

Avaliação da Eficiência Energética numa Indústria de Colas

Pedro António Ribeiro Vieira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José Luís Alexandre

Orientadora na Empresa: Eng^a Carla Barbosa



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Janeiro de 2019

“To live is to risk it all,
Otherwise you’re just an inert chunk
of randomly assembled molecules drifting
wherever the Universe blows you”

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a avaliação energética numa empresa de produção, comercialização, investigação e desenvolvimento de colas, a Colquímica Adhesives. O projeto surge do interesse da empresa em diminuir a sua pegada ecológica e redução dos seus custos energéticos, bem como da motivação própria de ajudar o ambiente na procura de soluções mais eficientes e sustentáveis o que toca à energia.

De forma a verificar as possíveis debilidades da Colquímica neste aspeto, é feita uma análise ao processo produtivo e uma auditoria energética à empresa. Todo o trabalho foi elaborado com base em dados obtidos no local, quer fornecidos pela empresa, com vista a caracterizar os consumos energéticos da fábrica e dos subsectores da produção. Após o conhecimento setorial de consumos energéticos, foi efetuado um levantamento de oportunidades de redução dos consumos energéticos.

Do trabalho efetuado, verificou-se um consumo global de 1027,8 toneladas equivalentes de petróleo (tep), das quais 769,2 tep correspondem ao consumo de eletricidade e 331,64 tep correspondem ao consumo de gás natural. A fonte energética gasolina e gasóleo não foram considerados na análise devido ao seu peso reduzido em relação às duas fontes de energia referidas.

Finalmente, as medidas de melhoria encontradas apontam para uma redução significativa dos consumos energéticos, possibilitando a redução do consumo de energia de 139,9 tep.

Energy Efficiency in glue production

Abstract

This thesis goal is the energetic evaluation of a company that produces, commercializes, research and develops glue, Colquímica Adhesives. The projects born within the company interest to diminish carbon footprint and cost reduction in energy, and also from the self-motivation to help the environment on the search for more efficient and sustainable solutions in terms of energy.

In order to verify possible weaknesses in Colquímica in this aspect, is conducted an analysis to the production process and an energy audit. All work was elaborated based on data collected locally and provided by the company, in order to characterize energetic consumption on the factory and production subsectors. After the sectorial knowledge of energetic consumption, was proceeded a verification on opportunities for energy consumption reduction.

From the elaborated study, it has been verified a global consumption of 1027,8 tons of equivalent oil, which 769,2 correspond to electricity consumption and 331,64 correspond to natural gas. Gasoil and Gasoline as energy sources were not considered in the study due to their irrelevant weight compared to the two referred energy sources.

Finally, the improvement measures founded point to a significant reduction of final consumption, allowing to save 139,9 tons of equivalent oil.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, desejo agradecer à Colquímica Adhesives pela oportunidade de realizar o estágio, que tão bem me recebeu. Quero agradecer em particular à Engenheira Carla Barbosa, a orientadora na empresa, pela grande ajuda em tudo o que foi preciso, pela dedicação ao projeto e pelas conversas, à Engenheira Rita Santiago pela enorme disponibilidade no processo de inserção na empresa, e ao Engenheiro Vítor Nunes pelo acompanhamento e aconselhamento.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer à FEUP, ao departamento de Engenharia Mecânica da FEUP e em especial ao Professor José Luís Alexandre, o orientador da dissertação na FEUP, pela grande ajuda no processo de inserção na empresa e por me incentivar a aprender mais e ser uma pessoa com mais conhecimentos.

Por último, mas não menos importante, um grande obrigado aos meus familiares, amigos e namorada pela enorme motivação e esperança que depositaram em mim. Um obrigado especial aos meus pais, Agostinho e Vitória, pelo enorme esforço que fizeram para eu estar onde estou hoje, à minha irmã Vitória, futura engenheira mecânica da FEUP, pelos bons momentos, e à minha namorada, Martinha, pela grande paciência e pelo carinho.

Índice de Conteúdos

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2. A Colquímica Adhesives e a eficiência de energia	2
1.3. Objetivos do projeto	3
1.4. Metodologia	4
1.5. Estrutura da dissertação	5
Capítulo 2 - A Eficiência Energética na Indústria	6
2.1. Conceito	6
2.2. Enquadramento Nacional e Internacional	7
2.3. Auditoria energética e a norma 50001	10
2.4. Medidas transversais e setoriais de eficiência energética	11
Capítulo 3 - O Processo Produtivo	13
3.1. Etapas do processo produtivo	13
3.2. Serviços auxiliares à produção	17
Capítulo 4 - Auditoria Energética	20
4.1. Macro auditoria de energia	20
4.2. Micro auditoria de energia	26
4.3. Medidas de eficiência apresentadas na auditoria SGCIE	30
Capítulo 5 - Medidas de Racionalização de Energia	31
5.1. Introdução de metodologias de procedimento nas linhas de produção	31
5.2. Melhoria da eficiência de arrefecimento das BP	33
5.3. Carregamento noturno das baterias dos empilhadores	36
5.4. Instalação de uma microturbina hídrica	38
5.5. Aquecimento de AQS utilizando calor dissipado	40
5.6. Instalação de um Chiller de Absorção	43
5.7. Alteração do esquema da central de água fria	49
Capítulo 6 – Conclusão e trabalhos futuros	51
Referências Bibliográficas	53
Anexos	55

Índice de Figuras

FIGURA 1-1: RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ E A SUBIDA DA TEMPERATURA TERRESTRE (CLIMATE CENTRAL, 2019).....	1
FIGURA 1-2: PLANEAMENTO DA EXECUÇÃO DAS TAREFAS PROPOSTAS NOS OBJETIVOS.....	4
FIGURA 2-1:PREVISÃO DOS CENÁRIOS DA EMISSÃO DE GEE (BCSD PORTUGAL, 2019)	6
FIGURA 2-2:HISTÓRICO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTUGAL POR FONTE DE ENERGIA (IEA, 2019)	7
FIGURA 2-3:DISTRIBUIÇÃO PERCENTAL DAS FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA NOS PAISES DA OCDE (IEA, 2016) .	8
FIGURA 2-4:METAS UE PARA 2020 E RESPETIVOS EIXOS DE ATUAÇÃO DA ENE 2020 (IAPMEI, ADENE, & LNEG, 2012)	8
FIGURA 2-5:HISTORIAL DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA POR SETOR EM PORTUGAL (IEA, 2016)	9
FIGURA 3-1: ESQUEMA GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO.....	13
FIGURA 3-2-ARMAZÉM DAS MATÉRIAS PRIMAS DAS COLAS.....	14
FIGURA 3-3:REATORES DA COLA E RESPETIVA COLA EM MATURAÇÃO	14
FIGURA 3-4:TANQUES DE VAZAMENTO DAS BP.....	14
FIGURA 3-5:BIG PILLOWS E RESPETIVAS PISCINAS DE ARREFECIMENTO.....	15
FIGURA 3-6:SMALL PILLOWS E RESPETIVO CIRCUITO DE ARREFECIMENTO.	15
FIGURA 3-7:COLA EM PASTILHA RESPETIVO PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA POSTERIOR CORTE.....	16
FIGURA 3-8:COLA EM PÉROLA E REPETIVA MÁQUINA DE EMBALAMENTO	16
FIGURA 3-9:ARMAZENAMENTO DE PRODUTO ACABADO	16
FIGURA 3-10:CENTRAL DO CIRCUITO HIDRÁULICO	17
FIGURA 3-11:CALDEIRA E RESPETIVO QUEIMADOR DO CIRCUITO DE TERMOFLUIDO	17
FIGURA 3-12:ESQUEMA DO CIRCUITO DE ÁGUA FRIA.....	18
FIGURA 3-13:ESQUEMA DO CIRCUITO DE ÁGUA REFRIGERADA PARA AS SP E BP.....	18
FIGURA 3-14:CENTRAL DE AR COMPRIMIDO	19
FIGURA 4-1:PERCENTAGEM DOS CONSUMOS, EMISSÕES E CUSTOS DAS FONTES DE ENERGIA EM 2016.....	21
FIGURA 4-2:HISTÓRICO MENSAL DO CONSUMO ELÉTRICO DIVIDIDO PELO HORÁRIO DE CONSUMO EM 2016 (A. RAMALHÃO, 2017)	22
FIGURA 4-3:CONSUMO ENERGÉTICO EM FUNÇÃO DE PRODUTO PRODUZIDO EM 2016 (A. RAMALHÃO, 2017)	22
FIGURA 4-4:PERCENTUAL DOS CONSUMOS, EMISSÕES E CUSTOS DAS FONTES DE ENERGIA EM 2017	23
FIGURA 4-5: HISTÓRICO MENSAL DO CONSUMO ELÉTRICO DIVIDIDO PELO HORÁRIO DE CONSUMO EM 2017	24
FIGURA 4-6:COMPARAÇÃO ENTRE 2016 E 2017 DA REPARTIÇÃO DE CONSUMO ELÉTRICO POR HORÁRIO	24
FIGURA 4-7: CONSUMO ENERGÉTICO EM FUNÇÃO DE PRODUTO PRODUZIDO EM 2017	25
FIGURA 4-8:EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO ELÉTRICA UTILIZADO NA COLQUÍMICA (FLUKE, 2019)	26
FIGURA 4-9:ESQUEMA DA CENTRAL DE AGUA FRIA/REFRIGERADA E ZONAS DE MAIOR CONSUMO.....	27
FIGURA 5-1: DIAGRAMA DO HISTÓRICO DA POTÊNCIA CONSUMIDA NA LINHA BP2	32
FIGURA 5-2: CORRELAÇÃO DO U _G EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ESTÁGIO E DA TEMPERATURA INICIAL.....	33
FIGURA 5-3: INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA TEMPERATURA DA ALMOFADA	34
FIGURA 5-4: RELAÇÃO DA POTÊNCIA DE FRIO DO CHILLER COM A TEMPERATURA DA ÁGUA DE ARREFECIMENTO E GELADA.....	35
FIGURA 5-5:SISTEMA ATUAL DE PÁS (ESQUERDA) E SISTEMA IDEALIZADO DE BARREIRA (DIREITA).....	35
FIGURA 5-6: HORÁRIO DE CARREGAMENTO E UTILIZAÇÃO DAS NOVAS BATERIAS	36
FIGURA 5-7:TURBINA FRANCIS ESCOLHIDA PARA O ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE QUEDA DE ÁGUA (HS DYNAMIC, 2019).....	38
FIGURA 5-8:DESENHO TÉCNICO DA TURBINA ESCOLHIDA PARA O ESTUDO (HS DYNAMIC, 2019).....	39
FIGURA 5-9: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM CHILLER DE ABSORÇÃO (YAZAKI ENERGY SYSTEMS, 2019)	43
FIGURA 5-10: ESQUEMA DE CONTROLO DE TEMPERATURA DA COLA NA EXTRUSÃO	44
FIGURA 5-11: ESQUEMA DA INSTALAÇÃO DE APROVEITAMENTO DO CALOR DISSIPADO	45
FIGURA 5-12:ESQUEMA DO PERMUTADOR GASES DE ESCAPE/ÁGUA COM CONDENSAÇÃO (HOVAL, 2019)	47
FIGURA 5-13: ESQUEMA PROPOSTO PARA A GERAÇÃO DE ÁGUA GELADA	49

FIGURA 6-1:HISTÓRICO DO PREÇO DA ELETRICIDADE (ERSE, 2019)(EDITADO)	52
FIGURA A-0-1: APARATO EXPERIMENTAL E PONTOS OBTIDOS.....	55
FIGURA A-0-2:REPARTIÇÃO DIÁRIA POR HORÁRIO DE CONSUMO ELÉTRICO (EDP, 2019)	58
FIGURA A-0-3: CURVA DE FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS DA TORRE DE EVAPORAÇÃO (VARISCO, 2019)	58

Índice de Tabelas

TABELA 2-1:SÍNTESE DE MEDIDAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (DE SÁ, 2010).....	7
TABELA 2-2:OBRIGAÇÕES LEGAIS DAS EMPRESAS CONSUMIDORAS INTENSIVAS DE ENERGIA (SGCIE, 2019)	10
TABELA 2-3:MEDIDAS TRANSVERSAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (MAGUEIJO, ET AL., 2010).....	11
TABELA 2-4:MEDIDAS SETORIAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (MAGUEIJO, ET AL., 2010).....	12
TABELA 3-1:ZONAS DE ARREFECIMENTO DA CENTRAL DE ÁGUA FRIA	18
TABELA 4-1:CONSUMO ENERGÉTICO, EMISSÕES E CUSTO DAS FONTES DE ENERGIA EM 2016 (A. RAMALHÃO, 2017)	20
TABELA 4-2- FATORES DE EMISSÃO, CONVERSÃO DE UNIDADES E PREÇO DAS FONTES ENERGÉTICAS DA COLQUÍMICA (A. RAMALHÃO, 2017).....	21
TABELA.4-3:INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM 2016 (A. RAMALHÃO, 2017)	23
TABELA.4-4:CONSUMO ENERGÉTICO, EMISSÕES E CUSTO DAS FONTES DE ENERGIA EM 2017	23
TABELA 4-5: INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM 2017	25
TABELA 4-6:CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA CALDEIRA (A. RAMALHÃO, 2017).....	26
TABELA 4-7:EQUIPAMENTOS DE CONSUMO ENERGÉTICO NA CENTRAL DE ÁGUA FRIA/GELADA (A. RAMALHÃO, 2017)	27
TABELA 4-8: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MOTORES DA CENTRAL HIDRÁULICA (A. RAMALHÃO, 2017)	28
TABELA 4-9:REGISTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO	28
TABELA 4-10:CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS COMPRESSORES (A. RAMALHÃO, 2017).....	29
TABELA 4-11:CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO (A. RAMALHÃO, 2017).....	29
TABELA 4-12:MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO PROPOSTAS NA AUDITORIA SGCIE (A. RAMALHÃO, 2017).....	30
TABELA 5-1: ESTIMATIVA DA ENERGIA POUPADA AO DESLIGAR AS MÁQUINAS NO PERÍODO SEM PRODUÇÃO	32
TABELA 5-2-ANÁLISE ECONÓMICA DA CRIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS NAS LINHAS	32
TABELA 5-3: ANÁLISE ECONÓMICA DO CARREGAMENTO NOTURNO DE BATERIAS	37
TABELA 5-4: CÁLCULO DA POTÊNCIA ELÉTRICA CONSIDERANDO A TUBAGEM ATUAL E IDEAL.....	38
TABELA 5-5: ANÁLISE ECONÓMICA DO RETORNO COM A TUBAGEM ATUAL E IDEAL	39
TABELA 5-6: PONTOS DE DISSIPAÇÃO E CONSUMO DE CALOR PARA AQS	40
TABELA 5-7: NECESSIDADES DE CALOR PARA AQS	41
TABELA 5-8: ANÁLISE ECONÓMICA DA UTILIZAÇÃO DE CALOR DISSIPADO PARA AQS	42
TABELA 5-9: CARACTERÍSTICAS DAS FONTES DE CALOR A USAR NUM SISTEMA DE ABSORÇÃO	44
TABELA 5-10:CARACTERÍSTICAS DO PERMUTADOR DE GASES DE ESCAPE COM CONDENSAÇÃO (HOVAL, 2019)	47
TABELA 5-11:POUPANÇA DECORRENTE DA INSTALAÇÃO DO CHILLER DE ABSORÇÃO	48
TABELA 5-12: PREÇO DE TODA A INSTALAÇÃO E RETORNO DO INVESTIMENTO REALIZADO.....	48
TABELA 5-13: COMPARAÇÃO DO COP E DA ENERGIA CONSUMIDA DOS DOIS ESQUEMAS EM ESTUDO	50
TABELA 5-14: POUPANÇA REALIZADA NA ALTERAÇÃO DO ESQUEMA DE ARREFECIMENTO.....	50
TABELA 6-1: SÍNTESE DAS MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA ANALISADAS	51
TABELA A-0-1: CÁLCULO DO RÁCIO AR-COMBUSTÍVEL EXISTENTE NA CALDEIRA.....	56
TABELA A-0-2: IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS COMUNS ÀS DUAS TUBAGENS EM ESTUDO	57
TABELA A-0-3: CARACTERÍSTICAS DAS DUAS TUBAGENS E RESPECTIVO CÁLCULO DE PERDA DE CARGA	57

Nomenclatura

Variável	Significado	Unidades
A_{alm}	Área de transferência de calor da almofada de cola	m^2
A_{PC}	Área do permutador de Calor	m^2
$c_{p_{\text{água}}}$	Calor específico da água	$kJ/kg^{\circ}C$
$c_{p_{\text{cola}}}$	Calor específico da cola	$kJ/kg^{\circ}C$
COP_{global}	Coefficiente de performance global dos chillers	---
COP_i	Coefficiente de performance do chiller i	---
$cos\varphi$	Fator de potência da instalação	---
f	Fator de atrito	---
g	Aceleração gravítica	m/s^2
h_{perdas}	Perda de pressão manométrica total na tubagem	m
h_{util}	Altura útil de queda de água	m
I_i	Intensidade de corrente da fase i	Amp
K_{curva}	Coefficiente de perda de carga na curva da tubagem	---
L_{tubo}	Comprimento da tubagem	m
$\dot{m}_{AQS}$	Caudal de consumo de AQS	Kg/s
$\dot{m}_{\text{cola}}$	Caudal de cola	Kg/s
m_{cola}	Massa da cola	kg
mca	Metros de coluna de água	m
$\dot{m}_{\text{gases}}$	Caudal dos gases de combustão à saída da caldeira	Kg/s
n_{curvas}	Numero de curvas da tubagem	---
$\dot{P}_{ele_i}$	Potência elétrica nominal do chiller i	kW
$Q_{\text{água}}$	Calor ganho pela água	kJ
$\dot{Q}_{AQS}$	Potência de aquecimento de AQS	kW
$\dot{Q}_{\text{chiller}}$	Potência de arrefecimento do chiller	kW
Q_{cola}	Calor cedido pela cola	kJ
$\dot{Q}_{\text{gases}}$	Calor cedido pelos gases de combustão	kW
Re	Numero de Reynolds	---
r_{curva}	Raio de curvatura das curvas da tubagem	m

Variável	Significado	Unidades
T_{alm}	Temperatura da almofada de cola	°C
$T_{chiller, arref}$	Temperatura da água de arrefecimento do chiller	°C
$T_{chiller, frio}$	Temperatura de saída da água gelada do chiller	°C
$T_{nível 2}$	Temperatura da almofada ao chegar ao nível 2	°C
$T_{piscina}$	Temperatura da água da piscina	°C
$T_{sai, nível}$	Temperatura da almofada à saída do nível	°C
$t_{estágio}$	Tempo de estágio da almofada na piscina	s
$U_{g, alm}$	Coeficiente global de TC da almofada	W/m ² °C
U_i	Tensão na fase i	Volts
U_{PC}	Coeficiente global de TC do permutador de calor	W/m ² °C
$\dot{V}_{água}$	Caudal de água que retorna da torre de evaporação	m ³ /s
v_{tub}	Velocidade da água na tubagem	m/s
Δh	Perda de pressão manométrica na tubagem	m
ΔP	Perda de pressão na tubagem	Pa
ΔT_{AQS}	Variação da temperatura das AQS desde a rede ao consumo	°C
ΔT_{cola}	Variação da temperatura da cola no permutador de extrusão	°C
ΔT_{gases}	Variação da temperatura dos gases de combustão	°C
ΔT_{ML}	Diferença de temperaturas média logarítmica	°C
$\Delta T_{nível}$	Diferença de temperatura da almofada entre dois níveis	°C
ϕ_i	Diâmetro interno da tubagem	m
ε	Rugosidade da tubagem	m
$\rho_{água}$	Massa volúmica da água	Kg/m ³
$\mu_{água}$	Viscosidade da água	Pa·s
$\eta_{elétrico}$	Rendimento elétrico da instalação	---
$\eta_{turbina}$	Rendimento hidráulico da turbina	---
$\eta_{gerador}$	Rendimento do gerador da turbina	---
$\eta_{inversor}$	Rendimento do inversor de corrente	---

Siglas

AIE – Agência Internacional de Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BP – *Big Pillows*

CE – Consumo anual de energia em toneladas equivalentes de petróleo

CEE – Consumo Específico de Energia

CO₂ – Dióxido de Carbono

ENE2020 – Estratégia Nacional para a Energia 2020

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

EER - Rácio de eficiência de energia

FEE – Fundo de Eficiência Energética

GEE - Gases de efeito de estufa

GPL – Gás Liquefeito de petróleo

IE – Intensidade Energética

ISO – *International Organization for Standardization*

I&D – Investigação e Desenvolvimento

Mtoe – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PNAAE – Plano nacional de ação para a eficiência energética

PNAC – Plano de Ação para as Alterações Climáticas

PPEC - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

SGE – Sistema de Gestão de Energia

SP – *Small Pillows*

TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo

TC – Transferência de Calor

UE – União Europeia

VAB – Valor anual Bruto

VEV – Variador eletrónico de velocidade

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Enquadramento do projeto e motivação

A situação energética mundial surge como um dos maiores problemas do nosso tempo, uma vez que a principal fonte de energia para suprimir as necessidades da humanidade provém de combustíveis fósseis. A dependência deste recurso acarreta dois grandes problemas: por um lado, estamos a suprimir necessidades energéticas com um recurso não renovável, o que faria colapsar a sociedade caso o seu consumo se mantivesse aquando do seu término.

Por outro lado, o consumo do combustível fóssil liberta GEE (nomeadamente CO_2), que tem como consequência a subida da temperatura global, a qual se prevê desastrosa para o mundo tal como o conhecemos: subida do nível da água, destruição de habitats e de espécies, escassez de recursos fundamentais como a água (e consequentemente, os alimentos), entre outros efeitos.

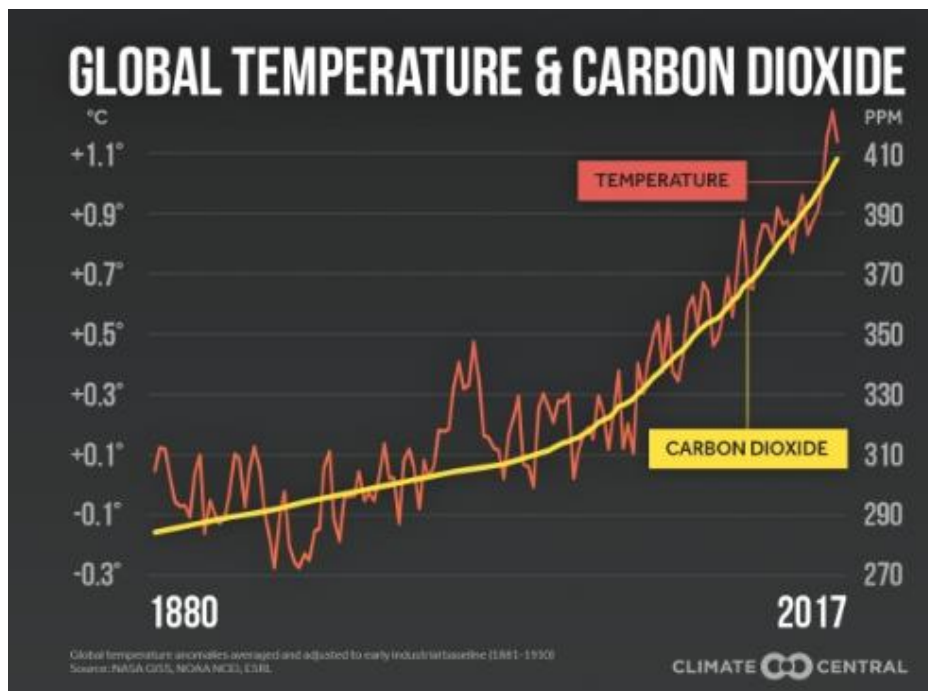


Figura 1-1: Relação entre a concentração de CO_2 e a subida da temperatura Terrestre (Climate Central, 2019)

A mudança do paradigma energético é fundamental para a sobrevivência da vida na Terra, e para tal deve-se abolir os combustíveis fósseis como fonte de energia à sociedade. Tal deve ser conseguido por duas vias: por um lado, incrementar a presença de fontes de energia renovável no mix energético, e por outro lado, reduzir o consumo atual de energia, utilizando a energia de forma mais eficiente, seja nas habitações e edifícios, nos transportes, ou na indústria.

No caso específico da indústria, existe uma grande margem para poupar energia, uma vez que este setor alberga enormes consumos de forma contínua e localizada, onde um pequeno investimento pode traduzir-se numa grande poupança energética. A indústria interessa-se cada vez mais pela eficiência energética pelos seguintes motivos:

- Redução de custos: com o preço da energia a subir drasticamente nos últimos anos, a energia tem um peso cada vez mais influente nas despesas das empresas.
- Obrigações legais: as empresas cujo consumo supera os 500 tep/ano têm que realizar auditorias energéticas de forma a reduzir os seus consumos. Existem ainda obrigações legais no que toca às emissões poluentes.
- Preocupação da sociedade: ser uma empresa amiga do ambiente é cada vez mais um fator valorizado na sua gestão. Assim, as empresas estão mais suscetíveis ao ambiente, incluindo normas como a ISO 14001 (norma de gestão ambiental) ou a ISO 50001 (norma da gestão de energia).

Assim, o projeto surge da motivação própria de auxiliar esta caminhada a favor de uma economia cada vez mais amiga do ambiente, e do interesse da empresa acolhedora, a Colquímica Adhesives, em melhorar do ponto de vista energético, e beneficiar das vantagens inerentes. De seguida é apresentada em detalhe a Colquímica Adhesives.

1.2. A Colquímica Adhesives e a eficiência de energia

A Colquímica Adhesives é uma empresa dedicada à produção, comercialização e I&D de colas com aplicação em diversas indústrias como colchões, fraldas, rotulagem, papel, entre outras.

A empresa tem início em 1953 por João António Koehler, denominada por JAKoehler,LDA. Em 1972 é pioneira em Portugal na produção de cola hot-melt e alguns anos mais tarde, abre os seus mercados para além do mobiliário, como embalagem, rotulagem e produtos de higiene pessoal. Em 1989 é contruída uma nova fábrica com capacidade de produção de 5000 toneladas por ano. Em 2000 a taxa de exportação atinge os 70% e em 2009 são inauguradas as novas instalações em Suzão, e em 2013 inaugura uma fábrica na Polónia. Atualmente, a Colquímica produz 65.000 toneladas de colas industriais e tem presença em mais de cinquenta países (Colquímica Adhesives, 2019)

Dentro da empresa, o departamento diretamente ligado, ou mais próximo da problemática energética é o da qualidade, ambiente, higiene e segurança. Este departamento olha para a eficiência energética como uma solução para os seguintes problemas:

- Obrigação legal: O departamento de qualidade, ambiente, higiene e segurança é responsável por realizar uma auditoria energética imposta por lei. A empresa é obrigada a reduzir o seu consumo nos próximos seis anos após a auditoria em 6% da energia primária medida nessa auditoria.
- Custos: A indústria da cola é altamente dependente dos produtos petrolíferos como matéria prima das colas. Assim, com o custo destes produtos a aumentar juntamente com o custo da energia, a empresa vê-se obrigada a poupar na fatura energética.

1.3. Objetivos do projeto

O objetivo principal deste trabalho é identificar soluções que permitam aumentar a eficiência energética do processo produtivo da empresa em causa, através de uma lista de ações com o objetivo de reduzir o consumo energético sem afetar a produção

Para o efeito, é efetuada uma análise energética às infraestruturas e processo produtivo (auditoria energética). Relativamente ao processo produtivo, pretende-se compreender todo a cadeia produtiva e respetivos serviços auxiliares. Pretende-se determinar o encandeamento do processo, as variáveis de controlo do processo (tempo, temperaturas, caudais) e conhecer os equipamentos de consumo existentes. No que toca à análise energética, esta divide-se em análise macro e micro: na análise macro contabiliza-se as várias formas de energia globalmente e numa base comum, o tempo, sendo o seu período de análise alargado, normalmente um ano. Já a análise micro foca em detalhe os consumos energéticos num setor ou equipamento, num curto intervalo de tempo.

Uma vez determinados e identificados os processos, os equipamentos, com maior consumo energético, o objetivo passa por encontrar focos de melhoria. São assim sugeridas medidas de racionalização de energia, acompanhadas com o estudo da sua viabilidade, através das seguintes análises:

1. Análise técnica: por um lado, verificar se as características técnicas de equipamentos a instalar, e por outro, calcular a energia possível de poupar.
2. Análise logística: verificar as disponibilidades de espaço, mão de obra, recursos humanos e materiais, horários, condições, entre outros.
3. Análise económica: averiguar os custos associados à respetiva instalação, bem como o retorno esperado do investimento realizado.

1.4. Metodologia

O método seguido foi escolhido com o propósito de atingir os objetivos propostos. No entanto, as medições elétricas foram obtidas durante o estudo das medidas de racionalização de energia.

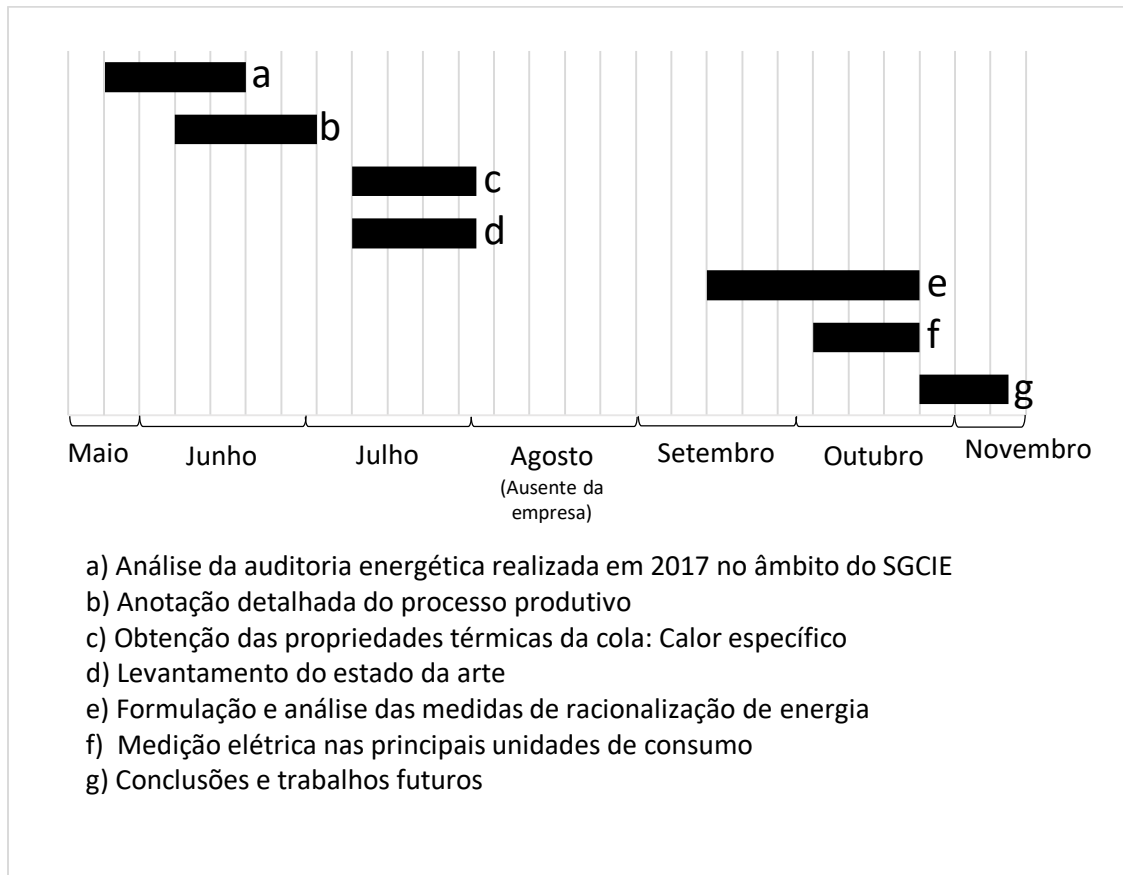


Figura 1-2: Planeamento da execução das tarefas propostas nos objetivos

1.5. Estrutura da dissertação

Neste primeiro capítulo pretende-se enquadrar o tema a desenvolver, dando a conhecer a motivação, a entidade acolhedora, os problemas e desafios da empresa que dão origem à presente dissertação, assim como os objetivos que se pretende atingir.

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica ao tema da eficiência energética, em concreto no setor industrial, por ter características únicas que os distinguem dos demais setores (transportes, habitação, terciário, etc.). Apresenta-se ainda a situação energética atual, bem como das políticas tomadas para mitigar o problema da ineficiência energética industrial.

O terceiro capítulo introduz o trabalho realizado em ambiente empresarial, onde se apresenta o processo produtivo da cola e respetivos serviços que auxiliam este processo. O conhecimento do processo e serviços auxiliares são fatores essenciais para determinar as medidas de racionalização de energia que mais se adequam à Colquímica.

O Quarto capítulo é dedicado à auditoria energética, que se pode entender como uma medição exaustiva dos consumos energéticos por setor. Neste capítulo são abordados, por um lado, a auditoria realizada à empresa em 2017 fruto da obrigação legal, e por outro lado, a auditoria realizada aquando da realização da dissertação.

O capítulo cinco é dedicado à formulação e estudo de viabilidade técnica, logística e económica de medidas para incrementar a eficiência energética.

O capítulo seis encerra a dissertação, concluindo acerca dos resultados obtidos e de trabalhos futuros a realizar neste âmbito.

Capítulo 2 - A Eficiência Energética na Indústria

2.1. Conceito

Há uma clara diferença entre conservação e eficiência energética: A conservação energética foca-se no utilizador e não no sistema, pelo que se exige ao utilizador que mude os seus hábitos de forma a conseguir uma poupança energética. Um exemplo de conservação energética é a de reduzir a temperatura da habitação no inverno ou utilizar transporte públicos em vez do automóvel. Pelo contrário, a eficiência energética foca-se em alterar o sistema, uma vez que se pretende poupar energia sem alterar os consumos do utilizador, através do incremento da eficiência dos sistemas. Por exemplo, um veículo energeticamente eficiente consome menos combustível que os restantes, mantendo o mesmo nível de conforto, potência e segurança. (Kreith & Goswami, 2007)

Embora distintos, a aplicação destes conceitos leva à redução do consumo de energia, o que se revela imperativo no paradigma energético atual: (Pinho, 2017)

- As necessidades energéticas atuais recorrem aos combustíveis fósseis: as suas reservas são limitadas, os custos de prospeção sobem à medida que se esgotam os locais mais acessíveis de exploração e são libertados gases de efeito de estufa (GEE) na sua queima.
- O consumo energético continua a incrementar fruto da melhoria dos padrões de vida do terceiro mundo e do crescimento populacional a curto prazo.

Assim sendo, para atingir a sustentabilidade, ou seja, a capacidade de satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras, é necessário voltarmo-nos para o incremento da energia de fonte renovável e para a gestão da energia, que engloba os conceitos de conservação e eficiência energética. (de Sá, 2010)

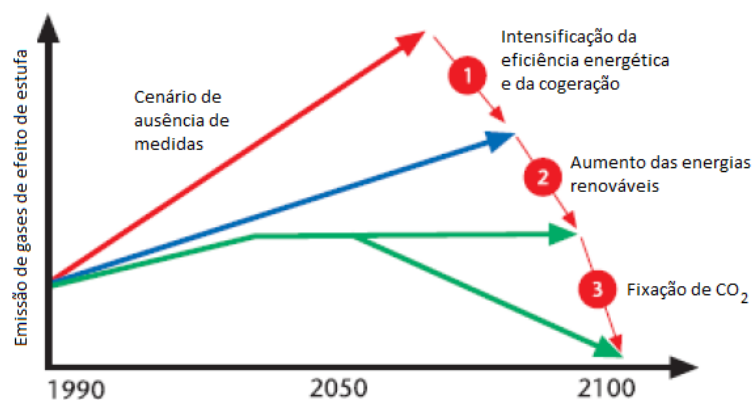


Figura 2-1: Previsão dos cenários da emissão de GEE (BCSD Portugal, 2019)

No caso específico da indústria, não é comum abordar a conservação energética, uma vez que a produção de um produto exige que seja consumida uma determinada quantidade de energia sob a forma final. Caso se tente reduzir a energia a fornecer ao processo, a qualidade dos produtos sai prejudicada. Por outro lado, a eficiência energética faz todo o sentido a ser aplicada à indústria: embora a energia a fornecer ao processo na forma final não deva ser reduzida, a energia que se emprega nos equipamentos para a produção de energia na forma final pode e deve ser reduzida, através das medidas seguintes.

Tabela 2-1: Síntese de medidas para a eficiência energética (de Sá, 2010)

Síntese das medidas para a eficiência energética			
Eliminação de consumos supérfluos	Adaptação funcional de equipamento existente	Recuperação de energia das perdas	Utilização de equipamento de rendimento elevado

2.2. Enquadramento Nacional e Internacional

A AIE, Agencia Internacional de Energia, é um organismo autónomo criado no âmbito da OCDE que desenvolve programas de cooperação energética entre os seus 28 estados membros, inclusive Portugal. A sua publicação com mais destaque é o World Energy Outlook, que analisa os mercados energéticos atuais e faz previsões para o futuro destes. São ainda publicados relatórios com detalhe das políticas energéticas de cada país membro. (IEA, 2019)

Segundo o relatório da AIE das políticas energéticas de Portugal, em 2014 cerca de 75% da energia primária consumida em Portugal era de fontes não renováveis (carvão, gás natural e petróleo). No entanto, o consumo total de energia vem decrescendo, e a presença de energia de fonte renovável está a aumentar (figura 2-2). (IEA, 2016)

Fazendo o enquadramento com os restantes 27 países membros da AIE, em 2014 Portugal tem uma percentagem de consumo de combustíveis fósseis no seu *mix* energético que se aproxima da média destes países, como se verifica na figura 2-3. No entanto, por não possuir centrais nucleares, a percentagem de energia de fonte renovável no *mix* energético é bastante superior à média dos países da OCDE.

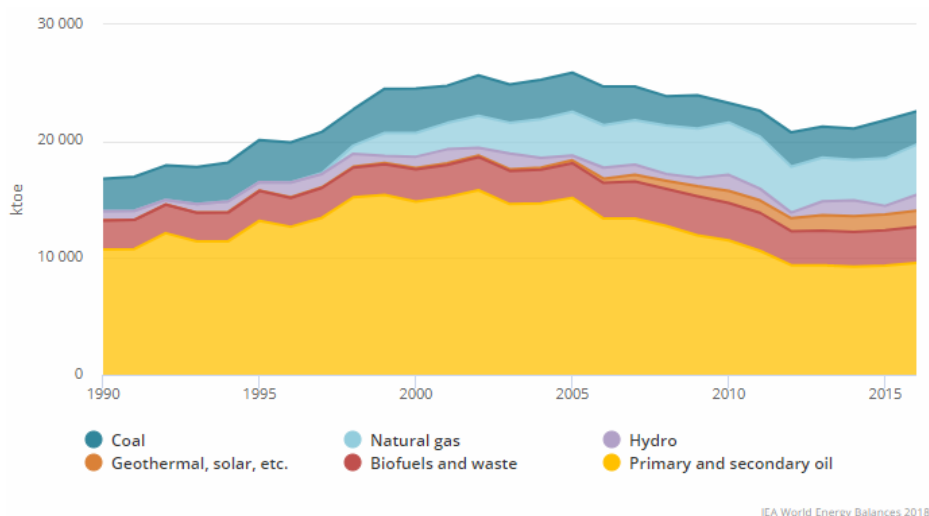


Figura 2-2: Histórico do consumo energético em Portugal por fonte de energia (IEA, 2019)

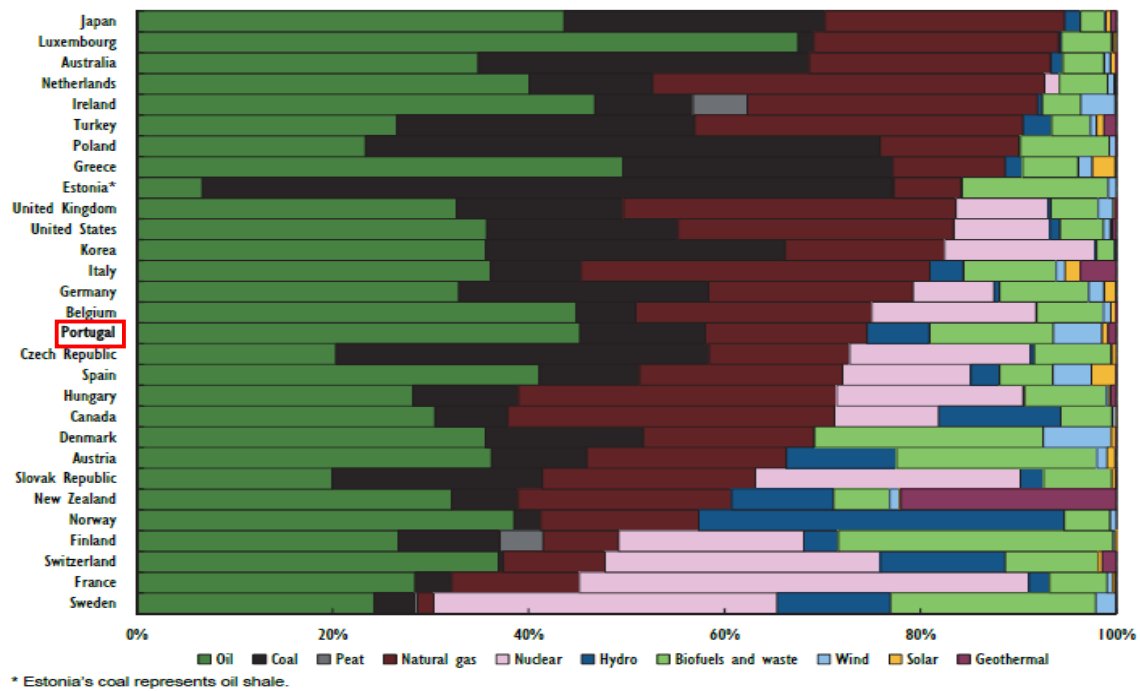


Figura 2-3: Distribuição percental das fontes de energia primária nos países da OCDE (IEA, 2016)

Para combater a dependência nociva dos combustíveis fósseis, a UE tem desenvolvido estratégias energéticas no âmbito da sustentabilidade energética. No âmbito das diretivas da UE na vertente referente à energia e alterações climáticas, estão a ser implementadas em Portugal políticas públicas baseadas na ENE2020 e no PNAC, que definem para 2020, as seguintes metas a atingir e os eixos de atuação para a finalidade. (IAPMEI, ADENE, & LNEG, 2012)

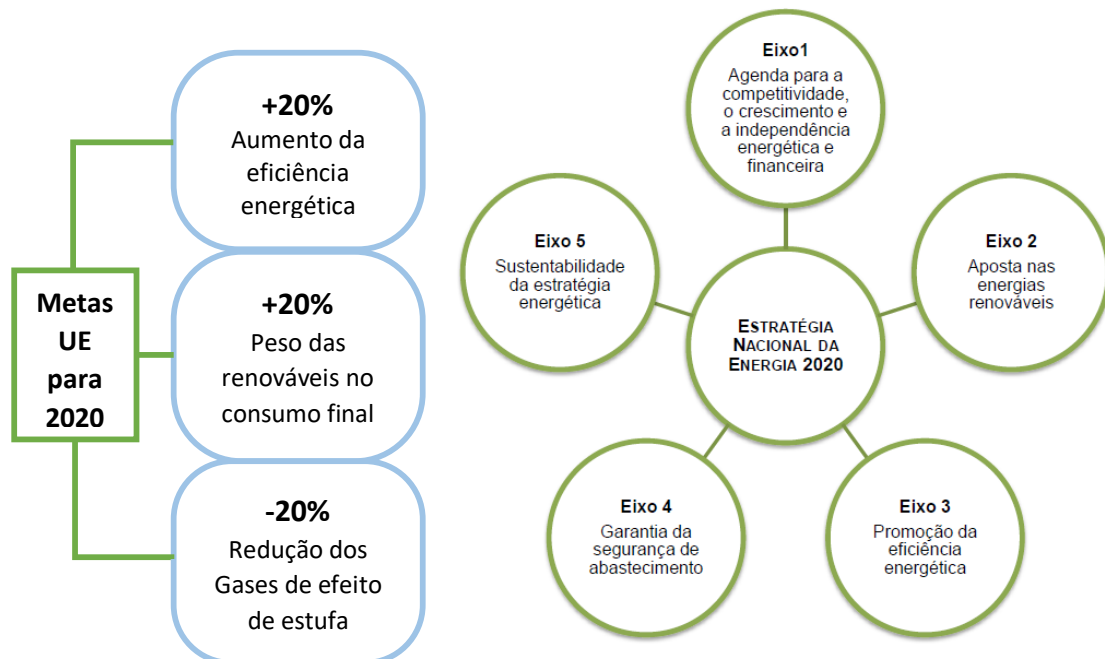
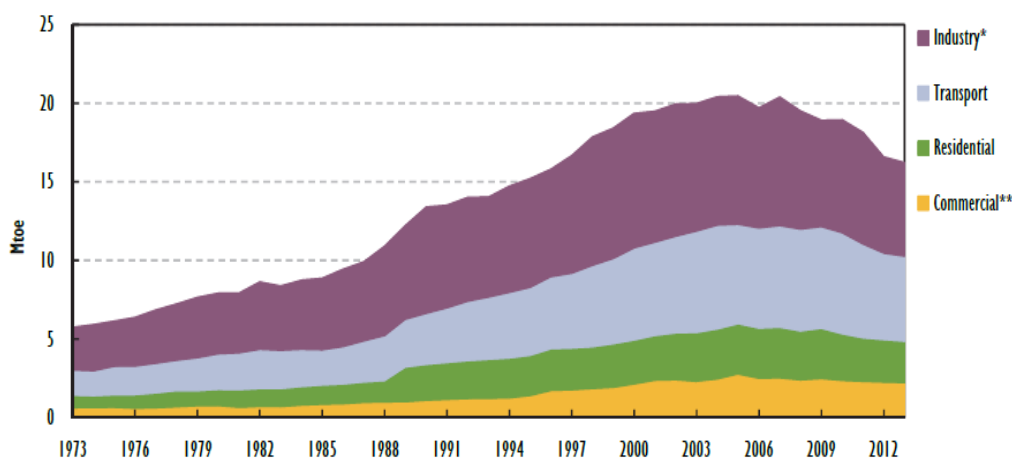


Figura 2-4: Metas UE para 2020 e respetivos eixos de atuação da ENE 2020 (IAPMEI, ADENE, & LNEG, 2012)

O Eixo 3 da ENE2020 (Promoção da eficiência energética) é considerado um dos principais objetivos da política energética nacional e está contemplado no PNAEE que integra as políticas e as medidas de eficiência energética a implementar. O PNAEE reparte as medidas de eficiência energética nos setores dos Transportes, Indústria, Estado e Residencial/Serviços. (IAPMEI, ADENE, & LNEG, 2012)

Conferindo os consumos de energia em Portugal presentes na figura 2-5, observa-se que a indústria e os transportes são os setores de maior consumo: 36,7% e 33,3%, respetivamente. (IEA, 2016) Nesta figura é possível verificar que o consumo na indústria tem vindo a diminuir. Com vista à redução dos consumos energéticos na indústria, apoiado pelo PNAEE, os organismos do estado Português apostaram na criação de medidas, das quais se destacam:

- A criação de financiamento parcial sem reembolso (entre 20% e 50% do valor total) à aquisição de equipamentos mais eficientes. De entre eles, se destacam:
 - O FEE, um fundo lançado pelo PNAEE, que surge das diretivas do parlamento europeu no âmbito da eficiência na utilização final de energia e dos serviços energético, que estipula metas de consumos de energia primária. (PNAEE, 2019)
 - O PPEC, um plano com o objetivo de reduzir os consumos de eletricidade, criado ERSE, a entidade responsável pela regulação dos setores do gás natural, da eletricidade, e do GPL. (ERSE, 2019)
- A criação do SGCIE, que pretende promover a eficiência e monitorização energética de instalações com elevado consumo de energia, através de auditoras energéticas. Regulamentado pelo decreto lei n.º71/2008, o SGCIE estipula que as instalações industriais de elevado consumo energético conduzam periodicamente auditorias energéticas de forma a determinar e minorar os seus consumos através da eficiência energética e inclusão de energias de fonte renovável. (SGCIE, 2019)



* Industry includes non-energy use.

** Commercial includes commercial and public services, agriculture, fishing and forestry.

Figura 2-5: Historial do consumo de energia primária por setor em Portugal (IEA, 2016)

2.3. Auditoria energética e a norma 50001

Uma auditoria energética consiste numa análise pormenorizada de todos os aspetos relacionados com a utilização de energia, de forma a identificar e atuar em sectores que potenciem benefícios no âmbito económico, ambiental e de gestão do processo fabril, no caso de auditorias em âmbito industrial. As auditorias energéticas apresentam um papel que vai ao encontro dos interesses dos operadores das empresas e do ambiente. (Afonso, 2014)

Uma auditoria energética deve ter como objetivo a obtenção de um exame detalhado e exaustivo do processo produtivo, que permita encontrar os sistemas ou equipamentos de consumo de energia com potencial de incremento de eficiência energética, para determinar a escolha do melhor investimento a fazer em poupança e eficiência energética. Por fim, busca-se a melhoria dos processos produtivos auditados, ou seja, *benchmarking* (Afonso, 2014)

De forma a que este processo se concretize nas indústrias de elevado consumo de energia, são atribuídas às empresas auditadas no âmbito do SGCIE metas relativas à eficiência energética, mediante a quantidade de energia consumida anualmente. (SGCIE, 2019)

Tabela 2-2: Obrigações legais das empresas consumidoras intensivas de energia (SGCIE, 2019)

	Consumo energético [tep/ano]	
	Entre 500 e 1000	Superior a 1000
IE	Redução de 4% em 8 anos	Redução de 6% em 6 anos
CEE	Redução de 4% em 8 anos	Redução de 6% em 6 anos
IC	Manter ou diminuir em 8 anos	Manter ou diminuir em 6 anos

$$IE = \frac{CE}{VAB \text{ [€]}} \quad CEE = \frac{CE}{Produção \text{ [ton]}} \quad IC = \frac{Emissões \text{ GEE [KgCO}_2\text{e]}}{CE}$$

Se a empresa considerar como prioridade a racionalização da energia, deve adotar um sistema de gestão de energia, SGE. Este sistema que exige a instalação de equipamento de medição energética com leitura de dados em tempo real. A implementação deste sistema não invalida o cumprimento da lei respetiva ao SGCIE. O objetivo do SGE é a de possibilitar a realização contínua e em tempo real de auditorias energéticas, da qual resultam as seguintes benesses:

- Verificar a relação continua entre a produção e consumo
- Auxílio na decisão do melhor tarifário elétrico a incorporar
- Relacionar os consumos energéticos com outras variáveis: meteorologia, turno operacional das linhas, tipo de produto fabricado, etc.

Para que se consiga a poupança requerida pelo SGCIE, devem ser aplicadas medidas de racionalização energética, sem prescindir do estudo técnico, logístico e económico. De seguida são abordadas as medidas atualmente aplicadas à indústria para o efeito pretendido.

2.4. Medidas transversais e setoriais de eficiência energética

As medidas de eficiência energética podem ser divididas em dois principais blocos: as medidas transversais e as medidas setoriais. As medidas transversais são aquelas podem ser aplicadas a todas as indústrias, uma vez que incidem sobre áreas comuns a praticamente todas elas. No âmbito do PNAEE foram identificadas as medidas transversais passíveis de serem aplicadas no contexto nacional, bem como os potenciais de poupança energética alusivos à sua aplicação. A seguinte tabela condensa essas medidas.

Tabela 2-3: Medidas transversais de eficiência energética (Magueijo, et al., 2010)

Âmbito	Medida/Tecnologia	Poupança total	
		Tep/ano	%
Sistemas acionados por motores elétricos	Otimização de motores	19.115	0,35
	Sistemas de bombagem	2.294	0,04
	Sistemas de ventilação	510	0,01
	Sistemas de compressão	5.161	0,10
	TOTAL	27.080	0,50
Produção de calor e/ou frio	Cogeração	27.000	0,50
	Sistemas de combustão	64.043	1,18
	Recuperação de Calor	72.048	1,34
	Frio industrial	1.338	0,02
	TOTAL	164.429	3,04
Iluminação	TOTAL	1.911	0,04
Eficiência do processo industrial/Outros	Monitorização e controlo	10.554	0,20
	Tratamento de efluentes	2.402	0,40
	Integração de processos	94.986	1,76
	Manutenção de Equipamentos	24.871	0,46
	Isolamentos térmicos	18.012	0,33
	Transportes	48	0,001
	Formação/sensibilização dos recursos humanos	3.166	0,06
	Redução de energia reativa	1.125	0,02
	TOTAL	155.164	2,87
Somatório das medidas		348.584	6,45

Por outro lado, as medidas setoriais exploram as particularidades de cada indústria para tirar proveito das suas especificidades, de forma a que se consiga poupar energia de modos que não são possíveis noutras indústrias. No quadro seguinte são exploradas as medidas indicadas para as indústrias mais presentes em Portugal

Tabela 2-4: Medidas setoriais de eficiência energética (Magueijo, et al., 2010)

Sector	Medida/Tecnologia	Poupança Total Tep/ano
Químicos, Plásticos e Borracha	Novas operações de separação	5.946
	Utilização de novos catalisadores	2.638
	Otimização das destilações	1.757
	TOTAL	9.341
Metalomecânica	Combustão submersa para aquecimento de banhos	70
	Reutilização de desperdícios	
	Otimização de fornos	349
	TOTAL	670 1.089
Madeira e Artigos de Madeira	Transportadores mecânicos e não pneumáticos	11
	Aproveitamento de subprodutos de biomassa	
	Otimização de fornos de secagem contínua	469
	TOTAL	47 527
Cerâmica	Otimização de fornos	5.125
	Melhoria de secadores	591
	Extrusão com secadores	860
	Extrusão dura	1.155
	Otimização de produção de pó para prensagem	997
	Utilização de combustíveis alternativos	
	TOTAL	- 8.728
Vidro	Otimização de fornos	1.034
	Utilização de vidro usado (reciclagem)	2.010
	TOTAL	3.044
Alimentação e Bebida	Otimização da esterilização	2.808
	Processo de separação com membranas	1.354
	Mudança de moinhos horizontais para verticais	1.312
	Destilação sob vácuo	
	TOTAL	768
		6.242

De forma a detetar quais as medidas que melhor se adequam à Colquímica Adhesives, é necessário compreender detalhadamente o processo produtivo. Assim, no próximo capítulo é dedicado exclusivamente à verificação do encandeamento entre processo para a produção da cola, bem como os setores que auxiliem a produção.

Capítulo 3 - O Processo Produtivo

Nesta secção pretende-se dar a conhecer o processo produtivo da cola. O conhecimento das etapas que o constituem é essencial para fazer uma análise crítica do desempenho energético da instalação. É imperativo saber as transformações físicas que ocorrem no processo para concluir acerca da sua eficiência energética. O conhecimento do processo produtivo possibilita:

- A identificação dos equipamentos de consumo e suas especificações técnicas.
- O conhecimento dos parâmetros que influenciam diretamente o consumo de energia.
- A determinação das restrições impostas pela qualidade dos processos.
- Catalogar a energia consumida por forma, duração, potência, etc.

Além de ser apresentada a cadeia do processo, é ainda feita referência aos serviços auxiliares, que são grandes consumidores de energia. Assim, este capítulo dividir-se-á em duas partes:

1. Abordagem ao processo produtivo etapa a etapa.
2. Apresentação dos serviços auxiliares inerentes ao processo.

3.1. Etapas do processo produtivo

De forma a dar uma ideia global do processo produtivo, é apresentado um esquema geral que será aprofundado de seguida.



Figura 3-1: Esquema geral do processo produtivo

3.1.1 Armazenamento de matérias-primas

Inicialmente, as matérias primas são alocadas nos armazéns, separadas por tipologias: polímeros, ceras, resinas, óleos, borrachas, etc. Quando se pretende preparar uma cola, essas matérias-primas são transportadas via empilhadores e/ou operários para os reatores.

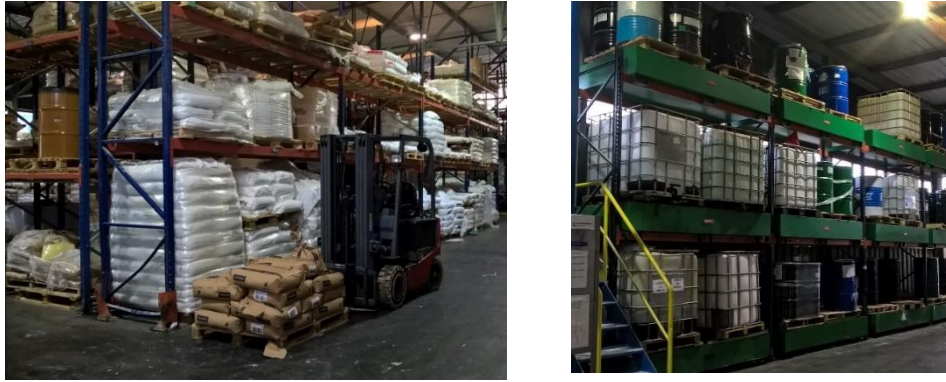


Figura 3-2: Armazém das matérias primas das colas

3.1.2. Reatores

A função dos reatores é produzir um fluido homogêneo a partir dos seus ingredientes base. Para tal, está equipado com um sistema de termofluido para fundir as matérias-primas, um agitador para promover a homogeneização da mistura, e aspiração para remover os compostos voláteis formados na maturação da cola. O tipo de cola a gerar influencia parâmetros como a velocidade de agitação, o tempo de permanência do sistema, a temperatura e os voláteis gerados.



Figura 3-3: Reatores da cola e respetiva cola em maturação

3.1.3. Tanques de vazamento e permutador

Apenas nas linhas de cola em formato de almofadas grandes (big pillows), existem tanques cuja função é armazenar cola para que o reator esteja livre para o próximo lote. Nesta linha, a cola passa ainda por um permutador para a colocar à temperatura correta para a extrusão.



Figura 3-4: Tanques de vazamento das BP

3.1.4. Linhas de produção

As linhas de produção têm como objetivo definir o formato da cola e arrefece-la com recurso a água fria. Existem várias linhas de produção dedicadas a cada formato de cola. De seguida são apresentadas as linhas especializadas para cada tipo de formato.

Big pillows

A cola em formato de almofada grande, as *big pillows*, têm cerca de 700 gramas, na qual a cola é revestida de uma película fina de plástico termo fusível (funde juntamente com a cola aquando da sua utilização). Estas colas tomam forma de pequenos sacos e que depois são arrefecidos em piscinas de água fria. Finalmente são secas, embaladas e seladas por um sistema automático. Existem três linhas dedicadas às *big pillows*.



Figura 3-5: Big Pillows e respetivas piscinas de arrefecimento

Small pillows

As almofadas pequenas, *small pillows*, são idênticas às big pillows, tanto na geometria como no processo de extrusão, diferindo apenas no tamanho e no processo de arrefecimento: uma das linhas usa piscinas e a outra tem um circuito de arrefecimento, como mostra na figura 3.5.



Figura 3-6: Small pillows e respetivo circuito de arrefecimento.

Pastilha

O processo inicia na extrusora, onde a cola é vertida por bocais para um tapete rolante, formando assim fios de cola, que são arrefecidos ao longo do tapete por chuveiros. De seguida, os fios de cola são secos e cortados por um moinho, adquirindo o seu formato.



Figura 3-7: Cola em pastilha respetivo processo de extrusão para posterior corte

Pérola

Inicialmente, a cola é passa através de um molde, do qual surgem vários fios de cola. De seguida, os fios passam por um moinho de corte, que produz o formato de grão. Esses grãos são mergulhados em água gelada e secos posteriormente para embalagem.



Figura 3-8: Cola em pérola e repetiva máquina de embalagem

3.1.5. Armazenamento de produto final

Após o embalagem, o produto é transportado para armazém até ser comercializado.



Figura 3-9: Armazenamento de produto acabado

3.2. Serviços auxiliares à produção

Os serviços auxiliares são todos aqueles serviços que são necessários ao processo produtivo, embora não interajam diretamente neste. São serviços que não servem uma linha de produção em específico, mas sim o conjunto de todas em simultâneo.

3.2.1. Circuito Hidráulico

O circuito hidráulico tem como função fornecer a força motriz aos agitadores do reator. Os motores elétricos alimentam as bombas hidráulicas que pressurizam o óleo do circuito hidráulico, sendo que a cada reator é atribuído um conjunto motor-bomba. Alguns motores têm variador eletrónico de velocidade (VEV), uma vez que a viscosidade da cola vai alterando ao longo do processo, requerendo potências de agitação variáveis.



Figura 3-10: Central do circuito hidráulico

3.2.2. Central térmica

A central térmica tem como função fornecer o calor a um circuito de termofluido, para que este o possa libertar nos reatores ou no permutador antes da extrusão das BP, para elevar até a temperatura da cola até à correta para extrusão.



Figura 3-11: Caldeira e respetivo queimador do circuito de termofluido

3.2.3. Central de água fria/gelada

A central de água fria é constituída por dois tanques distintos (um de água fria ($T=25^{\circ}\text{C}$) e outro de água morna ($T=30^{\circ}\text{C}$)), uma torre de ventilação que arrefece a água morna e retorna-a ao tanque de água fria, e um circuito de arrefecimento. Nesse circuito, a água sai do tanque frio, passa pelas zonas que necessitam de arrefecimento, e volta ao tanque de água morna, como mostra na figura 3-11.

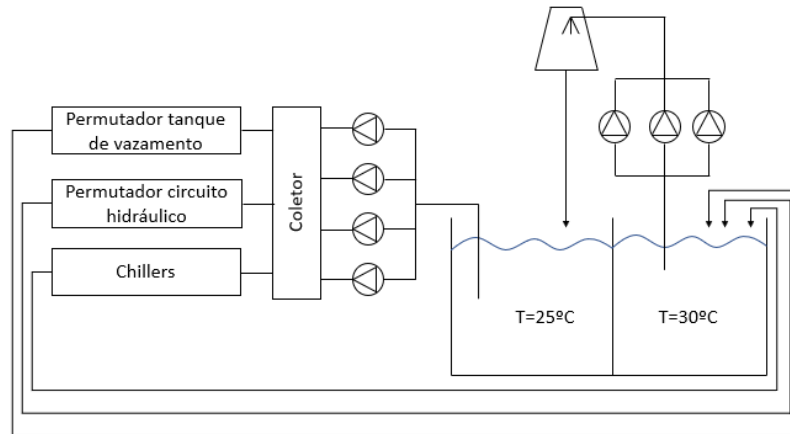


Figura 3-12: Esquema do circuito de água fria

Tabela 3-1: Zonas de arrefecimento da central de água fria

Zona a arrefecer	Função
Permutador circuito hidráulico	Retirar o calor do óleo do circuito hidráulico
Permutador tanques de vazamento	Baixar a temperatura da cola para a extrusão nas BP
Chillers	Arrefecer o gás do circuito de refrigeração

A central de água fria por si só não tem a capacidade de remover a energia calorífica necessária para arrefecer a água das piscinas, que por sua vez arrefecem as colas produzidas. Para o efeito, a empresa dispõe de *chillers* que fornecem água gelada. De seguida é ilustrado o esquema do circuito dos *chillers* para as linhas BP e SP.

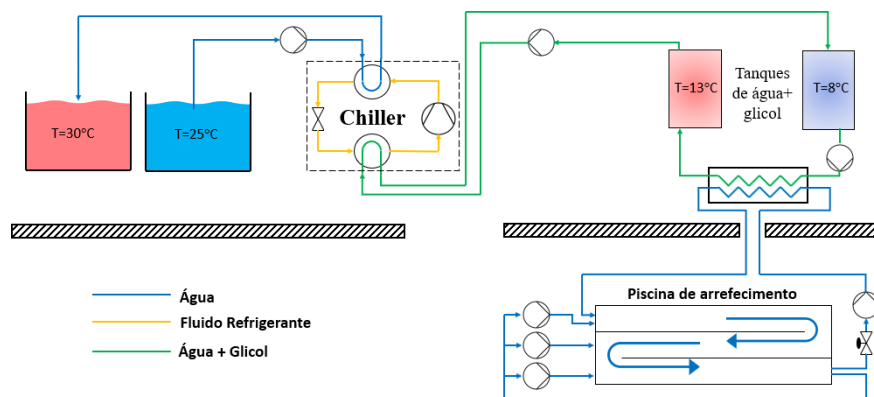


Figura 3-13: Esquema do circuito de água refrigerada para as SP e BP

3.2.4. Central de ar comprimido

A central de ar comprimido abastece várias áreas da empresa, desde pistolas para limpeza, válvulas e atuadores pneumáticos, entre outros serviços. Esta central é constituída por 3 compressores, 3 depósitos de pulmão e 1 secador. Normalmente, apenas um compressor está em funcionamento, exceto quando há sobrecargas.



Figura 3-14: Central de ar comprimido

3.2.5. Edifício Administrativo

O edifício administrativo alberga todos os departamentos necessários ao bom funcionamento da atividade da empresa, bem como um laboratório e um refeitório. Os consumos deste edifício podem ser divididos nas seguintes categorias: AVAC, Iluminação, equipamentos de escritório (computadores, telefones, impressoras), equipamentos do laboratório (balanças, reómetros, estufa), refeitório (fornos, fogões, micro-ondas) e restantes.

3.2.6. Veículos

Os veículos detidos pela empresa podem ser divididos em dois grupos: os veículos de transporte de pessoal/mercadoria fora da Colquímica e veículos de transporte de mercadoria dentro da empresa, dos quais constam os empilhadores e monta-cargas, que são inteiramente elétricos.

3.2.7. Outros

Além dos serviços auxiliares enumerados, existem outros serviços cujo consumo energético singular não é tão significativo, mas o seu conjunto tenha um peso de consumo energético similar aos anteriormente referidos. De entre eles, destacam-se:

- Iluminação: Presente em todas as áreas da empresa
- AQS: Utilizada para banhos dos operários e cantina
- ETAR: Tratamento das águas que circulam nas piscinas

No próximo capítulo será apresentada a auditoria energética, para que seja possível identificar no capítulo seguinte as medidas de eficiência energética e respetiva análise.

Capítulo 4 - Auditoria Energética

Como referido no capítulo 2, uma auditoria energética consiste numa análise pormenorizada de todos os aspetos relacionados com a utilização de energia, de forma a identificar e atuar em sectores que potenciem benefícios económicos e ambientais. (Afonso, 2014)

As auditorias energéticas dividem-se em duas categorias: As macro e as micro auditorias. As macro auditorias focam-se numa análise geral à fábrica, através de um levantamento do consumo energético numa base comum, de forma a conseguir comparar os consumos das várias fontes de energia. As micro auditorias analisam os consumos específicos de zonas da fábrica, de forma a compreender o consumo repartido por todos os setores. Esta informação é vital para enunciar as medidas de eficiência energética mais indicadas para a empresa. Neste capítulo pretende-se explorar os dois tipos de auditorias. (Pinho, 2017)

Assim, numa primeira fase deste estudo, realizar-se-á uma macro auditoria, através de uma análise geral aos consumos de energia em 2016 (ano de referência da Auditoria do SGCIE) e em 2017 (ano de referência da Auditoria realizada na dissertação), fazendo a comparação das duas. Numa segunda fase, pretende-se avaliar a distribuição do consumo energético por setor, ou seja, realizar uma micro auditoria energética. Finalmente, é feita referência à auditoria realizada no âmbito do SGCIE em 2017, focada nas medidas de eficiência energética propostas pela entidade responsável pela Auditoria.

4.1. Macro auditoria de energia

Nesta macro auditoria, os consumos de gasolina, gasóleo e o gás natural consumido na cantina não serão contabilizados, pois o seu peso em relação à eletricidade e ao gás natural da caldeira é desprezável, contabilizando cerca de 1% do total de energia consumida.

4.1.1. Ano de referência de 2016

Na tabela seguinte são apresentados os valores referentes ao consumo energético. No gráfico seguinte é ilustrada a distribuição percentual dos valores apresentados.

Tabela 4-1: Consumo energético, emissões e custo das fontes de energia em 2016 (A. Ramalhão, 2017)

	Consumo de energia		Emissões	Custo	Preço/Kwh
Unidades	Mwh	tep	[Kge CO ₂]	€	€/Kwh
Ele	3727,325	801,3749	1751846	352004	0,094439
GN	4414,345	338,5578	908587,5	145702	0,033006
TOTAL	8141,67	1139,933	2660433	497706	---

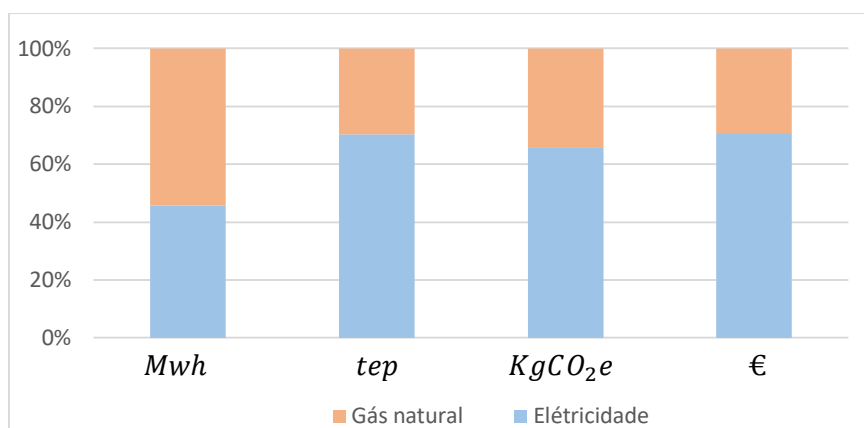


Figura 4-1: Percentagem dos consumos, emissões e custos das fontes de energia em 2016

Embora o consumo energético em MWh de gás natural seja ligeiramente superior ao da eletricidade, o consumo em toneladas equivalente de petróleo (tep) revela que o consumo elétrico é mais de duas vezes superior ao do gás natural. Tal acontece porque o fator de conversão de Mwh para tep é bastante penalizador no caso da eletricidade quando comparado com o gás natural. No entanto, este fator de conversão tem vindo a despenalizar a energia elétrica, porque as fontes de energia renováveis estão a ter uma maior cota no mix energético da rede. (BCSD Portugal, 2019)

Tabela 4-2- Fatores de emissão, conversão de unidades e preço das fontes energéticas da Colquímica (A. Ramalhão, 2017)

	ENERGIA ELÉTRICA	GÁS NATURAL	GASÓLEO	GASOLINA
CONVERSÃO DE UNIDADES	0,215 tep/MWh	0,905 tep/10 ³ Nm ³	0,855 tep/10 ³ lts	0,795 tep/10 ³ lts
FATORES DE EMISSÃO	0,470 kgCO ₂ e/kW 2.186,05 kgCO ₂ e/tep	2.683,70 kgCO ₂ e/tep	3.098,20 kgCO ₂ e/tep	2.897,30 kgCO ₂ e/tep
PREÇO 2016	94,37 €/MWh 438,9 €/tep	0,39 €/Nm ³ 433,43 €/tep	0,95 €/lts 1.115,56 €/tep	1,14 €/lts 1.438,31 €/tep

Analisando apenas a energia elétrica, a figura 4-2 ilustra a distribuição mensal deste consumo, subdividido pelos horários. O horário correspondente às horas de ponta, cheias, vazias e super vazias está presente em anexo

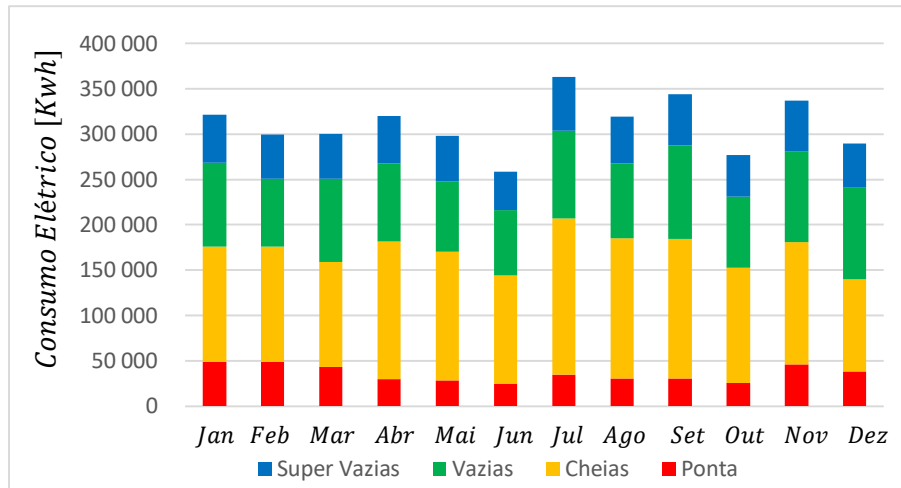


Figura 4-2: Histórico mensal do consumo elétrico dividido pelo horário de consumo em 2016 (A. Ramalhão, 2017)

O conhecimento do consumo energético por horário é fundamental, uma vez que o consumo energético nas horas de vazios e super vazios apresentam um custo inferior de energia. Como a Colquímica opera 24 horas por dia, é vantajoso deslocar parte dos consumos diurnos para a parte noturna, nas situações em que tal é possível.

Outro aspeto essencial na auditoria energética é a relação da produção com a energia consumida. Uma empresa é tanto mais eficiente, quanto menor a energia consumida por unidade de produção. A Figura 4.4 ilustra o consumo de energia em função das toneladas de cola produzida, bem como o fator de correlação entre estas duas variáveis.

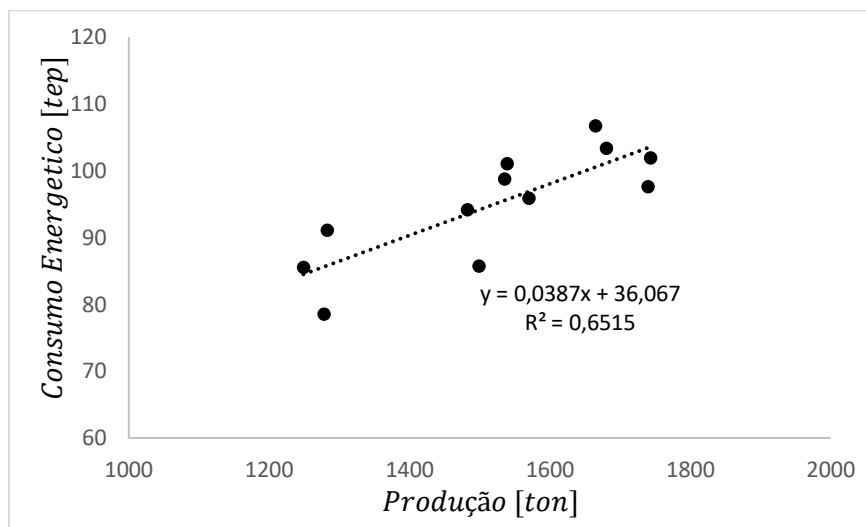


Figura 4-3: Consumo energético em função de produto produzido em 2016 (A. Ramalhão, 2017)

Finalmente, são apresentadas as métricas utilizadas como indicadores de desempenho energético da instalação: A Intensidade Energética (IE), o consumo específico de energia (CEE) e a Intensidade Carbónica (IC). Estas métricas são utilizadas para estabelecer metas através de um plano de racionalização dos consumos de energia. No caso da Colquímica, a IE e a CEE devem ser reduzidas em 6% em seis anos, e no máximo manter o valor da IC.

Tabela.4-3: Indicadores de desempenho energético em 2016 (A. Ramalhão, 2017)

Intensidade energética	Consumo Específico de Energia	Intensidade Carbónica
$IE = \frac{CE}{VAB} =$ $= 0,09500 \text{ Kgep/€}$	$CEE = \frac{CE}{Produção} =$ $= 62,42 \text{ Kgep/ton}$	$IC = \frac{Emissões}{CE} =$ $= 2,333 \frac{Kg_eCO_2}{Kgep}$

4.1.2. Ano de referência de 2017 e comparação com 2016

Similarmente à análise dos consumos no ano de 2016, é inicialmente apresentada a tabela abaixo com os dados relativos aos consumos, emissões e custos da energia em 2017, bem como a apresentação gráfica da distribuição percentual das duas fontes de energia consideradas: o gás natural e a eletricidade.

Tabela.4-4: Consumo energético, emissões e custo das fontes de energia em 2017

	Consumo de energia		Emissões	Custo	Preço/kWh
Unidades	MWh	tep	[kge CO2]	€	€/kWh
Eletricidade	3703,282	796,2056	1740545	407900,7	0,110146
Gás Natural	4324,126	331,6385	890018,2	183407	0,042415
TOTAL	8027,408	1127,844	2630563	591307,7	-----

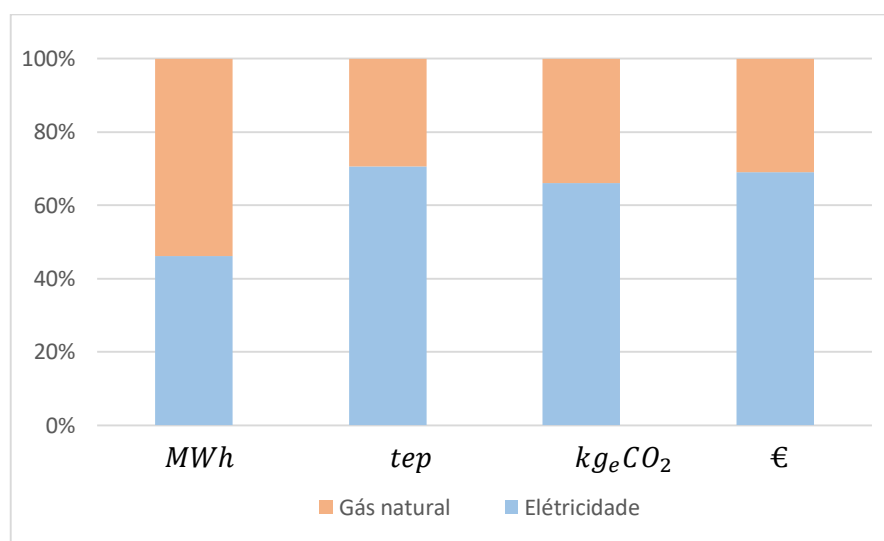


Figura 4-4: Percentual dos consumos, emissões e custos das fontes de energia em 2017

Embora a repartição percentual dos consumos, emissões carbónicas e custos das fontes de energia sejam bastante similares ao ano de 2016, existem grandes diferenças nestes dois anos nos seguintes parâmetros:

- Custos: O custo por MWh do gás natural e da eletricidade subiu 22,2% e 14,3%, respetivamente.
- Consumo energético: O consumo de energia em MWh de 2017 diminuiu 1,4% face a 2016. O maior decréscimo verificou no gás natural, com um valor de 2,0%.

De seguida, é apresentado o consumo elétrico por horário de consumo.

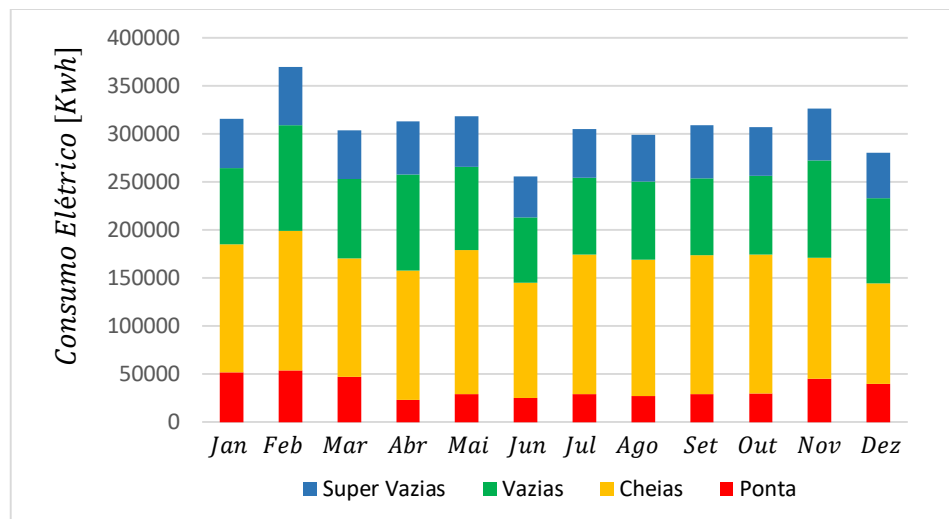


Figura 4-5: Histórico mensal do consumo elétrico dividido pelo horário de consumo em 2017

De seguida é feita uma comparação entre 2016 e 2017 da repartição percentual da eletricidade consumida por horário de consumo.

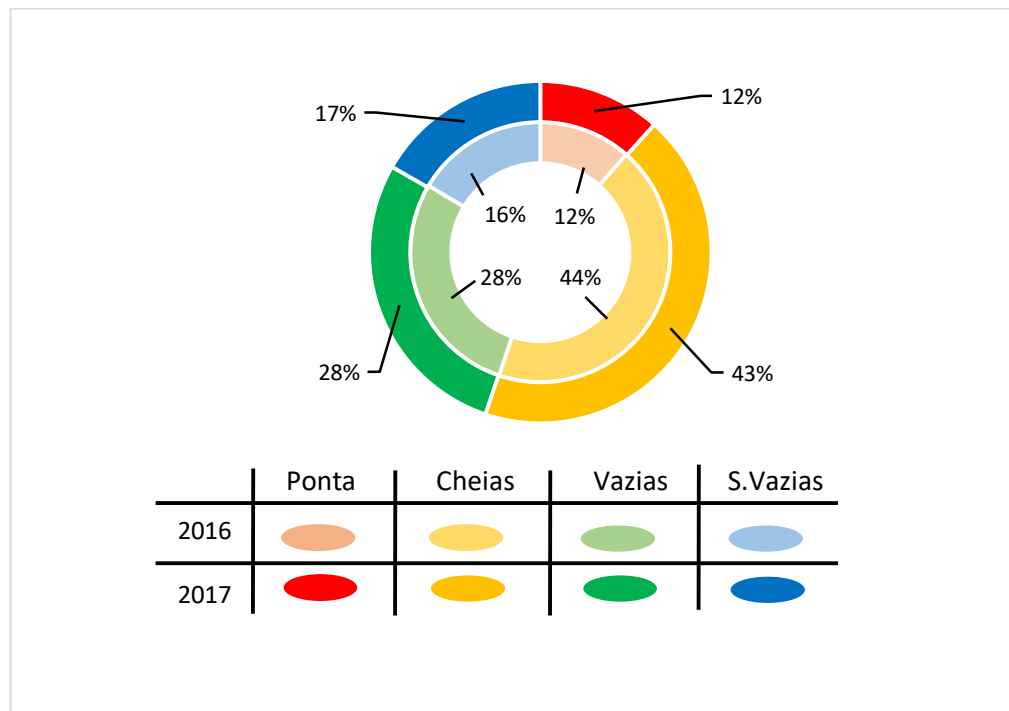


Figura 4-6: Comparação entre 2016 e 2017 da repartição de consumo elétrico por horário

De seguida é apresentado o consumo de energia em função da produção.

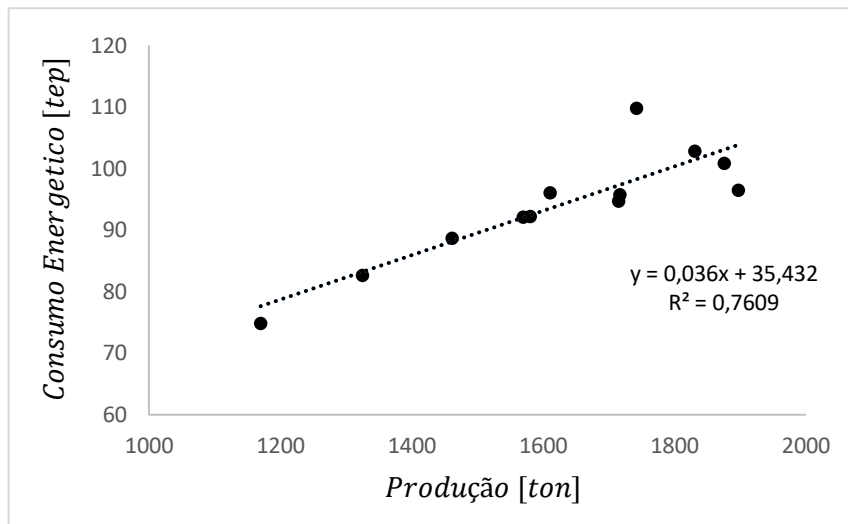


Figura 4-7: Consumo energético em função de produto produzido em 2017

Fazendo a comparação com o ano de 2016, é possível retirar as seguintes conclusões:

- O coeficiente de correlação do consumo energético em função da produção é maior em 2017 ($R^2=0,7609$) do que em 2016 ($R^2=0,6516$), ou seja, em 2017 houve uma relação mais forte entre o consumo energético e a produção.
- O declive da reta que se ajusta ao consumo energético em função da produção é inferior em 2017 (0,036) do que em 2016 (0,0387), ou seja, em 2016, a produção de uma tonelada de cola implicava gastar mais 7% de energia que de em 2017. Quanto maior o declive, mais energia é necessária gastar por tonelada de cola a produzir.
- O valor da ordenada na origem do gráfico representa o consumo necessário para colocar a fábrica em funcionamento. Este é um dos parâmetros a reduzir. O seu valor em 2017 (35,432) foi inferior em relação a 2016 (36,07).

Por fim, é feita a comparação dos indicadores de desempenho energético entre 2016 e 2017: O IE, o CEE e o IC.

Tabela 4-5: Indicadores de desempenho energético em 2017

Intensidade energética	Consumo Específico de Energia	Intensidade Carbónica
$IE = \frac{CE}{VAB} =$ $= 0,1166 \text{ Kgep/€}$	$CEE = \frac{CE}{Produção} =$ $= 57,85 \text{ Kgep/ton}$	$IC = \frac{Emissões}{CE} =$ $= 2,332 \frac{Kg_eCO_2}{Kgep}$

Verifica-se que em 2017, o valor do IE é superior, fruto do valor do VAB ser inferior neste ano. Já o CEE de 2017 diminuiu devido à maior produção de cola. No que toca à intensidade carbónica, como a repartição do consumo de energia por fonte de 2016 foi similar a 2017, este valor manteve-se praticamente inalterado. A empresa está a ter um bom desempenho no IC e no CEE no que toca ao cumprimento das metas estipuladas. Já o IE está bastante acima do esperado, pelo que se deve diminuir o consumo de energia ou aumentar o VAB.

4.2. Micro auditoria de energia

A micro auditoria consiste na averiguação das áreas de maior consumo de energia, nas quais existem maiores potenciais para a realização de economias. Para tal, é feito um levantamento dos equipamentos e suas características: consumos, eficiências, tempos de funcionamento, etc. (Pinho, 2017). Para o efeito, nesta dissertação utilizou-se um medidor de potência elétrica conforme o ilustrado na figura 4-9, para medir o consumo elétrico nas linhas de produção e em alguns equipamentos de elevado consumo.

De referir ainda que esta etapa é crucial para encontrar as medidas de racionalização energética, porque são os equipamentos que em ultima instância consomem energia. Assim, este subcapítulo focar-se-á nos equipamentos/setores com maiores consumos.



Figura 4-8: Equipamento de medição elétrica utilizado na Colquímica (Fluke, 2019)

4.2.1 Caldeira

A caldeira é o equipamento com maior potencia nominal existente na Colquímica. É usada maioritariamente para fundir a matéria-prima nos reatores, mas também para ajustar a temperatura da cola para extrusão. São apresentadas na tabela seguinte a análise da caldeira, do queimador e dos gases de escape.

Tabela 4-6: Características técnicas da caldeira (A. Ramalhão, 2017)

Caldeira	Fluido de trabalho	Termofluido
	Potência Nominal	1162 kW
	Combustível	Gás Natural de rede
	Rendimento	87 a 89% ^[1]
Queimador	Marca/Modelo	Weishaupt WM-10
	Regulação	Modulante
Gases de escape	Temperatura	220°C a 300°C ^[1]
	Excesso de ar	18%

^[1] Depende das condições de funcionamento da caldeira

4.2.2 Central de água fria/gelada

A central de água fria gelada tem o intuito de remover calor em certas partes do processo de produção. Abaixo encontra-se um esquema da central de água fria/gelada. As zonas demarcadas são as zonas de consumo energético mais relevante.

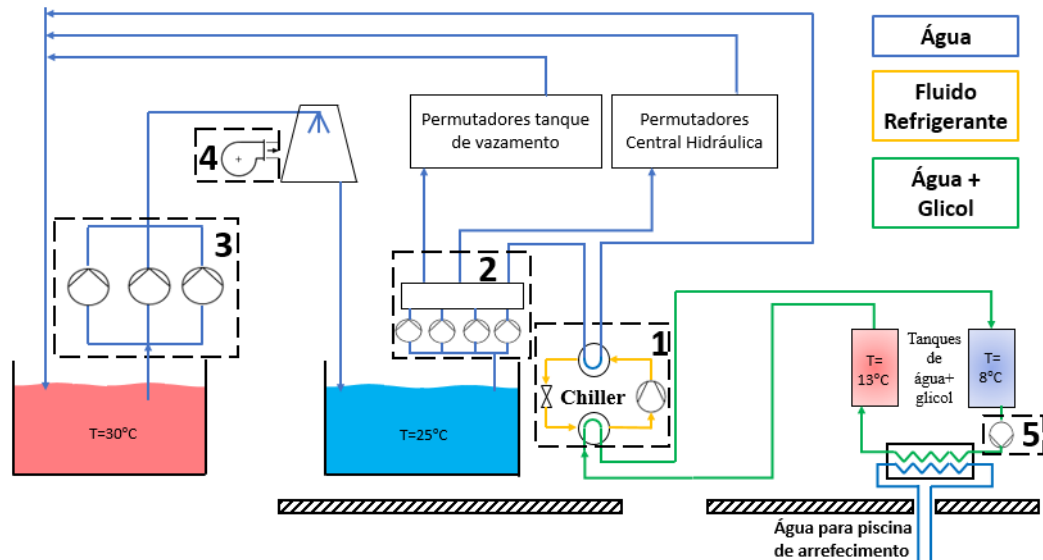


Figura 4-9: Esquema da central de água fria/refrigerada e zonas de maior consumo

A seguinte tabela condensa as especificidades técnicas das zonas de consumo assinalada na figura acima.

Tabela 4-7: Equipamentos de consumo energético na central de água fria/gelada (A. Ramalhão, 2017)

Zona 1- Chillers					
Marca/Modelo dos Chillers	Linhas de produção	Fluido frigorígeno	Potência [kW]		COP
			Elétrica	Térmica	
Carrier 30RW-245	BP	R 407 C	104,3	443,3	4,25
Carrier 30RW-245	SP	R 407 C	104,3	443,3	4,25
Carrier 30HCX 080	BP e SP	R 134 A	87,0	438,5	5,04
Carrier 30WG-040	Pastilha	R 410 A	12,2	34	2,8
MTA TWE EVO 301	BP3	R 407 C	29	84,7	2,92
MTA NE 075	Pérola	R 407 C	87,0	232	2,67
Zona 2,3 e 5- Bombas de água					
Marca/Modelo	Zona	Quantidade	Regime	Potência [kW]	Eficiência
Efaflu E-NM 65-160	2	4	Variável	11	IE3
Varisco J 3-140	3	3	Contínuo	4	Cosφ=0,85
-- ^[2]	5	5	Contínuo	-- ^[2]	-- ^[2]
Zona 5- Ventilador da torre de evaporação					
Marca/Modelo	Zona	Quantidade	Regime	Potência [kW]	Eficiência
WEG BM 09515	5	1	Parcial ^[1]	22Kw	EFF2

^[1] Regime contínuo mas à carga de 35% da potência nominal de 22 kW.

^[2] Falta de informação

4.2.3 Central hidráulica

A central hidráulica tem como objetivo alimentar os agitadores dos reatores de preparação da cola. Este circuito é alimentado por bombas hidráulicas, que por sua vez são movidas por motores elétricos. A tabela seguinte sintetiza as especificações dos motores elétricos.

Tabela 4-8: Características técnicas dos motores da central hidráulica (A. Ramalhão, 2017)

Linhas		Potência [kW]	Tensão [V]	Corrente [A]	Classe Eficiência Energética	Existência de variador eletrónico de velocidade
Big Pillows	BP1	45,0	415	81,0	IE1	Não
	BP2	45,0	415	81,1	n.d.	Não
	BP3	45,0	415	80,7	IE1	Sim
Small Pillows	SP1	45,0	415	77	IE1	Não
	SP2	45,0	415	n.d.	n.d.	Não
Pastilha		45,0	415	n.d.	n.d.	Não
		45,0	415	80,5	IE1	Não
Pérola		90	415	158,5	IE1	Sim
		90	415	158,5	IE1	Sim

4.2.3. Linhas de produção

As linhas de produção fazem sequencialmente a extrusão e o arrefecimento da cola nos diversos formatos disponíveis. Na tabela está sintetizado o consumo típico medido no quadro elétrico de cada uma destas linhas através do equipamento ilustrado na figura 4-9.

Tabela 4-9: Registo do consumo energético das linhas de produção

Linhas	Tempo de medição (h)	Potência [KW]			Fator de potência
		Máxima	Média	Mínima	
BP1	97h	18,545 ^[1]	10,960 ^[1]	0,79258 ^[1]	0,73793 ^[1]
BP2	47h	31,773	17,785	8,9422	0,74367
BP3	28h	13,685	11,915	10,180	0,73793
SP1	54h	22,289 ^[1]	16,569 ^[1]	0,70213 ^[1]	0,76691 ^[1]
SP2	162h	23,853	14,291	2,3281	0,76691
Pastilha	75h	19,157	5,1090	0,50230	0,76501
Pérola	93h	59,145	25,772	4,6165	0,71104

Anotação ^[1]: Nas linhas BP1 e SP1 não foi possível medir a tensão nos terminais, o que impossibilitou a obtenção direta da potência instantânea. Para tal, supôs-se uma tensão nos cabos da BP1 e SP1 de 235 volts (tensão média). Para a BP1 supôs-se um fator de Potência igual à BP3, e na SP1 supôs-se um fator de Potência igual ao da SP2, devido à semelhança de constituição da linha em termos de equipamentos. De seguida, aplicou-se a seguinte expressão:

$$Potência [W] = \left(\sum_{i=1}^3 U_i \cdot I_i \right) \cdot \cos\varphi,$$

Sendo que U_i é a tensão na fase i , I_i é a intensidade na fase i , e $\cos\varphi$ o fator de potência. O somatório deriva do facto das linhas serem alimentados com um sistema trifásico.

De referir que o sistema hidráulico de agitação das pás na linha das pérolas não se encontra na central hidráulica, mas sim junto à linha, devido à grande distância entre eles. Assim, a alimentação deste sistema faz parte do grupo da linha das pérolas. É por essa razão que esta linha apresenta um consumo energético bastante superior às restantes linhas.

4.2.6 Compressores

Os compressores são necessários para abastecer a linha de ar comprimido, que serve os elementos pneumáticos como válvulas, equipamentos, etc. Na tabela seguinte apresenta-se as características técnicas dos três compressores da Colquímica, todos da marca Atlas Copco.

Tabela 4-10: Características técnicas dos compressores (A. Ramalhão, 2017)

Modelo	GA18VSD	GA18VSD	GA 11
Potencia nominal [kW]	18,5	18,5	11,0
Pressão do ar [bar]	8,5	7,5	n.d.
Caudal de ar [m ³ /min]	3,6	3,35	1,93

4.2.7 Equipamentos de Climatização

Os equipamentos de Climatização servem o edifício administrativo e têm a função de aquecer ou arrefecer os compartimentos. Embora no total sejam 18 os equipamentos de Climatização que a Colquímica dispõe, na tabela seguinte ilustram-se apenas aqueles de maior consumo.

Tabela 4-11: Características técnicas dos equipamentos de Climatização (A. Ramalhão, 2017)

Marca	Modelo	Potência [W]	Fluido Frigorígeno
Mitsubishi	PUHY-1050YSGM-A	34240	R 410 A
Mitsubishi	FDC140VN	5000	R 410 A
Frascold	LBQ5 28.IY2M	4870	R 404 A
Mitsubishi	PUHZ-P140Y	4430	R 410 A
Mitsubishi	MUZ-GE35VA	3500	R 410 A
Mitsubishi	FDC71VNP	3270	R 410 A

4.3. Medidas de eficiência apresentadas na auditoria SGCIE

Antes de entrar no capítulo das medidas de racionalização de energia, foram analisadas as medidas propostas na Auditoria SGCIE (tabela abaixo), de forma a que as medidas de racionalização de energia a formular e estudar neste trabalho não coincidam com as medidas já propostas e estudadas.

Tabela 4-12: Medidas de racionalização propostas na Auditoria SGCIE (A. Ramalhão, 2017)

QUADRO RESUMO DAS MEDIDAS DA AUDITORIA A IMPLEMENTAR													
N.º	Descrição	Poupança (EN. ELÉTRICA)		Poupança (GÁS NATURAL)		Poupança (TOTAL)				INVEST.	RETORNO	Ano de implementação	
		MWh/ano	€/ano	Nm3/ano	€/ano	tep/ano	%	tCO2/ano	%				€/ano
1	Otimização do funcionamento dos ventiladores da linha BP1	5,3	501,1	-	-	1,1	0,1%	2,5	0,1%	501	250	0,5	2018
2	Otimização do funcionamento das bombas de recirculação da água das piscinas nas linhas BP1, BP2 e BP3	33,4	3.149,3	-	-	7,2	0,6%	15,7	0,6%	3.149	3.000	1,0	2018
3	Otimização do sistema de aspiração na linha SP1	21,6	2.040	-	-	4,6	0,4%	10,2	0,4%	2.040	1.000	0,5	2018
4	Otimização do sistema de aspiração do setor das perolas	2,6	242	-	-	0,6	0,05%	1,2	0,0%	242	250	1,0	2019
5	Melhoria do rendimento da caldeira de termofluido	-	-	2.800	1.090	2,5	0,2%	6,8	0,3%	1.090	500	0,5	2018
6	Isolamento térmico dos acessórios de transporte de energia térmica	-	-	2.030	790	1,8	0,2%	4,9	0,2%	790	2.070	2,6	2019
7	Substituição do queimador atual por um queimador modulante	2,7	250,0	17.000	6.640	16,0	1,4%	42,6	1,6%	6.890	33.162	4,8	2018
8	Redução e controlo das fugas de ar comprimido	23,6	2.229	-	-	5,1	0,4%	11,1	0,4%	2.229	2.250	1,0	2018
9	Otimização da central de ar comprimido (reduzir a pressão de funcionamento)	7,2	681	-	-	1,6	0,1%	3,4	0,1%	681	0	0,0	2018
10	Otimização do funcionamento do filtro da água da torre	8,7	819	-	-	1,9	0,2%	4,1	0,2%	819	150	0,2	2018
11	Otimização do funcionamento do AVAC do edifício administrativo	25,4	2.399,4	-	-	5,5	0,5%	11,9	0,4%	2.399	0	0,0	2018
12	Otimização do funcionamento da iluminação na garagem, com instalação de sensores	12,8	1.250	-	-	2,7	0,2%	6,0	0,2%	1.250	600	0,5	2018
13	Controlo e melhoria do rendimento da iluminação (substituição por LED)	132,3	12.720	-	-	28,4	2,5%	62,2	2,3%	12.720	26.701	2,1	2019
14	Melhoria do rendimento da iluminação exterior (substituição por LED)	4,5	420,0	-	-	1,0	0,1%	2,1	0,1%	420	1.290	3,1	2019
Total		280	26.701	21.830	8.520	80	6,9%	185	6,8%	35.221	71.223	2,0	

As medidas apresentadas são propostas pela entidade responsável pela auditoria energética no âmbito SGCIE, e têm caráter obrigatório de implementação. Parte das medidas já estavam a ser implementadas aquando da realização deste trabalho, e a restante parte serão implementadas futuramente. Em termos de implicações nas medidas a propor neste trabalho, o objetivo passa por formular medidas diferentes destas, de forma a que não se repitam medidas e respetiva análise e validação, trabalho esse que já realizado na auditoria energética no âmbito SGCIE.

Capítulo 5 - Medidas de Racionalização de Energia

Conhecendo o processo produtivo e atendendo à auditoria energética, são formuladas medidas para a otimização energética pretendida. Pretende-se avaliar as medidas nas seguintes vertentes:

- Validação técnica: Cálculo das variáveis em jogo de forma a verificar a aplicabilidade da solução, bem como a poupança de energia que se consegue obter
- Validação logística: verificar se existe disponibilidade de espaço, recursos, mão de obra, aquisição dos equipamentos, etc.
- Validação económica: verificar a rentabilidade da aplicação da medida, através do cálculo de parâmetros como o RDI e poupança económica anual.

5.1. Introdução de metodologias de procedimento nas linhas de produção

Um aspeto importante a ter em conta no que se refere aos problemas relacionados com a gestão da produção, é a carência de procedimentos adequados e pormenorizados relativos à operacionalização de cada linha. O processo utilizado na criação do produto final, exige a presença constante de operadores por linha, facto que influencia a variabilidade do processo produtivo. Como não existem procedimentos para desligar máquinas após a produção de um lote, alguns equipamentos podem ficar em funcionamento entre produções consecutivas. Os tempos entre produções podem atingir mais de 8 horas (um turno), durante o qual os equipamentos estão a consumir energia desnecessariamente.

5.1.1. Análise técnica

É necessário recorrer às medições efetuadas nas linhas e verificar os seus tempos de paragem, que representam os intervalos em que a linha está sem produção, mas alguns equipamentos continuam em funcionamento. Por motivos específicos de elevada inércia do sistema, conclui-se que não se deve desligar os equipamentos em paragens por setup das máquinas, nem em períodos de intervalos pequenos de produções, mas sim em períodos longos de turnos (8 horas).

Assim, analisando os consumos relativos às medições efetuadas nas linhas, e recorrendo aos dados cedidos pelo departamento da produção das paragens das linhas, estima-se que em 10 % das vezes as linhas estão paradas por intervalos de tempo superiores ou iguais a 8 horas. A figura seguinte representa um exemplo de paragem de produção (sem produção) com o

consumo dos equipamentos associados. A tabela seguinte apresenta uma estimativa de poupança de energia afeta a cada linha.

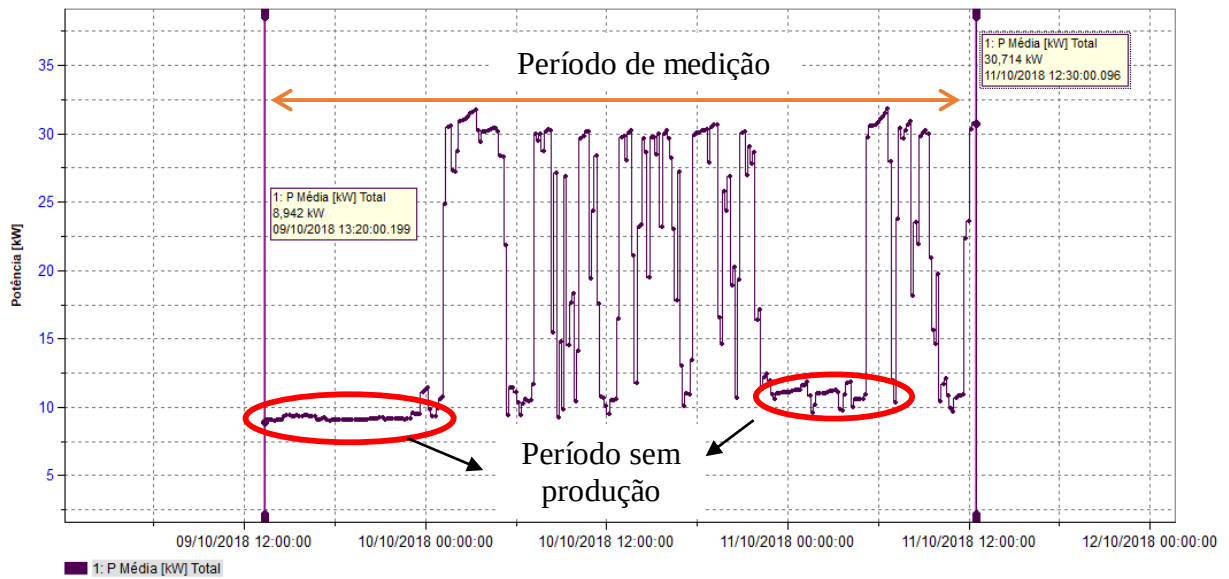


Figura 5-1: Diagrama do histórico da Potência consumida na linha BP2

Tabela 5-1: Estimativa da energia poupada ao desligar as máquinas no período sem produção

Linhas de produção	Linha de BP			Linha de SP		Linha de Pastilha	Linha de Pérolas
	BP1	BP2	BP3	SP1	SP2		
Potência sem produção [kW]	7,045	8,942	7,045 ^[1]	3,512	2,328	0,5023	4,617
Poupança de energia [kWh]	6171	7833	6171 ^[1]	3077	2039	440,0	4044

^[1] A linha BP3 esteve em funcionamento nominal aquando da medição, não tendo sido possível verificar a potência sem produção. Assumiu-se igual à da BP1 pela semelhança da linha.

5.1.2. Análise Logística

Em termos logísticos, a única grande mudança a realizar na empresa é a conduta dos colaboradores aquando do término da produção. Para tal, são necessárias ações de formação para que cada colaborador associado à sua linha saiba o que fazer após o término da produção. Além disso, é necessário que os colaboradores saibam o procedimento ao reiniciar as máquinas, nomeadamente o tempo necessário que devem ser ligadas antes de retoma da produção, para que o sistema esteja preparado para arrefecer a cola.

5.1.3. Análise económica

Com base no que foi apresentado é possível estimar a poupança associada a esta medida, assim a tabela seguinte apresenta o resumo da operação.

Tabela 5-2-Análise Económica da criação de procedimentos nas linhas

Investimento	Poupança [€/ano]	Payback [anos]
0	3 280	0

5.2. Melhoria da eficiência de arrefecimento das BP

Nas linhas das BP, o processo inicia-se com a temperatura da cola a 110 °C a ser convertida num filme que funciona como involucro. Seguidamente, é dado o formato individual à almofada de cola e são depositadas em piscinas de água gelada. Em média, a temperatura da água das piscinas ronda os 11 °C. A medida de melhoria da eficiência de arrefecimento traduz-se no incremento do tempo de permanência das almofadas nos dois primeiros níveis das piscinas. Assim, a temperatura da água da piscina pode sofrer um incremento e, por conseguinte, um aumento na eficiência do chiller.

5.2.1. Análise técnica

O objetivo desta medida foi a obtenção da correlação entre o calor transferido da cola para água mediante fatores como tempo de permanência na piscina, temperatura e agitação da água, ou quantidade de chuveiros existentes na piscina. A equação de transferência de calor é apresentada de seguida. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007). O cálculo do calor específico da cola é apresentado em anexo.

$$Q_{cola} = m_{cola} c_{p_{cola}} (\Delta T_{nível}) = U_{g,alm} A_{alm} (T_{alm} - T_{piscina}) t_{estágio},$$

$$T_{alm} = (T_{nível i} + T_{nível i+1})/2$$

De forma a manter o calor transferido da cola para a água, para poder subir a temperatura da água da piscina ($T_{piscina}$), deve-se incrementar o tempo de estágio ($t_{estágio}$) e/ou o coeficiente global de transferência de calor. Inicialmente, foram feitas medições de temperatura das almofadas no início ($T_{nível i}$) e final ($T_{nível i+1}$) de cada nível, bem como o tempo de estágio em cada um deles. A partir dos dados, obteve-se o calor perdido por nível. Verificou-se que o $U_{g,alm}$ varia de forma logarítmica com o tempo de estágio no 1º nível e linearmente com a temperatura de chegada no 2º nível.

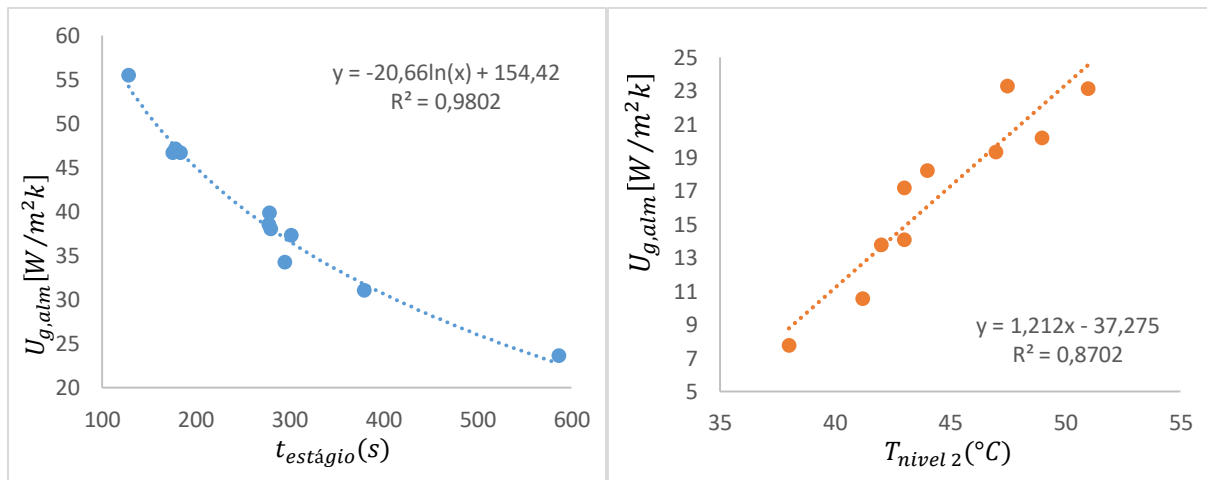


Figura 5-2: Correlação do U_g em função do tempo de estágio e da temperatura inicial

Sabendo a influencia destes parâmetros no calor transferido, é possível fazer uma estimativa para diferentes tempos de estágios e diferentes temperaturas do banho da piscina. A figura 5-3 representa a evolução das temperaturas das almofadas para diferentes temperaturas da água de 11°C a 15°C, e tempos de estágio nos dois primeiros níveis de 3 a 7 minutos, sendo que o tempo de estágio no 3º nível não é relevante. Por exemplo, se o tempo de estágio no primeiro e segundo nível for de 6 minutos, e $T_{piscina}=15^{\circ}\text{C}$, a almofada sai do 1º nível a 42 °C e do 2º nível a 36 °C.

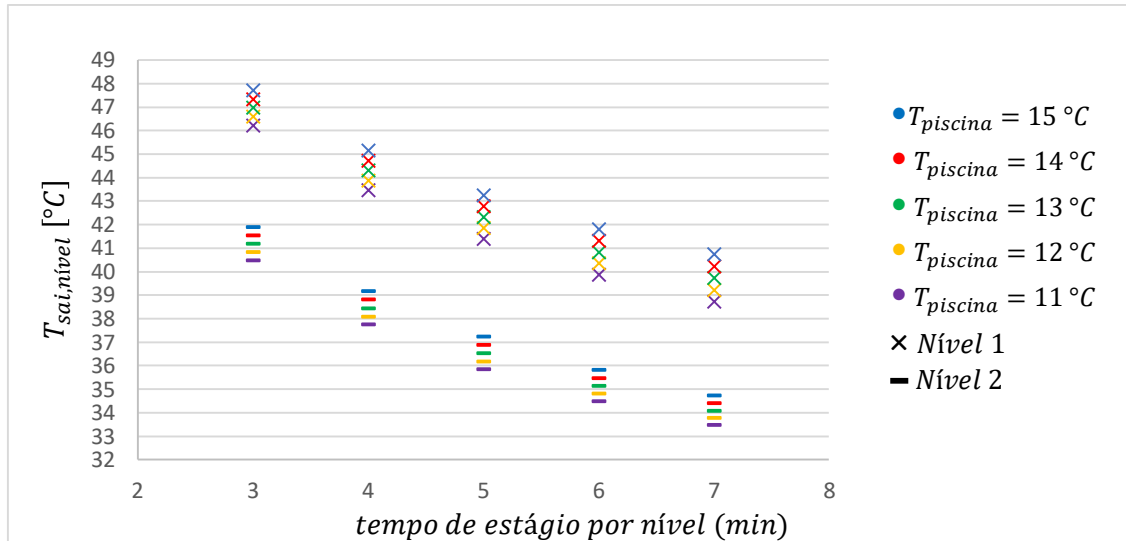


Figura 5-3: Influência do tempo e da temperatura da água na temperatura da almofada

Com base nos resultados da figura 5-3 observa-se que é possível manter a temperatura da almofada à saída do 2º nível, ainda que se eleve a temperatura do banho, através do aumento o tempo de estágio nas piscinas. Para que tal aconteça, podem-se utilizar duas técnicas:

1. Instalar cortinas no curso das almofadas, atrasando na média 30 segundos por cortina.
2. Redirecionar os jatos incidentes na piscina: atualmente, os jatos estão orientados no sentido da passagem das almofadas, aumentando a sua velocidade e diminuindo o tempo de estágio. Se estes forem orientados paralelamente à passagem das almofadas, a sua velocidade diminui e é intensificado o coeficiente de convecção da almofada, porque a obriga a mergulhar completamente em água.

O possível incremento na temperatura da água do banho apresenta vantagem de poupança energética ao nível do chiller. Como se verifica na figura 5-4, o incremento da temperatura da água de saída do chiller possibilita uma maior potência disponível. Nas condições atuais, a água sai do chiller a 5°C e a água de arrefecimento entra a 30°C, a temperatura da água nas piscinas é de 11°C e o tempo de residência médio das almofadas é de 4 minutos por nível. Pretende-se incrementar o tempo de residência por nível para cinco minutos, o que possibilitaria incrementar a temperatura de saída do chiller para 7°C, o que possibilita reduzir a potência térmica a fornecer pelo chiller de 20 kW_t. Sabendo que o EER é de 4,25 para o chillers das BP, seria possível reduzir a potência a fornecer ao chiller de 4,70 kW.

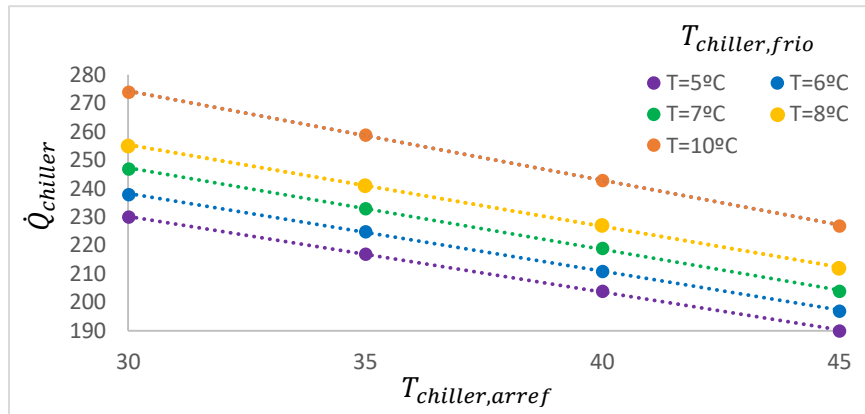


Figura 5-4: Relação da potência de frio do chiller com a temperatura da água de arrefecimento e gelada

5.2.2. Análise Logística

O problema logístico com esta medida é a possível rutura do filme protetor da cola devido à aglomeração das almofadas. No final de cada nível existe um sistema de pás que atua como barreira às almofadas, para controlar o fluxo de almofadas que transita para o nível seguinte. Este sistema é ineficiente: a ativação das pás nem sempre leva a quantidade de almofadas desejadas ao próximo nível, que é igual ao numero de almofada a serem produzidas: 21 por minuto. Pensou-se numa barreira de final de nível em vez do sistema de pás (que existe atualmente), que possibilitaria o controlo preciso das almofadas que transitam ao nível seguinte, garantindo que não existe sobrelotação no nível, que pode levar à rutura das almofadas. Seria ainda necessário manter as almofadas equidistantes na piscina, conseguido através da alocação de cortinas ao longo das piscinas.

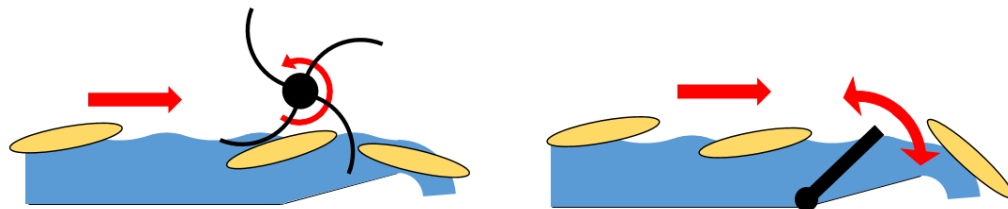


Figura 5-5: Sistema atual de pás (esquerda) e sistema idealizado de barreira (direita)

5.2.3. Análise Económica

Os investimentos previstos para a implementação desta solução estão relacionados com o sistema de barreira, a alocação das cortinas ou outro mecanismo que mantenha as almofadas equidistantes na piscina, e câmaras de vídeo dentro das piscinas para o operador controlar a frequência de abertura da barreira. Não foi realizado um levantamento ao equipamento, pelo que se pode concluir que, sabendo a poupança anual obtida por esta medida, o equipamento poderá custar até cinco vezes este valor anual para que esta medida seja rentável. Através da auditoria energética, sabe-se que o preço da eletricidade é de 0,110146 €/kWh. Sabendo que os chillers funcionam em contínuo anualmente (8736 horas num ano), multiplicado a redução de potência prevista (4,7kW) pelas horas anuais de funcionamento obtêm-se a energia poupada. Multiplicando pelo preço obtêm-se o valor anual poupado de 4540 €.

5.3. Carregamento noturno das baterias dos empilhadores

Para transportar cargas no armazém de matérias primas e do produto acabado, a empresa dispõe de empilhadores e monta-cargas para o efeito. Estes veículos são movidos a eletricidade, através de baterias de chumbo que são carregadas num posto próprio alocado no armazém. Existem duas baterias por veículo, para que enquanto uma bateria esteja em carregamento, a outra está a ser usada pelo veículo.

Pretende-se carregar as baterias no período noturno, beneficiando das seguintes vantagens:

- Custo reduzido da energia: o preço de eletricidade e de acesso às redes é variável com o período diário, conforme a figura seguinte. Assim, quanta mais energia consumida for transferida do dia para a noite, menor o preço pago pela energia
- Vantagem ambiental: a parcela de energias de fonte renovável no mix energético da rede é superior no período noturno, por haver menos consumo de energia. Assim, a libertação de Gases de efeito de estufa por kWh de energia consumida é inferior.

5.3.1. Análise técnica

Através de um levantamento de informação junto dos colaboradores que utilizam o empilhador, determinou-se que o tempo médio de carga das baterias é de 6 horas, e o tempo de duração destas é de 12 horas. Analisando a auditoria do SGCIE de 2017, verifica-se que o consumo desta secção é de 116 280 kWh/ano. Assim, verifica-se que há necessidade de mais unidades de baterias novas com capacidade de 12 horas e tempo de carregamento de 3,5 horas, para que se possa proceder à sua utilização conforme o que se apresenta na figura seguinte.

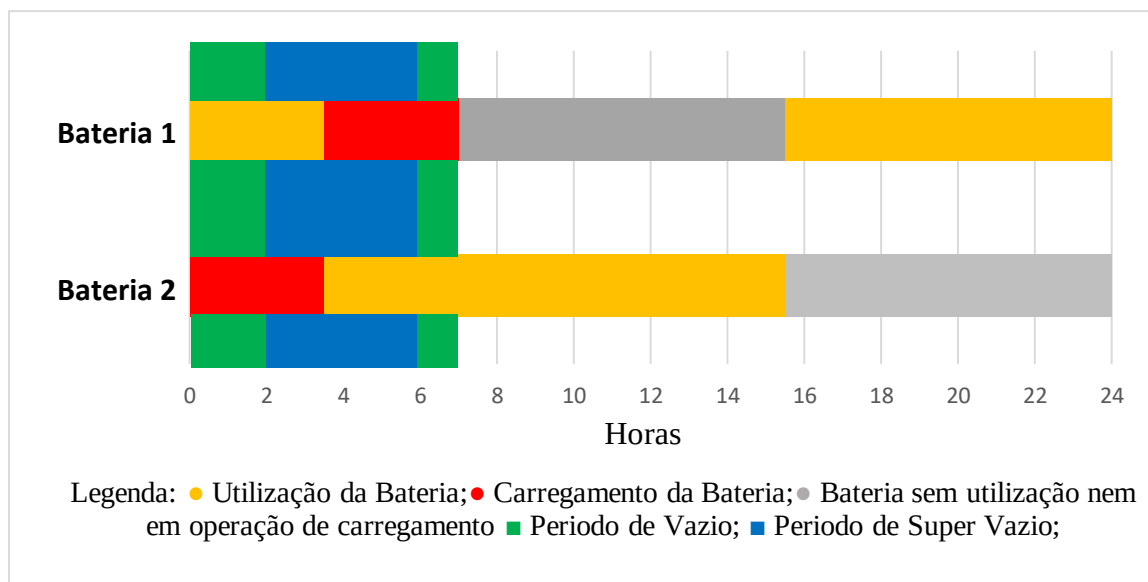


Figura 5-6: Horário de carregamento e utilização das novas baterias

5.3.2. Análise logística

O grande desafio logístico passa por trocar as baterias dos empilhadores nas horas certas. Caso não aconteça, terão que ser carregadas nas horas de cheias ou ponta. Serão os turnos da tarde e noite os responsáveis pela troca das baterias que deve ocorrer às 3h30 e às 15h30. É necessária a instalação de um sistema que apenas possibilite o carregamento noturno, para que independentemente da hora da sua colocação para carregamento, este apenas inicie nas horas de vazio ou super vazio.

As baterias que possibilitam um carregamento mais rápido em relação às baterias atuais de chumbo são as baterias de lítio. Estas baterias, além de demorarem menos tempo a carregar, têm a grande vantagem de não necessitar de solução aquosa, ao contrário das baterias de chumbo, o que representa problemas de manutenção e de impacto ambiental.

5.3.3. Análise económica

Nesta análise económica, vai-se calcular o preço atualmente pago pela energia elétrica da utilização das baterias, e comparar com o preço que se pagaria ao carregar apenas nos horários de vazio e super vazio. Mediante as faturas elétricas analisadas do ano de 2017, verifica-se que o preço médio das horas de vazio e super vazio é cerca de 30% inferior ao preço da eletricidade quando usada sem restrições, ou seja, quando a eletricidade é usada por igual durante um dia.

Tendo como base o preço atual da energia elétrica resultante na utilização das baterias em comparação com o preço que se pagaria ao carregar apenas nos horários de vazio e super vazio, é possível estimar o valor da poupança da medida. Mediante as faturas elétricas analisadas no ano de 2017, verifica-se que o preço médio das horas de vazio e super vazio é 30% inferior ao preço da eletricidade quando usada sem restrições, ou seja, quando a eletricidade é usada por igual num dia (24 horas). O preço das baterias novas a instalar não foi obtido. Assim, calcula-se o retorno esperado num período de cinco anos. Se o preço das baterias for inferior ao valor retornado em cinco anos, significa que o investimento é viável.

Tabela 5-3: Análise económica do carregamento noturno de baterias

Custo energético atual [€/ano]	Custo energético com carregamento noturno [€/ano]	Retorno Anual [€/ano]	Retorno em cinco anos [€]
12 810	8 970	3840	19 200

5.4. Instalação de uma microturbina hídrica

A empresa dispõe de uma torre de evaporação que permite arrefecer a água dos tanques, de funcionamento contínuo. Esta água é bombeada com recurso a três bombas em paralelo, e retorna ao tanque de água fria por ação da gravidade. Pretende-se aproveitar a energia de queda da água com recurso a uma microturbina para a produção de eletricidade.

5.4.1. Análise técnica

Inicialmente, determina-se o caudal bombeado pelas bombas através da curva de funcionamento presente em anexo. O caudal é igual à soma dos caudais de cada bomba, por estarem em paralelo. Assume-se que o caudal de ida é igual ao caudal de retorno porque a fração de água evaporada é desprezável. Nesta análise vão-se considerar duas situações: A utilização da tubagem existente e a instalação de uma nova conduta com menor perdas de carga. O resumo da análise segue na tabela em baixo e o restante segue em anexo. (Munson, Young, Okiishi, & Huebsch, 2009)

Tabela 5-4: Cálculo da potência elétrica considerando a tubagem atual e ideal

Dados referentes à tubagem atual				
	$L_{tubo}[m]$	$\varnothing_i[m]$	n_{curvas}	$r_{curva}[m]$
	19	0,162	6 (a 90°)	0,2
Perdas de carga e potência da turbina com tubagem atual				
	$\Delta P[Pa]$	$\Delta P[mca]$	Potência [kW]	
Localizadas	$6,511 \times 10^3$	0,6644	3,688	
Distribuídas	$2,438 \times 10^2$	0,02488		
Dados referentes à tubagem ideal				
	$L_{tubo}[m]$	$\varnothing_i[m]$	n_{curvas}	$r_{curva}[m]$
	12	0,2	2 (a 75°)	0,8
Perdas de carga e potência da turbina com tubagem ideal				
	$\Delta P[Pa]$	$\Delta P[mca]$	Potência [kW]	
Localizadas	$1,318 \times 10^2$	0,02689	3,955	
Distribuídas	$5,376 \times 10^1$	0,00549		



Figura 5-7: Turbina francis escolhida para o estudo do aproveitamento de queda de água (HS Dynamic, 2019)

5.4.2. Análise logística

A turbina deverá localizar-se na parte superior do tanque de água fria, onde é recolhida a água após a torre de evaporação. É um local com espaço limitado, mas com capacidade de albergar a turbina, devido às suas reduzidas dimensões, como ilustrado na figura seguinte. Além da instalação da turbina, é necessário instalar o inversor de forma a injetar a eletricidade da rede.

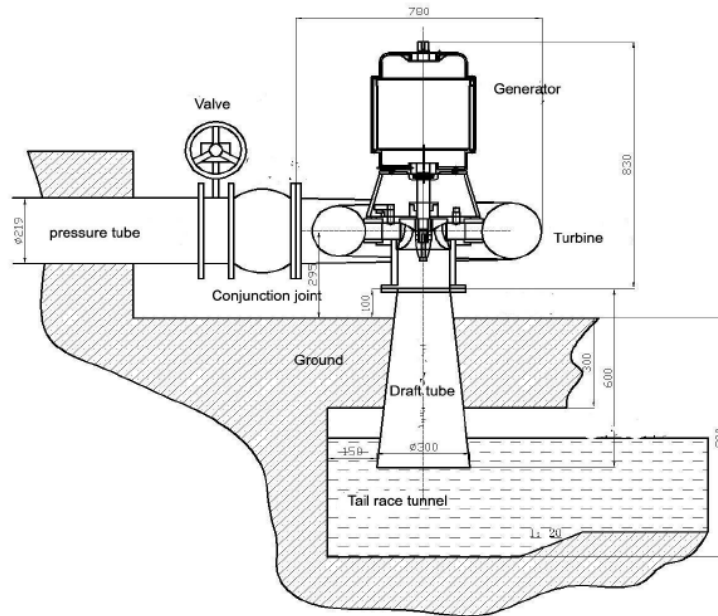


Figura 5-8: Desenho técnico da turbina escolhida para o estudo (HS Dynamic, 2019)

5.4.3. Análise económica

Tabela 5-5: Análise económica do retorno com a tunagem atual e ideal

	Custos [€]			Poupança Anual [€]	Payback [anos]
	Turbina+gerador	Inversor	Tubo 219 mm		
Tubagem Atual	5930	1720	0	3560	2,15
Tubagem Ideal			500	3820	2,14

Embora o retorno do investimento seja muito próximo, a longo prazo é mais benéfica a solução da nova tubagem, sendo que, num prazo de cinco anos, a tubagem ideal retorna mais 1290€ do que a atual, valor mais que suficiente para pagar a nova tubagem e custos da sua instalação. De notar que o retorno do investimento não contabiliza os custos de instalação do equipamento, de forma que o real valor do retorno do investimento estará acima dos valores apresentados.

5.5. Aquecimento de AQS utilizando calor dissipado

Na Colquímica existe um desperdício considerável de calor. Enumerando estes desperdícios por ordem decrescente de entalpia, são eles os gases de combustão da caldeira, o arrefecimento da cola da linha de BP desde o tanque de vazamento até à extrusão, o circuito hidráulico dos agitadores dos reatores, o calor dos compressores, e a água de arrefecimento dos chillers.

Paralelamente, a Colquímica tem grandes consumos de calor, nomeadamente na caldeira, mas também em AQS. A caldeira necessita de calor a elevadas temperaturas (210°C), pelo que não é possível aproveitar o calor residual das fontes acima referidas. No entanto, as AQS podem ser suprimidas com calor de baixa entalpia, pelo que as fontes mencionadas podem ser úteis para tal fim. Ainda assim, não serão analisadas as duas fontes de maior entalpia pelas seguintes razões:

- Exergia: o rendimento exergético da transferência de calor é tanto maior quanto menor for a diferença de temperaturas entre os fluidos quente e frio. (Pinho, 2017)
- Aplicabilidade das fontes não consideradas: as fontes de elevada entalpia permitem uma maior panóplia de aplicações do que as fontes de baixa entalpia, entre elas a produção de eletricidade ou, como é visto no próximo subcapítulo, numa máquina de absorção.

5.5.1. Análise técnica

De forma a validar a medida do ponto de vista técnico, foram recolhidas as informações relevantes dos equipamentos que necessitam de dissipação térmica e da localização e necessidades de AQS (tabela 5-6).

Tabela 5-6: Pontos de dissipação e consumo de calor para AQS

Equipamentos de dissipação de calor	Temperatura a que é libertado o calor [°C]	Calor libertado pelo equipamento [kW]	Período de funcionamento
Bombas hidráulicas	80	5 ^[1]	alternado
Compressores	75	12,25 ^[2]	contínuo
Chillers	35	830 ^[3]	contínuo
Pontos de consumo	Temperatura [°C]	Água consumida [l]	Período da necessidade
AQS Balneários do armazém	60	300 litros por turno	Final dos turnos
AQS Balneários do Edif. administrativo e cozinha	60	300 litros por turno + 300 litros/dia	Final dos turnos e preparação do almoço

^[1] O calor libertado gera-se através do atrito do óleo nas tubagens. Considera-se que 10% da potência fornecida ao óleo converte-se em calor, que é necessário ser removido do sistema.

^[2] O calor libertado pelo compressor está na ficha da ATLAS COPCO, no capítulo da unidade de recuperação de energia, referente ao modelo do compressor existente na empresa (Atlas Copco, 2019)

^[3] Sabendo que a potência média consumida pelos chillers é de 175kW em contínuo, e que a EER média dos chillers é de 3,74, a potência térmica dissipada pelo chiller é $175 \times (1 + 3,74) = 830 \text{ kW}_t$

Embora a potência libertada no chiller seja elevada, a temperatura impossibilita a sua utilização. No entanto, as temperaturas das restantes fontes são suficientes para produção de AQS. Com base no o consumo de água, é possível determinar as necessidades diárias para as duas zonas. O objetivo é verificar se em regime normal, o calor libertado é suficiente para a produção de AQS, sabendo que existem 3 turnos diários.

Tabela 5-7: Necessidades de calor para AQS

AQS Balneários do armazém	$\dot{Q}_{AQS} = \dot{m}_{AQS} \cdot c_{p_{\text{água}}} \cdot \Delta T_{AQS} = \frac{3 \cdot 300}{24 \cdot 3600} \cdot 4,186 \cdot (60 - 15) = 2,0W$
AQS Balneários do Edif. administrativo e cozinha	$\dot{Q}_{AQS} = \dot{m}_{AQS} \cdot c_{p_{\text{água}}} \cdot \Delta T_{AQS} = \frac{4 \cdot 300}{24 \cdot 3600} \cdot 4,186 \cdot (60 - 15) = 2,6 \text{ kW}$

Por questões de proximidade, estipula-se que as AQS do balneário do armazém são alimentadas pelo calor libertado nas bombas hidráulicas, o qual provém do aquecimento do óleo sob pressão devido ao atrito na rede hidráulica. As AQS do balneário do edifício administrativo e cozinha são alimentadas pelo calor dissipado no compressor. Verifica-se que o calor dissipado nos pontos verificados é mais que suficiente para suprimir as necessidades energéticas das AQS.

Ao estudar o compressor da Colquímica, verificou-se que a marca comercializa uma unidade de recuperação de energia, pelo que não é necessário dimensionar o permutador de calor. Tendo em atenção ao calor que esta unidade dispõem (12,25 kW) e ao calor necessário para as AQS (2,6 kW), verifica-se que esta unidade suprime as necessidades de calor. (Atlas Copco, 2019)

No entanto, é necessário calcular o permutador a usar nas bombas hidráulica. Escolhe-se instalar um permutador em cada uma das seis bombas hidráulicas, para que mesmo que só esteja uma a funcionar, exista sempre calor aproveitado. Este permutador necessita de uma válvula de três vias: sempre que a água do depósito já esteja quente, o permutador em vez de receber água do depósito, recebe a água do tanque frio para arrefecer o óleo da bomba hidráulica, como está atualmente. A água entra à temperatura da rede (15°C) e sai à temperatura de consumo (60°C). A fonte quente (óleo) está a 80°C (temperatura máxima) e deve arrefecer. A diferença de temperaturas escolhida para o arrefecimento do óleo é de 10 °C.

$$\dot{Q}_{AQS} = U_{PC} A_{PC} \Delta T_{ML} \Leftrightarrow 5000 = U_{PC} A_{PC} \cdot \frac{(80 - 60) - (70 - 15)}{\ln[(80 - 60)/(70 - 15)]} \Leftrightarrow$$

$$U_{PC} A_{PC} = \frac{5000}{29,92} = 167,11 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \text{ (Incropera, Dewitt, Bergman, \& Lavine, 2007)}$$

Atendendo aos valores da literatura do U_{PC} na transferência de calor líquido-líquido num permutador de placas é de 350 W/m²°C, então a área a incorporar no permutador é aproximadamente 0,5 m². É escolhido um permutador de placas devido à elevada eficiência pelo espaço ocupado. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

5.5.2. Análise logística

O grande problema logístico associado a esta medida de racionalização é a distância elevada entre as fontes de calor e os pontos de consumo, pelo que é necessário passar uma quantidade elevada de tubos: desde a central hidráulica ao balneário do armazém de matérias primas (cerca de 20 metros de distância) e desde os compressores até ao balneário do edifício administrativo (cerca de 50 metros). O problema surge não só das perdas de calor nas tubagens, mas principalmente pela necessidade de ter que passar as tubagens por zonas de trabalho. Além disso, é necessário investir e instalar uma bomba circulador para que exista permuta entre o sistema e as AQS:

5.5.3. Análise económica

Neste estudo foi feito apenas o levantamento do preço da unidade de recuperação de energia do compressor, que é de 12 000 €. Como tal, nesta análise económica, calcula-se a poupança anual e verifica-se o poupado em cinco anos. Se esse valor for igual ou superior ao valor gasto na instalação deste sistema (permutadores, tubagem, isolamento, bomba circuladora e controlo) , significa que a medida é viável. De referir que, como a água é aquecida atualmente por resistência elétrica, a energia calorífica que a água atualmente recebe corresponde à mesma energia elétrica gasta.

Tabela 5-8: Análise económica da utilização de calor dissipado para AQS

Retorno energético anual [kWh]	Retorno económico anual [€]	Retorno conseguido em cinco anos [€]	Preço admitido para o restante equipamento [€]
40 100	4 420	22 090	10 090

5.6. Instalação de um Chiller de Absorção

Como foi referido anteriormente, a Colquímica tem vários pontos de desperdício de energia sob a forma de calor. Uma das formas de aproveitar algumas fontes de calor pode ser através de uma máquina de absorção. Uma máquina de absorção é um equipamento que tem a capacidade de retirar calor a fonte fria, utilizando calor recebido de uma fonte quente, através de um ciclo de absorção, igual ao representado na figura.

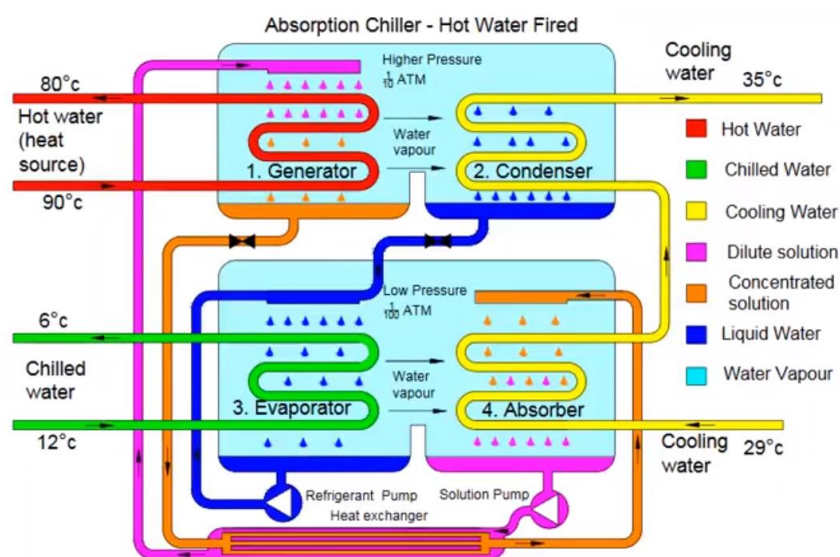


Figura 5-9: Esquema de funcionamento de um chiller de absorção (Yazaki Energy Systems, 2019)

De forma muito breve, o processo inicia-se numa câmara de alta pressão (10 KPa), onde no gerador, a solução diluída de água e brometo de lítio é aquecida pela fonte quente (água quente, ponto 1), o que faz evaporar parte da água da solução diluída, que de seguida é condensada por uma corrente fria (ponto 2). De seguida, a água passa por um vaso de expansão até chegar à câmara de baixa pressão (1 KPa), o que faz evaporar parte da água e arrefecer a outra parte que ficou no estado líquido. Essa água arrefecida vai receber o calor da fonte fria, o que vai fazê-la evaporar (ponto 3).

Essa água evaporada junta-se à solução concentrada de brometo de lítio que sobrou do gerador, gerando assim solução diluída (ponto 4). A junção da solução concentrada com vapor de água liberta calor, sendo que esse excesso de calor é removido com a corrente fria. Antes de voltar ao gerador, a solução diluída passa por um permutador de calor, onde recebe o calor da solução concentrada de brometo de lítio/água, de forma a aumentar a eficiência do processo.

A máquina de absorção poderia ser uma solução a aplicar à Colquímica, uma vez que, por um lado, existe necessidade de água gelada e por outro lado, existe dissipação de calor na gama de temperaturas adequadas à temperatura de alimentação de água quente da máquina de absorção.

5.6.1. Análise técnica

Através desta análise técnica, pretende-se verificar as características das fontes de dissipação térmica e tentar concilia-las com um equipamento de absorção existente no mercado. A tabela 5-9 apresenta zonas de potencial poupança.

Tabela 5-9: Características das fontes de calor a usar num sistema de absorção

Fontes de Calor	Temperatura máxima [°C]	Caudal máximo [kg/s]	Calor específico [kJ/kg°C]
Gases de combustão da Caldeira	280	0,48 ^[1]	1,158
Cola das BP ^[2]	140	3×0,195 ^[3]	1,616

^[1] Cálculo do caudal de gases de combustão presente em anexo

^[2] A fonte de calor provém do arrefecimento da cola desde a temperatura do tanque de vazamento (140°C) até à temperatura correta para extrusão (110°C)

^[3] Estima-se um caudal máximo de cola de 700 kg/h pelas três linha de BP

Embora a cola esteja a uma temperatura nos tanques de vazamento de 140°C, a temperatura disponível é inferior, devido à eficiência de permuta de calor e à cascata de transferência de calor desde a cola à água, passando pelo termofluido (ver figura 5.10).

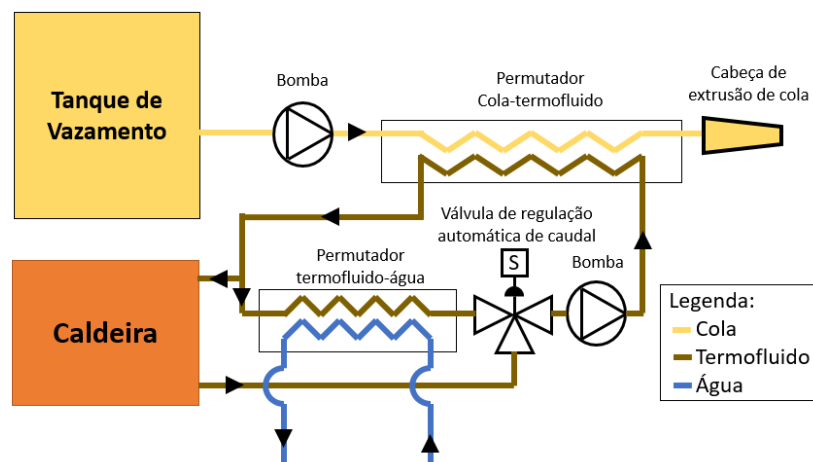


Figura 5-10: Esquema de controlo de temperatura da cola na extrusão

Este sistema possibilita o controlo da temperatura de extrusão da cola. O elemento essencial no controlo é a válvula reguladora de caudal de três vias. Esta válvula controla a quantidade de termofluido que circula pela caldeira e pelo permutador de água fria. Na maior parte dos casos, a cola está a uma temperatura acima da esperada para extrusão, pelo que a válvula apenas circula o termofluido pelo permutador termofluido-água, sendo que é essa água que poderia ser usada num ciclo de absorção. No entanto, em algumas situações, a cola fica demasiado tempo no tanque de vazamento, o que faz com que a sua temperatura fique abaixo do ideal para extrusão. Nesses casos, a válvula reguladora de caudal faz circular o termofluido pela caldeira.

Para que a água de arrefecimento do termofluido deste sistema possa ser usada num ciclo de absorção, é necessário substituir os permutadores de calor termofluido-água, uma vez a eficiência dos permutadores atuais não é suficiente para elevar a temperatura da água nas gamas adequadas para o chiller de absorção.

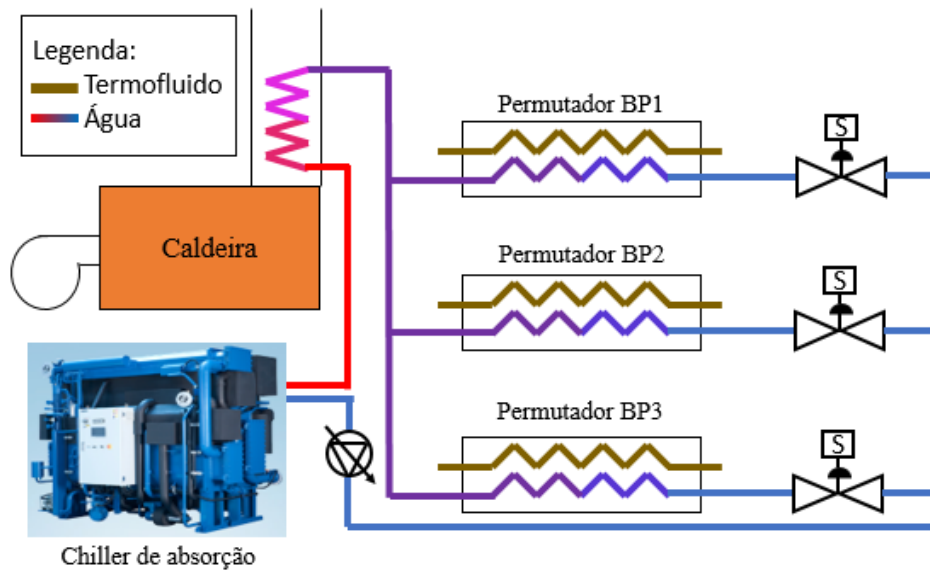


Figura 5-11: Esquema da instalação de aproveitamento do calor dissipado

As válvulas controladas permitem encerrar os circuitos quando o permutador da linha em questão não esteja a ser solicitado, o que permite, por um lado, evitar a perda de carga inerente à passagem pelo permutador, mas por outro, são essenciais para que a água apenas passe nos circuitos quando é para aquecer.

Dimensionamento dos permutadores de Calor

Este dimensionamento depende da seleção do chiller de absorção, nomeadamente na temperatura de ida e retorno do chiller. No catálogo da marca de chillers de absorção a estudar, existem duas gamas de temperaturas de ida e retorno: num dos chillers, as temperaturas da água de alimentação são 95°C/80°C, e no outro chiller, as gamas de temperatura são de 95°C/55°C. Embora o coeficiente de performance do primeiro chiller seja 10% superior e o seu preço ser inferior, o segundo chiller possibilita um maior aproveitamento de calor dos gases de escape. (World Energy, 2019)

Os permutadores termofluido/água e gases de escape/água serão dimensionados para as duas gamas de temperatura da água do gerador do chiller apresentadas. Serão usados permutadores de placas para a transferência de calor termofluido/água. A temperatura do termofluido verificada após o permutador cola/termofluido é de 105 °C. Estima-se uma temperatura do termofluido à saída do novo permutador de 90°C.

Temperatura da água do gerador: 95°C/80°C

Permutador termofluido/água

$$\dot{Q}_{cola} = \dot{m}_{cola} \cdot c_{p_{cola}} \cdot \Delta T_{cola} = 0,195 \cdot 1,616 \cdot (140 - 110) = 9,45 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{cola} = U_{PC} A_{PC} \Delta T_{ML} = U_{PC} A_{PC} \cdot \frac{(100 - 95) - (90 - 80)}{\ln[(100 - 95)/(90 - 80)]} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow U_{PC} A_{PC} = \frac{9,45}{7,21} = 1,31 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$$

O valor do coeficiente global de transferência de calor médio líquido-líquido é $350 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo então a área a incorporar de $3,75 \text{ m}^2$. São necessários 3 permutadores de placas, um para cada linha de BP. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

Permutador gases de combustão/água

A temperatura mínima que os gases de escape podem atingir é de $80 \text{ }^\circ\text{C}$, que é a temperatura mínima a que a água pode entrar no permutador. No entanto, devido à eficiência de permuta, para transferência de calor ar-água, a eficiência ronda os 80%. Assim, considera-se um arrefecimento dos gases de exaustão da caldeira até aos 120°C .

$$\dot{Q}_{gases} = \dot{m}_{gases} \cdot c_{p_{gases}} \cdot \Delta T_{gases} = 0,4801 \cdot 1,158 \cdot (280 - 120) = 88,95 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{gases} &= U_{PC} A_{PC} \Delta T_{ML} = U_{PC} A_{PC} \cdot \frac{(280 - 95) - (120 - 80)}{\ln[(280 - 95)/(120 - 80)]} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow U_{PC} A_{PC} = \frac{88,95}{158,88} = 0,560 \text{ kW/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

O coeficiente global de transferência de calor médio gás-líquido é de $50 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo então a área a incorporar neste permutador de $11,2 \text{ m}^2$. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

Temperatura da água do gerador: $95^\circ\text{C}/55^\circ\text{C}$

Permutador termofluido/água

$$\dot{Q}_{cola} = \dot{m}_{cola} \cdot c_{p_{cola}} \cdot \Delta T_{cola} = 0,195 \cdot 1,616 \cdot (140 - 110) = 9,45 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{cola} &= U_{PC} A_{PC} \Delta T_{ML} = U_{PC} A_{PC} \cdot \frac{(100 - 95) - (90 - 55)}{\ln[(100 - 95)/(90 - 55)]} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow U_{PC} A_{PC} = \frac{9,45}{23,00} = 0,41 \text{ kW/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tendo em conta os valores da literatura para o coeficiente global de transferência de calor médio líquido-líquido ($350 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), a área a incorporar no permutador de placas é de cerca de $1,17 \text{ m}^2$ de placas. São necessários 3 permutadores de placas, um para cada linha de BP. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

Permutador gases de combustão/água

Por norma, a temperatura de condensação da água nos gases de escape anda por volta dos 55 a 60°C . Essa gama de temperatura impossibilita a utilização do calor de condensação da água para utilização num ciclo de absorção. Ainda assim, por haver possibilidade de existir condensação, escolhe-se um permutador com possibilidade de condensação.

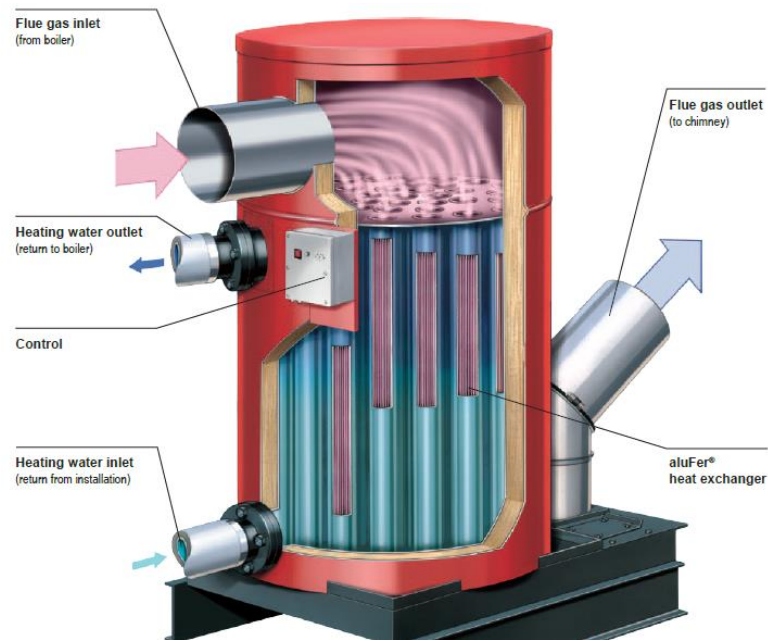


Figura 5-12: Esquema do permutador gases de escape/água com condensação (Hoval, 2019)

Embora a caldeira tenha uma potência nominal de 1162 kW, esta potência é atingida muito poucas vezes. Assim, tendo em conta a tabela seguinte, deve-se escolher um permutador de potência inferior. A potência escolhida é de 950 kW, o que corresponde a 82% da carga nominal da caldeira. De seguida apresenta-se o cálculo do calor máximo possível de obter, tendo em conta que, como a eficiência de permuta não é de 100%, estima-se uma temperatura de saída dos gases de escape de 80°C

Tabela 5-10: Características do permutador de gases de escape com condensação (Hoval, 2019)

Technical data ThermoCondensor aluFer®	nominal output kW	water content l	length mm	width mm	height mm	weight casing incl. kg
(450)	450	99	1140	688	1682	302
(650)	650	208	1454	798	1831	477
(950)	950	179	1454	798	1831	527
(1050)	1500	239	1575	978	1908	989
(2000)	2000	325	1575	978	2208	1196
(2600)	2600	321	1761	1158	1970	1266
(3200)	3200	436	1761	1158	2270	1582

Finalmente, calcula-se a potência máxima que se pode obter deste permutador de condensação.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{gases} &= \dot{m}_{gases} \cdot c_{p_{gases}} \cdot \Delta T = \\ &= 0,4801 \cdot 1,158 \cdot (280 - 80) = 111,2 \text{ kW}\end{aligned}$$

5.6.2. Análise Logística

O grande entrave logístico à instalação de um chiller de absorção é a falta de espaço da central de água fria/gelada. A central de água fria/gelada contém 6 chillers por compressão, 6 tanques de armazenamento de água mais etilenoglicol, os tanques de água fria e respetivas bombas de elevação à torre de evaporação, quatro bombas de circulação de água mais etilenoglicol. No entanto, dois dos chillers estão quase sempre desligados: em vez de estarem todos à carga parcial, estão apenas alguns ativos, mas à carga nominal. Uma das soluções seria retirar um chiller para poder alocar o chiller de absorção. Outra solução será explorada à frente como medida de eficiência energética, a qual estuda a utilização de dois tanques de água mais etilenoglicol, ao qual todos os chillers estão ligados, podendo assim eliminar parte dos chillers.

5.6.3. Análise Económica

Nesta análise económica, pretende-se avaliar qual o melhor chiller de absorção a instalar. Embora o dimensionamento dos equipamentos tenha sido feito para as condições nominais, nem a caldeira nem as linhas de extrusão estão sempre às condições nominais. Assim, para o estudo, estima-se que a caldeira estará na média a 50% da carga, bem como as linhas de extrusão (fator de carga). A potência a incorporar no chiller não deve ser para o máximo dos equipamentos, uma vez este regime raramente é atingido. Assim, incorpora-se uma potência máxima de 80 % do máximo possível de obter nas condições nominais

Tabela 5-11: Poupança decorrente da instalação do chiller de absorção

Gama dos chillers [°C]	EER dos chillers	Energia térmica gerada [kWh/ano] ^[1]	Energia elétrica poupada ^[2] [kWh/ano]	Poupança anual [€]
95/80	0,827	424 890	113 300	12 480
95/55	0,701	428 470	114 564	12 620

^[1] A energia térmica gerada pelo chiller de absorção obtém-se multiplicando a potência térmica nominal pelo EER, pelo fator de carga e pelo tempo de funcionamento, que são as 24 horas do dia multiplicando pelos 365 dias do ano.

^[2] A energia térmica gerada pelo chiller de absorção evita a energia térmica a gerar pelos chillers de compressão. Para saber a energia elétrica poupada, divide-se a energia térmica gerada pelo EER médio dos chillers de compressão da empresa. Fazendo a média ponderada dos COP dos chiller da empresa, obtém-se um EER de 3,74.

Verifica-se que a instalação do chiller de duplo efeito (gama de temperaturas 90/55) não é vantajosa, uma vez que, embora o valor retornado anualmente seja muito próximo ao chiller de simples efeito (gamas de temperatura de 95/80), o seu custo é mais avultado. Assim, faz-se o cálculo do retorno com o chiller de simples efeito (gama de temperaturas 90/55).

Tabela 5-12: Preço de toda a instalação e retorno do investimento realizado

Gama de temperatura dos chillers [°C]	Preço do equipamento ^[1] [€]	Preço restante da instalação ^[2] [€]	Payback [anos]
95/80	70 000	25 000	7,6

^[1] Obtido através da comparação entre a potência térmica do chiller de absorção e o respetivo preço (Schöpfer, 2019)

^[2] preço estimado: inclui o preço dos permutadores de calor, circuito hidráulico, sistema de controlo e instalação do de todo o sistema

5.7. Alteração do esquema da central de água fria

Como foi referido anteriormente, a Colquímica dispõe de tanques com uma mistura de água mais etilenoglicol, por duas principais razões: porque ao utilizar apenas água como fluido a arrefecer no chiller, o permutador do chiller pode danificar-se devido ao congelamento, sendo a sua reparação muito dispendiosa e porque o reservatório de água fria funciona como um volante de inércia térmica, pois aquando do arrefecimento das colas, a energia cedida pelo chiller não é suficiente para a quantidade de cola que é produzida possa ser arrefecida. Além disso, os chillers da Colquímica têm diferentes capacidades e EER. Aliás, o chiller de maior EER da Colquímica costuma estar parado, funcionando apenas como auxiliar quando a necessidade de arrefecimento atinge elevados níveis.

Tendo estes fatores em mente, uma das medidas de eficiência energética a apontar à Colquímica é a de utilizar apenas dois tanques de mistura água+etilenoglicol comuns para todas as linhas de produção, em que apenas seria utilizados os três chillers mais eficientes e com potência superior (Os dois Carrier 30RW-245 e o Carrier 30HCX 080) para produção de frio, sendo que a sua capacidade de arrefecimento (1325 kW_t) é superior aos quatro chillers usados atualmente (1153 kW_t). Esta medida também possibilita maior capacidade de refrigeração nos períodos críticos de necessidade de arrefecimento, devido à maior capacidade de retenção de mistura de água mais etilenoglicol. De seguida é apresentado o esquema da instalação sugerido.

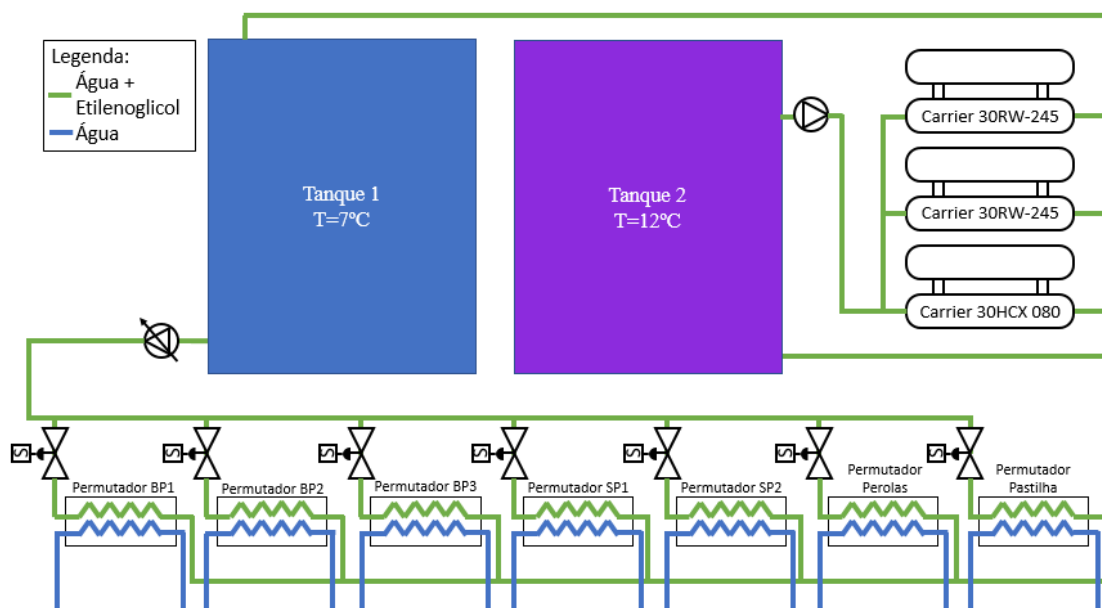


Figura 5-13: Esquema proposto para a geração de água gelada

Além desta medida trazer vantagens ao nível da eficiência global dos chillers, existe também vantagens no sistema de bombagem de água+etilenoglicol, uma vez que, quando uma linha não está a necessitar de água fria, a válvula do permutador de calor da linha pode fechar, e a bomba consome menos, por ser escolhida uma bomba com variador eletrónico de velocidade.

5.7.1. Análise Técnica

Nesta análise pretende-se determinar a energia poupada utilizando este sistema em relação ao sistema atual. Para tal calcula-se a média ponderada do EER atual dos chillers e do EER dos chillers escolhidos para o sistema indicado. Sabendo a energia elétrica média gasta pelos chillers atuais, calcula-se a potência que se gastaria com o EER do esquema com os chillers mais eficientes.

Tabela 5-13: Comparação do COP e da energia consumida dos dois esquemas em estudo

	EER médio ponderado	Potência média consumida
Esquema atual dos chillers	$EER_{global} = \frac{\sum COP_i \cdot \dot{P}_{ele_i}}{\sum \dot{P}_{ele_i}} = 3,74$	<i>Potência média = 175kW</i>
Esquema com chillers eficientes	$EER_{global} = \frac{\sum COP_i \cdot \dot{P}_{ele_i}}{\sum \dot{P}_{ele_i}} = 4,48$	<i>Potência média = 146kW</i>

5.7.2. Análise Logística

Esta medida traz duas vantagens logísticas para a empresa: Primeiro, porque a utilização de menos quantidade de chillers vai, por um lado, reduzir o numero de operações de manutenção, e por outro, a quantidade de espaço disponível na central de água fria torna-se bastante maior.

Segundo porque, por vezes, a água das piscinas de arrefecimento não está fria o suficiente. Com tanques de armazenamento de etilenoglicol com mais capacidade e chillers partilhados, essa lacuna pode ser colmatada. Por exemplo, se as três linhas de BP tenham elevada necessidade de arrefecimento e as SP não tenham essa necessidade, a potencia do chiller das BP não consegue suprimir as necessidades de arrefecimento, enquanto que o chiller das SP está a baixa carga. Com este sistema, a supressão das necessidades energéticas seria facilmente colmatada.

5.7.3. Análise Económica

Neste estudo não foi feito o levantamento dos custos dos novos tanques, da bomba de velocidade variável, das válvulas e da instalação. Assim, nesta análise económica, pretende-se calcular o retorno anual da alteração sugerida, e multiplica-lo por cinco anos de funcionamento. Se a poupança realizada em cinco anos for igual ou superior ao investimento dos tanques, da bomba e das válvulas e da instalação, então a alteração é viável economicamente.

Tabela 5-14: Poupança realizada na alteração do esquema de arrefecimento

Redução da potência consumida [kW]	Poupança [€/ano]	Poupança em cinco anos [€]
29	27 940	139 720

Capítulo 6 - Conclusão e trabalhos futuros

Através do levantamento do estado da arte da eficiência energética, com incidência na indústria, conclui-se que as medidas tomadas da criação do SGCIE e de fundos de investimento a medidas de incremento de eficientes são cruciais para uma maior racionalização de energia na indústria. É importante que as empresas estejam cada vez mais a par das iniciativas de incremento energético, uma vez a poupança de energia é do interesse da empresa, do ambiente e do estado.

Concluindo acerca da auditoria energética do âmbito SGCIE, existem pontos a destacar. Pela positiva, destaca-se o método seguido na realização da auditoria, sendo esta bastante explícita e fácil de compreender. Além disso, destaca-se pelo bom trabalho em relação à recolha de dados de consumo e pela explicação detalhada de todos os setores de consumo da empresa.

O lado menos bom da auditoria SGCIE prende-se com as medidas apresentadas. As medidas apresentadas são transversais às indústrias, pelo que não são exploradas as especificidades desta para poupar energia. Por outro lado, as medidas da auditoria SGCIE são de fácil execução, onde indica-se para desligar equipamentos quando não são usados, troca de equipamentos existentes por outros mais eficientes e alteração de parâmetros de funcionamento em alguns equipamentos. Daqui a cinco anos, quando a Colquímica voltar a fazer a auditoria energética, terá que se recorrer a medidas profundas que exigirão uma forte reestruturação na empresa.

No que toca às medidas de racionalização de energia propostas neste trabalho, a tabela seguinte condensa todas as medidas estudadas. Deve-se ter em conta que o preço da eletricidade e de gás natural não é fixo. Analisando a tendência do preço da energia elétrica (figura 6-1), verifica-se que a poupança energética provavelmente será superior aquela que se apresenta.

Tabela 6-1: Síntese das medidas de racionalização de energia analisadas

Medida	Redução de consumo [kWh]	Redução de consumo [tep]	Retorno [€/ano]	Investimento [€]	Payback (anos)
5.1	29 780	6,40	3 280	0	0
5.2	41 170	8,85	4 530	---	---
5.3	0	0	3 840	---	---
5.4	34 650	7,45	3 820	8150	2,2
5.5	40 100	8,62	4 420	---	---
5.6	113 300	24,36	12 480	95 000	7,6
5.7	254 040	54,62	27 980	---	---
Total	513 040	110	60 350	---	---

Como a Colquímica consumiu 1127,844 tep no ano de 2017, a implementação das medidas apresentadas nesta dissertação, a par com as medidas apresentadas na auditoria SGCIE fazia com que a Colquímica deixasse de consumir mais de 1000 tep/ano, o que iria aliviar bastante os compromissos impostos pelo SGCIE.

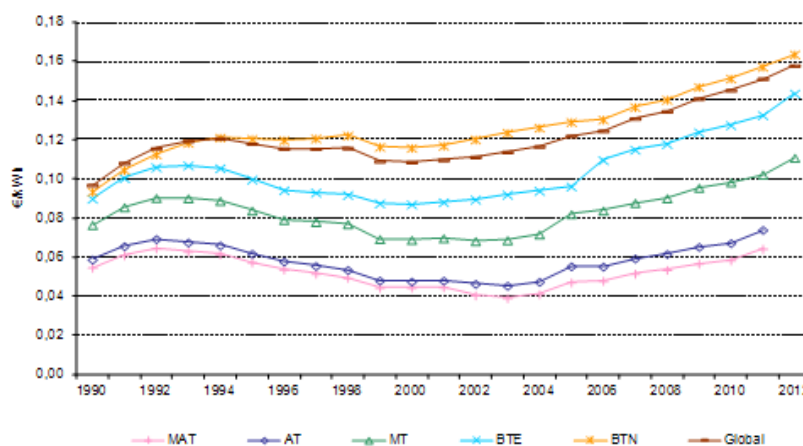


Figura 6-1: Histórico do preço da eletricidade (ERSE, 2019)(editado)

No que toca a trabalhos futuros, há mais soluções de eficiência energética que poderiam ser estudadas. Uma das vantagens de operar numa indústria de colas é o elevado poder calorífico da cola, maioritariamente constituída por hidrocarbonetos. No processo produtivo existem desperdícios de componentes de cola que podem ser aproveitados para queima.

Um desses desperdícios são os gases voláteis libertados na maturação da cola nos reatores, que atualmente são libertados para a atmosfera. Este aproveitamento traria as seguintes vantagens:

- Diminuição do consumo de gás natural na caldeira, usando estes gases voláteis como fonte auxiliar de calor
- Ao libertar estes gases, é criada uma camada de um material por cima do telhado semelhante a cera, devido à condensação posterior destes gases. Este efeito impossibilita a instalação de painéis solares fotovoltaicos/térmicos, uma vez que este efeito iria criar uma opacidade no painel, o que iria reduzir substancialmente a eficiência destes.

Outro desperdício de componentes com elevado poder calorífico surge dos resíduos filtrados na ETAR, os quais são maioritariamente componentes de cola. Ao aproveitar estes resíduos não só se evitava queimar tanto gás natural na caldeira, como também evitava os grandes custos derivados da deposição desses resíduos em aterro.

Devido ao efeito de deposição dos gases abordada acima não foi possível estudar a instalação de concentradores solares. Este equipamento concentra a radiação solar, o que permite aquecer fluidos a alta temperatura, suficiente para o aquecimento do termofluido que circula na caldeira e reatores. Seria interessante estudar a rentabilidade destes coletores face aos painéis fotovoltaicos: embora o custo da eletricidade seja 2,5 vezes superior ao do gás natural por kWh, os concentradores têm uma eficiência cerca de 2,5 vezes superior aos painéis fotovoltaicos.

Referências Bibliográficas

- A. Ramalhão. (2017). *Auditoria Energética à Colquímica - Industria Nacional de Cola, S.A.*
- Afonso, C. (2014). Auditorias Energéticas. *Proceedings CLME'2014 - 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e IVCEM - 4º Congresso de Engenharia de Moçambique.*
- Atlas Copco. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Atlas Copco: https://www.atlascopco.com/en-uk/compressors/products/energy_recovery
- BCSD Portugal. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Manual de boas práticas de eficiência energética. Obtido de http://eficiencia-energetica.com/images/upload/manual_boas_praticas_EE.pdf
- Climate Central. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). www.climatecentral.org. Obtido de <https://www.climatecentral.org/gallery/graphics/co2-and-rising-global-temperatures>
- Colquímica Adhesives. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Website da Colquímica Adhesives: <https://www.colquimica.pt/pt/colquimica-adhesives/>
- de Sá, A. F. (2010). *Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética.* Publindústria.
- EDP. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de EDP Serviço Universal: <https://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosMT.aspx>
- ERSE. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de ERSE: <http://www.erse.pt/>
- Fluke. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Website da Fluke: <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/power-and-energy-loggers/three-phase-power-and-energy-loggers/fluke-1736>
- Galp . (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Galp Gás Natural Distribuição: <http://galpgasnaturaldistribuicao.pt/Centro-de-Informa%C3%A7%C3%A3o/Monitorizacao-do-gas-natural>
- Hoval. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Hoval: http://www.hovalpartners.com/zoolu-website/media/document/6741/ThermoCondensor_aluFer_brochure.PDF
- HS Dynamic. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de HS Dynamic: HS Dynamic
- IAPMEI, ADENE, & LNEG. (2012). *Estratégia de Eficiência energética em PME.* IAPMEI.
- IEA. (2016). *Energy Policies of IEA Countries: Portugal 2016 Review.* International Energy Agency.
- IEA. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de IEA: <https://www.iea.org/>

- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Jon Wiley & Sons, Inc.
- Kreith, F., & Goswami, Y. (2007). *Energy Managment and Conservation Handbook*. CRC Press.
- Magueijo, V., Fernades, M. C., Matos, H. A., Nunes, C. P., Calau, J. P., Carneiro, J., & Oliveira, F. (2010). *Medidas de Eficiência Energética Aplicaveis à Industrial Portuguesa:Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*. ADENE - Agência para a Energia.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pinho, C. (2017). *Gestão de Energia Térmica*. Porto.
- PNAEE. (Acedido a 22 de Janero de 2019). Obtido de PNAEE: <http://www.pnaee.pt/>
- Schöpfer, M. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997255396/ExtendedAbstract_Final.pdf
- SGCIE. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de SGCIE: <http://sgcie.publico.adene.pt/SGCIE/Paginas/Enquadramento.aspx>
- Varisco. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Varisco.it: https://www.varisco.it/uploads/medias/8_Depliant%20-%20Brochure%20J%20%20-%202016.03%20Rev.16%20-%20IT-FR-ES.pdf
- World Energy. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de World Energy: <http://worldenergy.co.kr/en/absorption-chiller-2/>
- Yazaki Energy Systems. (Acedido a 22 de Janeiro de 2019). Obtido de Yazaki Energy Systems: <http://www.yazakienergy.com/>

Anexos

Cálculo do calor específico da cola

Para calcular o calor específico da cola, verteu-se uma massa de 101,8 gramas de cola a uma temperatura de 120,0 °C numa massa de 185,0 gramas de água a 19,8 °C no recipiente mostrado na figura seguinte, o qual se revestiu de material isolante para não transferir calor ao exterior.

De seguida, com recurso a dois termómetros, mediu-se a temperatura da água e da cola em simultâneo durante seis minutos. Obtidos os valores traça-se uma curva polinomial ajustada aos pontos obtidos com auxílio do Excel.

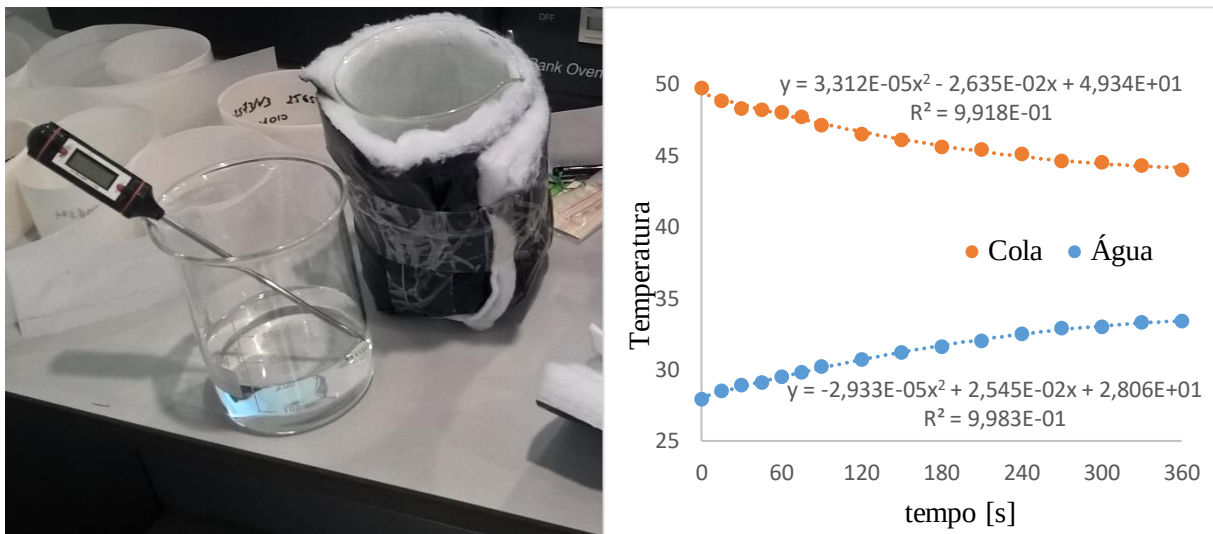


Figura A-0-1: Aparato experimental e pontos obtidos

De seguida, recorreu-se à seguinte equação de balanço de energia da cola e da água:

$$Q_{cola} = Q_{agua} \Leftrightarrow m_{cola} \cdot c_{p_{cola}} \cdot \Delta T_{cola} = m_{agua} \cdot c_{p_{agua}} \cdot \Delta T_{agua}$$

Com as equações obtidas através dos pontos, estimou-se a temperatura de estabilização da cola e da água. Não foi possível obter experimentalmente essa temperatura devido ao calor que se perdia para o exterior, que não é desprezável no tempo necessário à estabilização. A temperatura de estabilização obtida foi de 37,35 °C. Aplicando a equação:

$$0,1018 \cdot c_{p_{cola}} \cdot (120,0 - 37,35) = 0,1850 \cdot 4,185 \cdot (37,35 - 19,8) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow c_{p_{cola}} = 1,616 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Cálculo das propriedades dos gases de combustão

Inicialmente obtêm-se a composição molar do gás natural: 90,5% de CH₄, 6,54% de C₂H₆, 1,75 % de C₃H₈. Os restantes compostos são desprezáveis, considerando N₂ como o restante. (Galp , 2019) De seguida, determina-se a quantidade de ar estequiométrica: 10,08 mol de ar por mol de Gás natural. Tendo em conta que a caldeira tem um excesso de ar de 15 % (A. Ramalhão, 2017), a razão ar-combustível obtida é de 18,995 kg de ar por kg de combustível. Para uma potência da caldeira de 1162 kW (potência máxima), sabendo que o PCI do gás natural é de 48398 kJ/Kg, o caudal de combustível é de 0,02401 Kg/s, e a quantidade correspondente de ar é de 0,4561 Kg/s, sendo que o caudal da mistura ar-combustível é de 0,4801 kg/s.

Tabela A-0-1: Cálculo do rácio ar-combustível existente na caldeira

Molécula	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	N ₂	Total
% molar [%]	90,05	6,54	1,75	1,66	100
% mássica [%]	81,84	11,14	4,37	2,64	100
O ₂ estequiométrico mediante a % molar de composto [mol O ₂ /mol molécula]	1,801	0,2289	0,0875	0	2,1174
Ar estequiométrico [mol Ar/mol composto]	8,567	1,090	0,4167	0	10,08
Ar com excesso de 15% [mol Ar/mol molécula]	9,863	1,254	0,4792	0	11,60
Ar com excesso de 15% [Kg Ar/Kg molécula]	16,16	2,054	0,7850	0	18,995

Para o cálculo do calor específico dos gases de combustão, é necessário saber a composição molecular dos gases de combustão. Considerando que a combustão dos constituintes do gás natural é completa, determina-se a percentagem mássica de cada constituinte dos gases de combustão: 10,58% de H₂O, 13,56% de CO₂, 72,96 % de N₂ e 2,89% de O₂. Sabendo a sua composição, calcula-se o calor específico médio de todos os componentes desde a temperatura de 280°C até 100°C. A partir daí, calcula-se a média ponderada dos calores específicos dos vários componentes para ter o valor médio, que é de 1,158 kJ/kg°C.

Cálculo da potência gerada na turbina

Tabela A-0-2: Identificação das características comuns às duas tubagens em estudo

Variável	h_{util}	$\dot{V}_{\text{água}}$	g	$\rho_{\text{água}}$	$\mu_{\text{água}}$	$\eta_{\text{elétrico}}$	ε
Valor	9,78	0,051	9,8	1000	0,001	0,81189	0,045
Unidades	m	m ³ /s	m/s ²	kg/m ³	Pa·s	-	[mm]

Tabela A-0-3: Características das duas tubagens e respetivo cálculo de perda de carga
(Munson, Young, Okiishi, & Huebsch, 2009)

Características da tubagem atual							
Variáveis	L_{tubo}	ϕ_i	v_{tub}	ε / ϕ_i	r_{curv}	Re	f
Valor	18,73	0,162	2,49	$2,79 \times 10^{-4}$	0,150	$4,021 \times 10^5$	0,026
Unidades	[m]	[m]	[m/s]	---	[m]	---	---
Perdas de pressão na tubagem atual							
Tipo	Localizadas				Distribuídas		Total
Variáveis	K_{curva}	n_{curvas}	ΔP	Δh	ΔP	Δh	h_{perdas}
Valor	0,35	6	6511	0,6644	243,8	0,02488	0,6893
Unidades	---	---	Pa	m	Pa	m	m
Características da tubagem ideal							
Variáveis	L	ϕ_i	v_{tub}	ε / ϕ_i	r_{curv}	Re	f
Valor	12,00	219	1,354	$2,06 \times 10^{-4}$	0,800	$2,965 \times 10^5$	0,017
Unidades	[m]	[m]	[m/s]	---	[m]	---	---
Perdas de pressão na tubagem ideal							
Tipo	Localizadas				Distribuídas		Total
Variáveis	K_{curva}	n_{curvas}	ΔP	Δh	ΔP	Δh	h_{perdas}
Valor	0,1	2	183,3	0,01871	40,95	0,00418	0,02288
Unidades	---	---	Pa	m	Pa	m	m

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot K_{\text{curva}} \cdot v_{\text{tub}}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Potência Elétrica} = \dot{V}_{\text{água}} \cdot \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot (h_{\text{útil}} - h_{\text{perdas}}) \cdot \eta_{\text{elétrico}} \\ \eta_{\text{elétrico}} = \eta_{\text{turbina}} \cdot \eta_{\text{gerador}} \cdot \eta_{\text{inversor}} \end{array} \right.$$

(Munson, Young, Okiishi, & Huebsch, 2009)

Repartição diária por horário de consumo elétrico

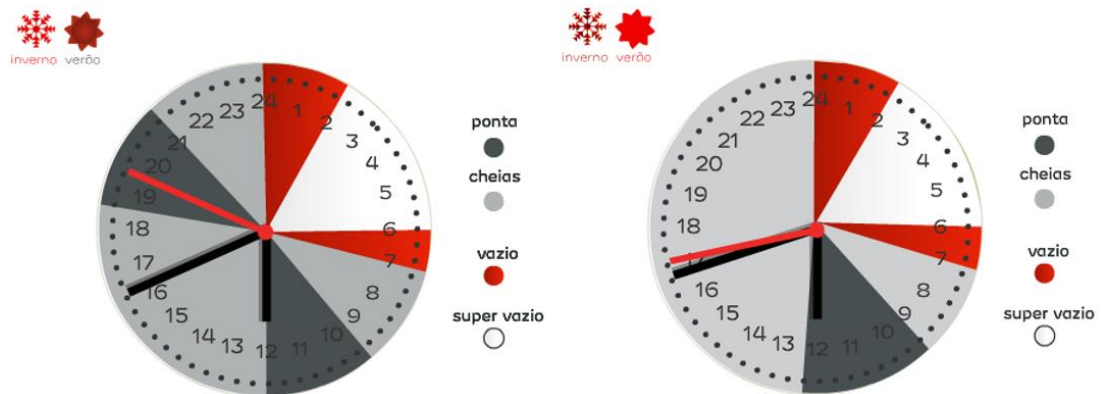


Figura A-0-2: Repartição diária por horário de consumo elétrico (EDP, 2019)

Curva de funcionamento das bombas da torre de evaporação

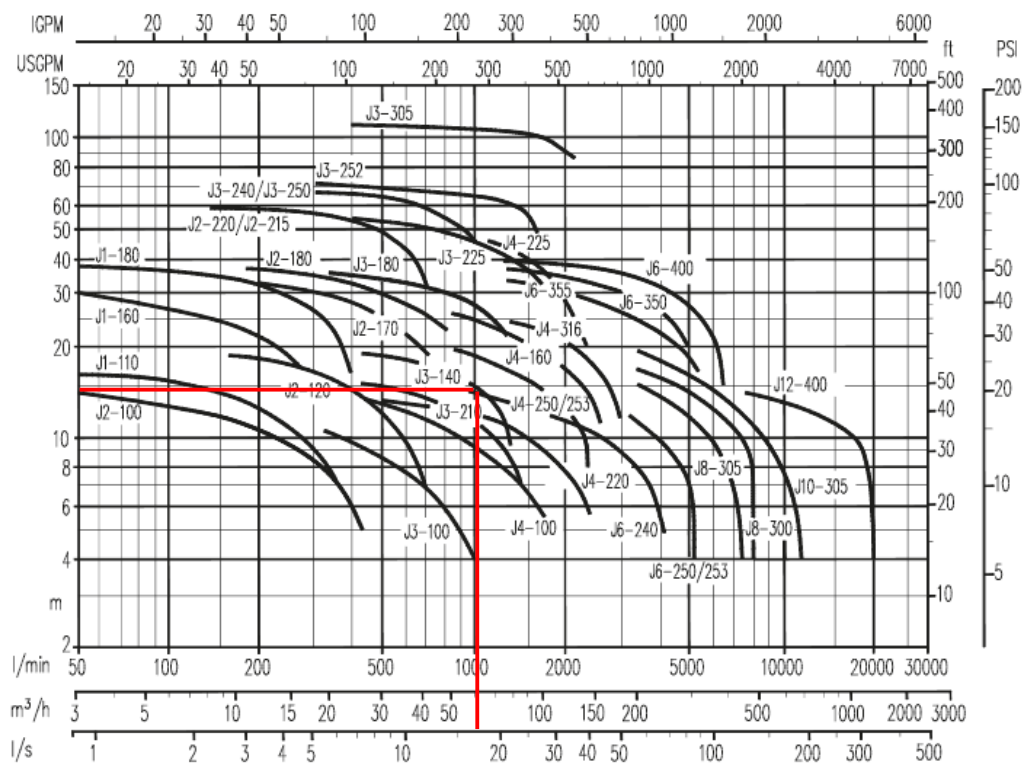


Figura A-0-3: Curva de funcionamento das bombas da torre de evaporação (Varisco, 2019)