comissão Executiva da Região de Turismo do Alto Minho, de 7 de Abril de 2008, foi ratificado o pedido de licença sem vencimento por um ano renovável até 3, ao abrigo do n.º 1 do artigo 76.º do Decreto-Lei n.º 100/99, alterado pelo Decreto-Lei n.º 169/2006, de 17 de Agosto, a Maria Aurora Botão Pereira do Rego, Técnica Superior Principal, como Bolsista da Fundação da Ciência e Tecnologia, com efeitos a 01 de Abril de 2008.

7 de Abril de 2008. — O Presidente, *Francisco José Torres Sam-paio*.

300449861

Figura L.1- Despacho nº 17313/2008 de 15 de Abril (continuação).

Tabela L.2 - Análise aos gases de combustão no ano de 2009 (15 de Junho de 2009).

TEST:	DATE:	TIME:	NATURAL GAS
TEST: NATURAL	11/06/09	00:14	00:00
CONVERT % C			0.000
LOSS (PPM)			0.000
LOSS (X)			0.000
CO2 %			10.400
INLET C			10.400
AMBIENT C			4.000
CO/CO2			0.000
INDEX			0.000
INDEX			0.000
O2 Ref %			0
TEST: NATURAL	11/06/09	00:12	00:00
CONVERT % C			0.000
LOSS (PPM)			0.000
LOSS (X)			0.000
CO2 %			10.400
INLET C			10.400
AMBIENT C			4.000
CO/CO2			0.000
INDEX			0.000
INDEX			0.000
O2 Ref %			0
TEST: NATURAL	11/06/09	00:10	00:00
CONVERT % C			0.000
LOSS (PPM)			0.000
LOSS (X)			0.000
CO2 %			10.400
INLET C			10.400
AMBIENT C			4.000
CO/CO2			0.000
INDEX			0.000
INDEX			0.000
O2 Ref %			0
TEST: NATURAL	11/06/09	00:06	00:00
CONVERT % C			0.000
LOSS (PPM)			0.000
LOSS (X)			0.000
CO2 %			10.400
INLET C			10.400
AMBIENT C			4.000
CO/CO2			0.000
INDEX			0.000
INDEX			0.000
O2 Ref %			0
TEST: NATURAL	11/06/09	00:04	00:00
CONVERT % C			0.000
LOSS (PPM)			0.000
LOSS (X)			0.000
CO2 %			10.400
INLET C			10.400
AMBIENT C			4.000
CO/CO2			0.000
INDEX			0.000
INDEX			0.000
O2 Ref %			0

Tabela L.3- Valores de PCS do gás natural no mês de Dezembro de 2009.

Data	Consumo M3	Valor PCS	Consumo kWh
01-12-2009	0	11,73206200	0
02-12-2009	4.063	11,78197400	48.106
03-12-2009	4.848	11,79769500	57.175
04-12-2009	5.132	11,84585900	60.773
05-12-2009	1.097	11,84993100	12.999
06-12-2009	0	11,80266200	0
07-12-2009	0	11,77808400	0
08-12-2009	0	11,74821800	0
09-12-2009	3.246	11,83998600	38.433
10-12-2009	4.065	11,86702900	48.239
11-12-2009	4.180	11,84510600	49.931
12-12-2009	1.311	11,81174500	15.616
13-12-2009	0	11,82150700	0
14-12-2009	3.076	11,83110000	36.392
15-12-2009	4.114	11,81723200	48.616
16-12-2009	4.147	11,80002100	49.349
17-12-2009	3.981	11,80010100	47.374
18-12-2009	4.817	11,89105400	57.279
19-12-2009	1.203	11,89089100	14.305
20-12-2009	0	11,83376400	0
21-12-2009	3.286	11,88049900	39.039
22-12-2009	4.016	11,88614200	48.091
23-12-2009	3.554	11,84211600	42.205
24-12-2009	890	11,83380900	10.532
25-12-2009	0	11,86766400	0
26-12-2009	0	11,85786500	0
27-12-2009	0	11,85102300	0
28-12-2009	0	11,85693900	0
29-12-2009	0	11,86210300	0
30-12-2009	0	11,86878100	0
31-12-2009	0	11,84539500	0
31-12-2009	61.086 m³		724.494 kWh

Nota: O PCS vem expresso em kWh/m³.

Tabela L.4 - Perdas por convecção e radiação de uma caldeira operando à capacidade nominal. [29]

Potência da caldeira, MW	Perdas, %
0 - 2	2,0
2 - 5	1,6
> 5	1,4

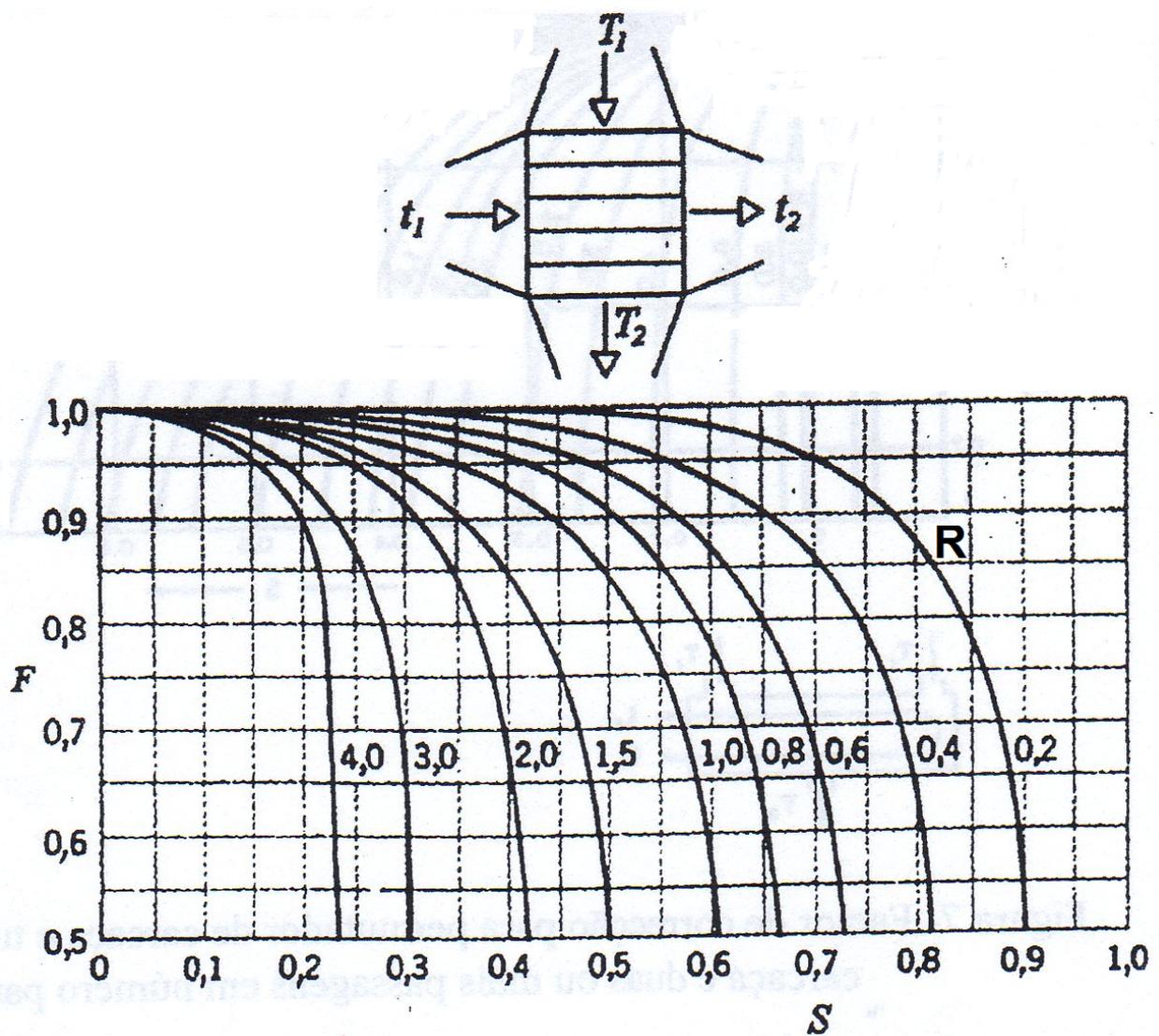
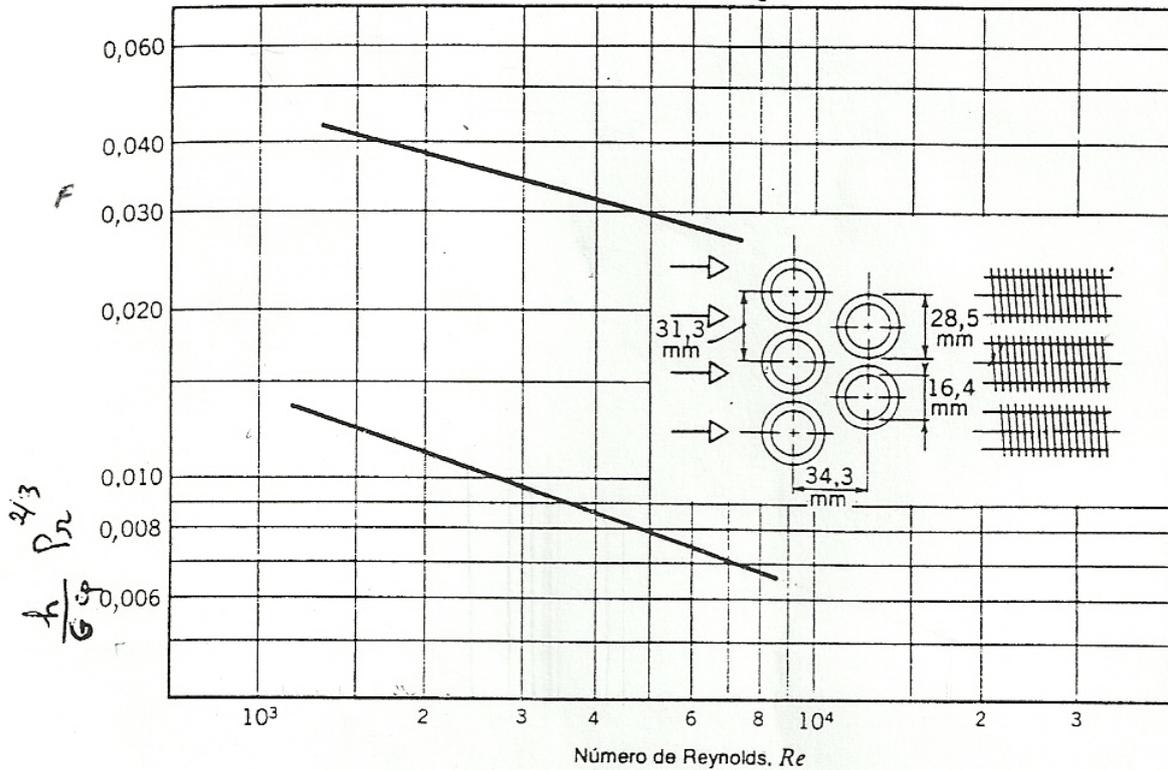


Figura L.2- Factor de corecção para um permutador de fluxo cruzado, com uma passagem, um dos fluidos misturados e outro não misturado.[17]



Diâmetro externo dos tubos, $D_o = 16,4$ mm
 Passo das aletas = 275 por metro
 Diâmetro hidráulico do canal de escoamento, $D_h = 6,68$ mm
 Espessura das aletas, $t = 0,254$ mm
 Área do escoamento livre/área frontal, $\sigma = 0,449$
 Área de transferência de calor/volume total, $\alpha = 269$ m²/m³
 Área das aletas/área total, $A_f/A = 0,830$
 Nota: A área mínima do escoamento livre está nos espaços transversais à corrente.

Figura L.3- Características permutador compacto com aletas circulares. [18]

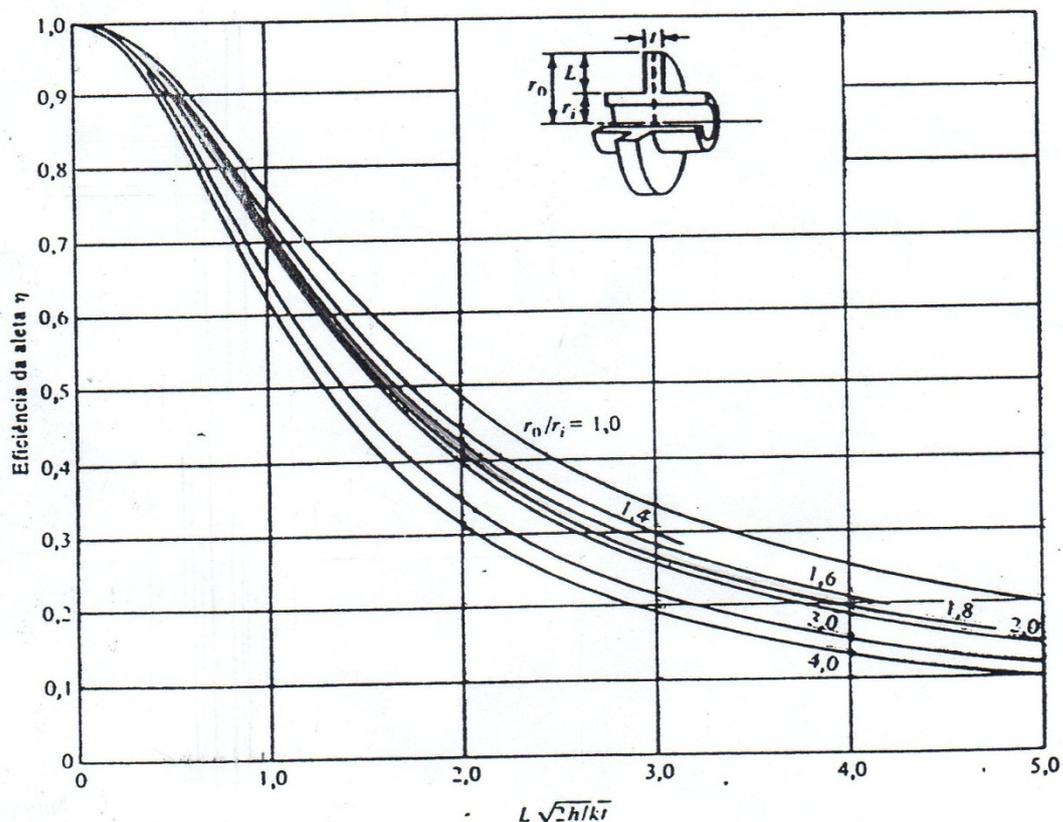
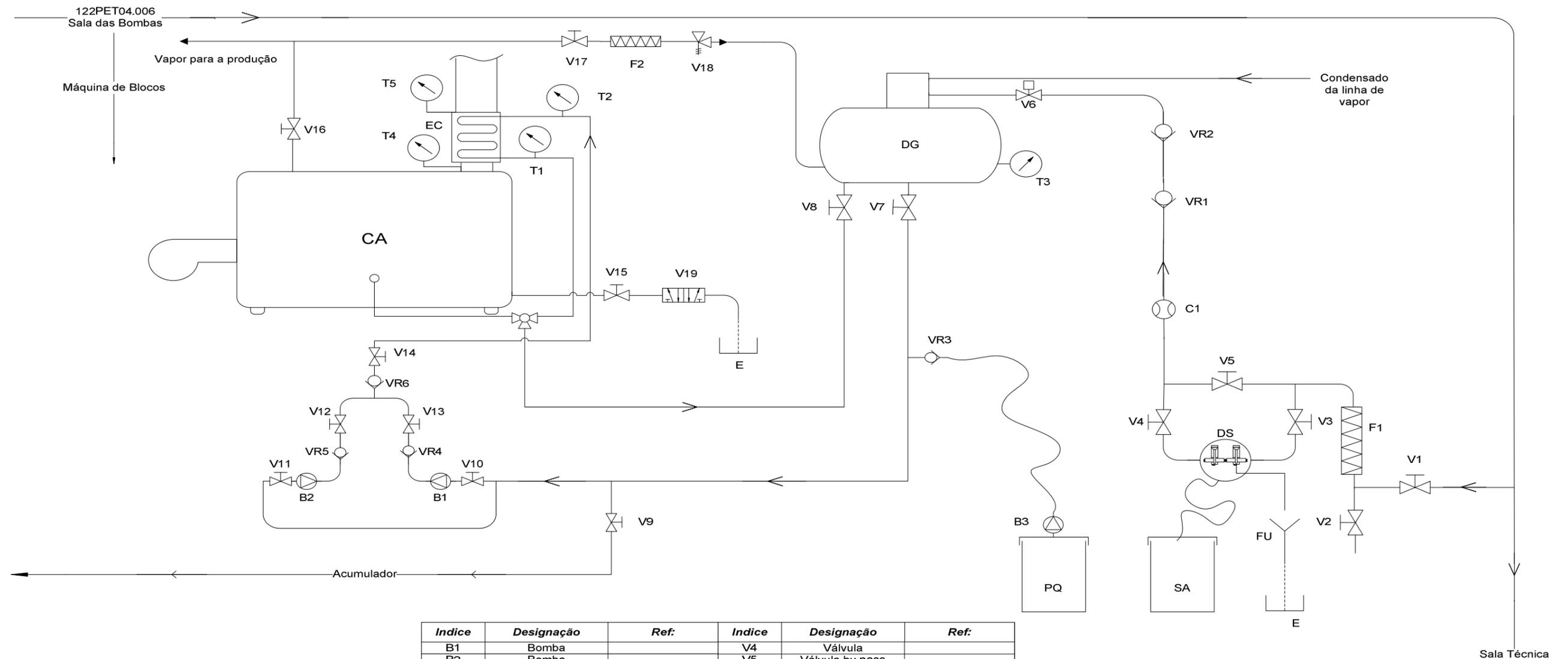


Figura L.4- Eficiência de alhetas em forma de disco circular de espessura constante. [18]

Parâmetro	Pressão, MPa					
	< 2	2 a 3	3 a 5	5 a 7,5	7,5 a 10	> 10
pH, Sorënsen, a 25°C	7 a 9	7 a 9	8 a 9,5	8,5 a 9,5	8,5 a 9,5	8,5 a 9,5
Oxigénio, mg O ₂ /L	<0,1	<0,1	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01
Ferro, mg Fe/L	<0,1	<0,05	<0,03	<0,02	<0,01	<0,01
Cobre, mg Cu/L	<0,05	<0,03	<0,02	<0,02	<0,01	<0,005
Dureza, mg CaCO ₃ /L	<0,3	<0,2	<0,1	<0,05	<0,01	<0,005
Condutividade, μS/cm	<300	<100	<50	<20	<5	<2

Tabela L.5- Normas de qualidade para água de alimentação a caldeiras. [29]

M. Esquema da sala da Caldeira



Índice	Designação	Ref:	Índice	Designação	Ref:
B1	Bomba		V4	Válvula	
B2	Bomba		V5	Válvula by-pass	
B3	Bomba Doseadora		V6	Válvula Electropneumática	
CA	Caldeira		V7	Válvula	
C1	Contador		V8	Válvula	
DS	Descalcificador		V9	Válvula	
DG	Desgaseificador		V10	Válvula	
EC	Economizador		V11	Válvula	
E	Esgoto		V12	Válvula	
F1	Filtro		V13	Válvula	
F2	Filtro		V14	Válvula	
FU	Funil		V15	Válvula	
PQ	Produto Químico		V16	Válvula	
SA	Salmoura		V17	Válvula	
T1	Termómetro		V18	Válvula Redutora de Pressão	
T2	Termómetro		V19	Válvula Pneumática	
T3	Termómetro		VR1	Válvula de Retenção	
T4	Termómetro		VR2	Válvula de Retenção	
T5	Termómetro		VR3	Válvula de Retenção	
V1	Válvula		VR4	Válvula de Retenção	
V2	Válvula		VR5	Válvula de Retenção	
V3	Válvula		VR6	Válvula de Retenção	

Obs:

 petibol embalagens de plástico s.a. desenho@petibol.pt	Título: Sala da Caldeira		Material: ISO 128
	Desenhado a: 19/06/2010	Nome: Márcia Silva	Código: 122PET04.007
	Verificado a:	Doc: Original A3	
	Aprovado a:		

Figura M.1- Esquema da sala da caldeira.

N. Esquema actual do circuito actual da água da Petibol

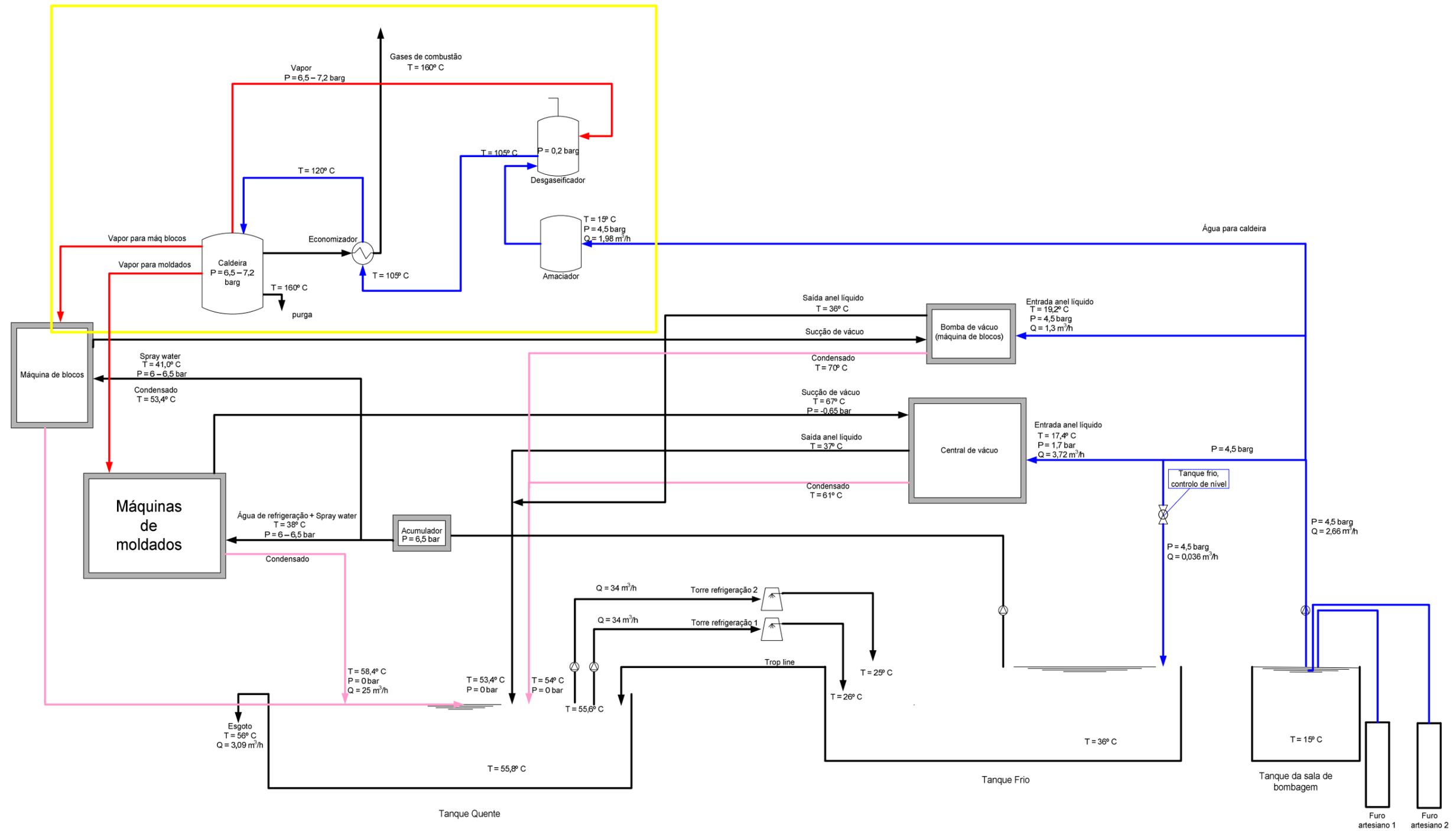


Figura N.1- Esquema actual do circuito da água da Petibol.

O. Esquema das alterações propostas na sala da caldeira

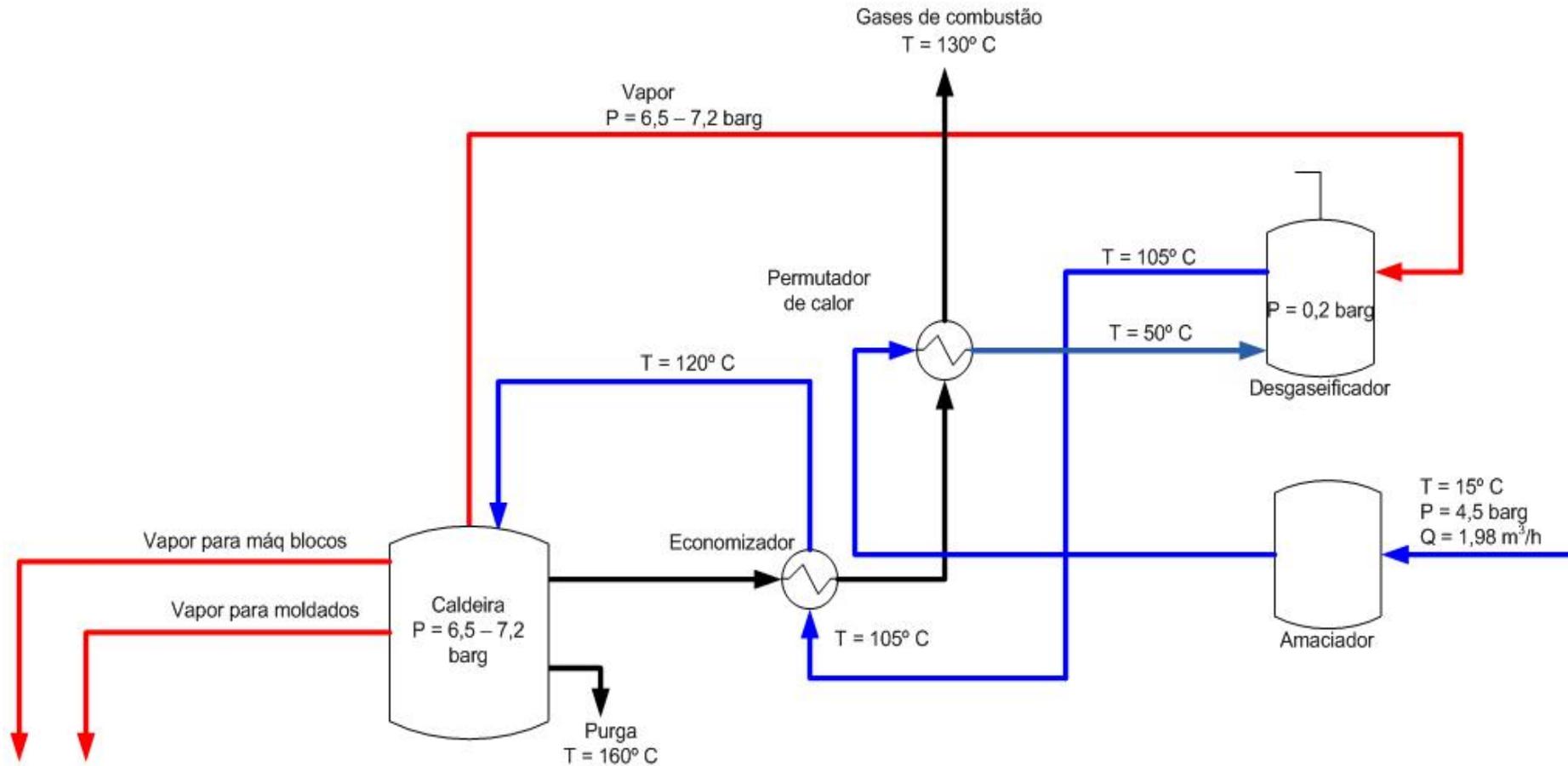


Figura O.1- Esquema das alterações propostas na sala da caldeira.