



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Auditorias de Energia em Instalações Industriais do Setor Automóvel

PEDRO MIGUEL DE SOUSA BELO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientador:

Prof. Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Prof. Doutor Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves

Prof. Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Dezembro de 2015



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Auditorias de Energia em Instalações Industriais do Setor Automóvel

PEDRO MIGUEL DE SOUSA BELO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientador:

Prof. Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Prof. Doutor Gonçalo Nuno Antunes Gonçalves

Prof. Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Dezembro de 2015

Agradecimentos

Ao orientador, Professor Nuno Paulo Ferreira Henriques, um agradecimento muito especial pela dedicação, pelos ensinamentos, pela orientação e pelas palavras de incentivo que muito ajudaram na realização desta dissertação. E a todos os restantes professores que me acompanharam nestes vários anos de estudos e que indiretamente contribuíram para que alcançasse esta meta.

À empresa CCenergia e os vários colaboradores, o muito obrigado pelo conhecimento transmitido e apoio dispensado para a realização desta dissertação.

Aos meus pais e ao meu irmão, muito obrigado por tudo. Obrigado por investirem em mim, na minha formação, para que hoje pudesse estar aqui. Sem a vossa persistência e força não teria conseguido terminar esta etapa.

À minha namorada, Carla, por toda a paciência, incentivo, compreensão e companheirismo desde o início até à conclusão desta importante e difícil etapa. À restante família e amigos, alguns em especial, que sempre me apoiaram e ajudaram no meu percurso de vida e académico.

Resumo

As instalações industriais são responsáveis pela maior fatia do consumo energético em Portugal e mesmo a nível mundial. Sendo por isso dos principais responsáveis pela emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

Em Portugal grande parte das instalações industriais são antigas, traduzindo-se em tecnologia ultrapassada e pouco eficiente e na utilização da energia de forma ineficiente, implicando um consumo desnecessário de energia.

As auditorias energéticas surgem assim como um instrumento fundamental na indústria, para contabilizar e apurar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção, através da apresentação de medidas de utilização racional de energia (URE).

Na procura pela eficiência também o processo de realização dessas auditorias pode ser otimizado e mais eficiente. Foi esse intuito que deu origem a este trabalho, facilitar os técnicos na realização das auditorias. Evitando assim, irem para uma auditoria na indústria automóvel com uma folha em branco.

A metodologia abordada passou pela elaboração de checklists para vários sistemas existentes na indústria automóvel com a enumeração dos pontos essenciais a recolher e analisar, para que se possa efetuar uma correta e completa avaliação energética da instalação.

Palavras-chave: Auditorias energéticas, indústria automóvel, energia, eficiência energética.

Abstract

Industrial plants account for the largest share of energy consumption in Portugal and even worldwide. So it is major contributor to the greenhouse gas emissions of greenhouse gases into the atmosphere.

In Portugal most of the industrial facilities are old, resulting in outdated and inefficient and use energy inefficiently technology, implying an unnecessary power consumption.

Energy audits are thus a key tool in the industry, to account for and assess energy consumption, the energy efficiency of its equipment and the losses that occur, with the ultimate aim to reduce these losses without affecting production, by submitting rational use of measures of energy.

In the search for efficiency also the process of conducting such audits can be optimized and more efficient. It was this order that led to this work, the technical ease in carrying out audits. Thus avoiding going to an audit in the automotive industry with a blank sheet.

The methodology addressed spent for the preparation of checklists for various existing systems in the automotive industry with the list of essential points to collect and analyze, so you can make a correct and complete energy assessment of the installation.

Keywords: Energy auditing, automobile industry, energy, energy efficiency.

Glossário

2DS – (2°C Scenario)

6DS – (6°C Scenario)

AE – Auditoria Energética

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CCS – (Carbon Capture and Storage)

CEE – Consumo Específico de Energia

CEH - Congress for Environmental History

EER – Eficiência Energética de Refrigeração

IC – Intensidade Carbónica

IE – Intensidade Energética

IEE – Índice de Eficiência Energética

IRC – Índice de Restituição de Cor

MRE – Medidas de Racionalização de Energia

PNAEE – Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética

PNALE – Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão

PREn – Planos de Racionalização Energética

PRI – Período de Retorno do Investimento

PRS – Período de Retorno Simples

QAI – Qualidade do ar interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RGCE – Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

SCE – Sistema de Certificação de Edifícios

Tep - Tonelada equivalente de petróleo

UE – União Europeia

UGR_L – Índice de Unificado de Encandeamento Limite

URE – Utilização Racional de Energia

WTA - Walk-Through Audit

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	IV
Abstract	V
Glossário	VI
1. Introdução	1
2. Auditorias Energéticas	3
2.1. Estado da Arte	3
2.2. Auditoria energética	5
2.3. Tipos de Auditorias Energéticas	6
2.3.1. Auditoria de Visita/Walk-Through Audit	7
2.3.2. Auditoria Simples.....	7
2.3.3. Auditoria Completa.....	8
2.4. Processo e Fases de uma Auditoria Energética.....	9
2.4.1. Planeamento	10
2.4.2. Trabalho de Campo	10
2.4.3. Tratamento da informação.....	11
2.4.4. Elaboração do Relatório Final.....	12
2.5. Constituição da equipa auditora	12
2.6. Aparelhos utilizados nas AE	14
2.7. Plano de Racionalização Energético	16
2.7.1. Utilização Racional de Energia	17
2.8. Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).....	18
2.9. Legislação	18
2.9.1. Auditorias no Âmbito do SGCIE	18
2.9.2. Diretivas Comunitárias e Decretos de Lei Portugueses	21
3. Auditorias Energéticas na Industria Automóvel	23
3.1. Sistemas Industriais.....	25
3.1.1. Energia térmica	25
3.1.2. Ar Comprimido	31
3.1.3. Motores elétricos	40
3.1.4. Iluminação.....	45
3.1.5. Frio Industrial.....	49

3.2.	Metodologias de Auditoria por Sistema.....	52
3.2.1.	Energia Térmica	54
3.2.2.	Ar Comprimido	56
3.2.3.	Motores elétricos	58
3.2.4.	Iluminação.....	60
3.2.5.	Frio Industrial.....	61
3.3.	Medidas de Racionalização de Energia.....	62
3.3.1.	Energia Térmica	63
3.3.2.	Ar Comprimido	66
3.3.3.	Motores elétricos	67
3.3.4.	Iluminação.....	68
3.3.5.	Frio Industrial.....	68
4.	Caso de Estudo.....	70
4.1.1.	Processo produtivo	71
4.1.2.	Consumo Energético Global	71
4.1.2.1.	Produção.....	73
4.1.3.	Consumo Energético por Sistema	74
4.1.3.1.	Energia Térmica – Caldeira.....	76
4.1.3.2.	Ar comprimido	81
4.1.3.3.	Iluminação.....	89
4.1.3.4.	Frio Industrial.....	91
4.1.3.5.	Motores Elétricos	97
5.	Conclusões	101
	Referências Bibliográficas	103
	Anexo I – Níveis iluminação da Norma EN 12464.....	2
	Anexo II – Cálculo do excesso de ar de combustão.....	3
	Anexo III – Checklist Energia Térmica	4
	Anexo IV – Checklist Ar Comprimido	5
	Anexo V – Checklist Motores Elétricos.....	6
	Anexo VI – Checklist Iluminação	7
	Anexo VII – Checklist Frio Industrial.....	8
	Anexo VIII – Checklist Energia Térmica (caso de estudo).....	9
	Anexo IX – Checklist Ar Comprimido (caso de estudo)	10
	Anexo X – Checklist Iluminação (caso de estudo)	11

Anexo XI – Checklist Frio Industrial (caso de estudio)	12
Anexo XII – Checklist Motores Eléctricos (caso de estudio)	13

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Analisador de redes.....	14
Figura 2.2 – Analisador de gases de combustão	15
Figura 2.3 – Sonda termo-Higrométrica	15
Figura 2.4 – Luxímetro	15
Figura 2.5 – Câmara termográfica.....	16
Figura 2.6 – Síntese de aplicação para instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 500 tep/ano e inferiores a 1000 tep/ano (Fonte: SGCIE/ADENE)	20
Figura 2.7 – Síntese de aplicação para instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 1000 tep/ano (Fonte: SGCIE/ADENE)	20
Figura 3.1 - Esquema de funcionamento de caldeira pirotubular (Fonte: HowStuffWorks)	27
Figura 3.2 - Esquema de funcionamento de caldeira aquotubular (Fonte: HowStuffWorks)	28
Figura 3.3 - Tipos de compressores (Fonte: Atlas Copco).....	33
Figura 3.4 – Sistemas com utilização de motores elétricos (Fonte: (Magueijo, et al., 2010))	41
Figura 3.5 - Balanço energético de motor elétrico (Adaptado de ADENE).....	42
Figura 3.6 - Classes de Eficiência Energética dos motores elétricos (Fonte: (IEC & Doppelbauer, s.d)).....	44
Figura 3.7 - Sistema Termodinâmico de Máquina frigorífica (Adaptado de (Dias, 2012)).....	50
Figura 3.8 - Esquema de um sistema de refrigeração (Fonte: CCenergia).....	51
Figura 3.9 - Etapas de Auditoria no Ar Comprimido.....	56
Figura 3.10 - Etapas de Auditoria em Motores Elétricos	59
Figura 3.11 - Etapas de auditoria no Frio Industrial.....	61
Figura 4.1 - Fluxograma produtivo da instalação (Fonte: CCenergia, 2014).....	71
Figura 4.2 - Desagregação geral das diferentes formas de energia consumidas pela instalação. 73	
Figura 4.3 - Desagregação do consumo de energia elétrica por sistema (Fonte: CCenergia, 2014)	75
Figura 4.4 - Desagregação do consumo de Gás Natural (Fonte: CCenergia, 2014).....	75
Figura 4.5 - Esquema de princípio do circuito primário de aquecimento de água (Fonte: CCenergia, 2014)	76
Figura 4.6 – Caldeira e bomba de água.....	77
Figura 4.7 – Permutadores de calor (Fonte: CCenergia, 2014).....	77
Figura 4.8 - Temperatura dos gases de exaustão (°C) vs teor de O ₂ (%) (Fonte: CCenergia, 2014)	78
Figura 4.9 - Evolução do Teor de CO (ppm) vs Teor de O ₂ (%) (Fonte: CCenergia, 2014).....	78
Figura 4.10 - Evolução da temperatura da água à entrada e à saída da caldeira (Fonte: CCenergia, 2014)	78
Figura 4.11 – Esquema representativos da central de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)81	
Figura 4.12 – Equipamentos auxiliares da central de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)82	
Figura 4.13 - Diagrama de carga elétrico da central de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)	83
Figura 4.14 - Perfil de produção total de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)	83
Figura 4.15 - Curva Teórica do compressor nº 1 (Adaptado de Atlas Copco).....	84
Figura 4.16 - Diagrama de carga do compressor de ar nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014).....	85
Figura 4.17 - Perfil de Produção do compressor de ar nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)	85

Figura 4.18 - Curvas Teóricas do compressor nº 2 (Adaptado de Atlas Copco).....	87
Figura 4.19 - Diagrama de carga do compressor de ar nº 2 (Fonte: CCenergia, 2014).....	87
Figura 4.20 - Perfil de Produção do compressor de ar nº 2 (Fonte: CCenergia, 2014)	88
Figura 4.21 - Caracterização das lâmpadas existentes quanto à quantidade e potência instalada.	90
Figura 4.22 - Caracterização das luminárias existentes quanto ao tipo e potência absorvida	90
Figura 4.23– Distribuição dos consumos da Secção de Sistemas de Refrigeração (Fonte: CCenergia, 2014)	92
Figura 4.24– Diagrama de carga geral do Sistemas de Refrigeração (Fonte: CCenergia, 2014)	92
Figura 4.25– Esquema representativo de distribuição de água refrigerada (Fonte: CCenergia, 2014)	93
Figura 4.26– Circuito hidráulico do Sistema de Refrigeração nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014) ...	94
Figura 4.27– Imagens representativas do Sistema de refrigeração (Fonte: CCenergia, 2014)....	95
Figura 4.28– Diagrama de carga do Refrigerador nº1 (Fonte: CCenergia, 2014).....	95
Figura 4.29– Evolução das temperaturas de ida, retorno e ΔT do condensador do Refrigerador nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014).....	96
Figura 4.30– Evolução do EER do Refrigerador nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)	96
Figura 4.31– Bombas de água constituintes deste sistema de bombagem (Fonte: CCenergia, 2014)	97
Figura 4.32– Diagrama de carga da central de bombagem 1 (Fonte: CCenergia, 2014)	98
Figura 4.33– Curva teórica de funcionamento da bomba	99

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Níveis de excesso de ar para cada tipo de combustível (Adaptado de (Oliveira, 2010))	30
Tabela 3.2 - Classes de qualidade do Ar Comprimido (Fonte: ISO 8573-1)	38
Tabela 3.3 - Níveis recomendados de iluminação para a indústria metalúrgica, automóvel e elétrica (Fonte: licht.de)	47
Tabela 3.4 - Tipos de lâmpadas existentes (Fonte: (Magueijo, et al., 2010))	48
Tabela 3.5 - Identificação da empresa e dados da auditoria.....	53
Tabela 3.6 – Registo dos sistemas no processo produtivo (Fonte: Efinerg)	54
Tabela 3.7 - Medidas de Eficiência energética para o Ar Comprimido (Fonte: Efinerg)	67
Tabela 4.1 - Consumo geral de energia elétrica e gás natural no período de auditoria.....	72
Tabela 4.2 - Produção no período de auditoria	74
Tabela 4.3 - Desagregação do consumo de energia elétrica por sistema	74
Tabela 4.4 - Desagregação do consumo de Gás Natural	75
Tabela 4.5 - Balanço de massa da caldeira de água quente.....	79
Tabela 4.6 - Balanço de energia da caldeira de água quente.....	80
Tabela 4.7 – Economia anual para o sistema térmico	81
Tabela 4.8 - Consumo Específico de Energia da central de ar comprimido	83
Tabela 4.9 - Característica do compressor de ar nº1	84
Tabela 4.10 - Consumo Específico de Energia do compressor nº 1.....	86
Tabela 4.11 - Características do compressor de ar nº 2.....	86
Tabela 4.12 - Consumo Específico de energia do compressor nº 2	88
Tabela 4.13 - Economia anual no sistema de ar comprimido.....	89
Tabela 4.14 - Caracterização dos consumos de iluminação	90
Tabela 4.15 - Economia anual no sistema de iluminação	91
Tabela 4.16 - Distribuição dos consumos da Secção de Sistemas de Refrigeração	91
Tabela 4.17 - Eficiência Energética de Refrigeração (EER) do Refrigerador nº1	96
Tabela 4.18 - Medições instantâneas de caudal e pressão.....	98
Tabela 4.19 - Economia anual no sistema de bombagem do refrigerador nº1	100

1. Introdução

Portugal caracteriza-se por possuir indicadores energéticos (intensidade energética e intensidade carbónica) elevados e uma grande dependência da importação de energia primária (cerca de 85 % da energia total necessária, com forte predominância do petróleo). Por isso, nos últimos anos, com a subida do preço do petróleo verificou-se uma perda de competitividade das empresas portuguesas. (Magueijo, et al., 2010)

O setor industrial, é o maior consumidor de energia elétrica no mundo. Em Portugal, representa cerca de 43% da energia total consumida, seguindo-se o consumo em habitações com 26% e o comércio com 17% (Costa, 2011).

O peso da fatura energética nos custos de exploração de uma indústria é habitualmente reduzido, quando comparado com o peso de outros fatores de produção, nomeadamente mão-de-obra e matéria-prima. Por esse motivo a questão energética é frequentemente negligenciada, embora gere significativos desperdícios de energia e contribui para a redução da competitividade das empresas (ADENE, 2004).

Embora o argumento da competitividade continue naturalmente a ser aquele que mais sensibiliza a generalidade dos industriais, a crescente pressão ambiental veio reforçar a necessidade de utilizar eficientemente a energia. É para além disso, unanimemente aceite que, mais cedo ou mais tarde, instrumentos políticos de mercado, como taxas ou impostos ambientais, introduzirão finalmente o princípio do poluidor-pagador, penalizando fortemente as empresas menos preparadas.

A auditoria energética surge assim como um instrumento fundamental na indústria, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção.

As auditorias permitem conhecer os consumos de energia e contabilizar os mesmos, interpretar dados e tomar decisões, avaliar medidas de racionalização implementadas e otimizar procedimentos. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente medidas com viabilidade técnico-económica para as anomalias detetadas de modo a reduzir os consumos energéticos necessários à sua atividade.

A realização da auditoria energética pressupõe uma estrutura, quase assumida por todas as empresas nesta área, por motivos lógicos e de facilidade na abordagem às instalações e equipamentos nelas existentes. Pelo que, a existência de uma metodologia e checklists de recolha da informação aquando do início da realização da auditoria é fundamental e ajuda a otimizar e aumentar a eficiência da própria auditoria. No entanto, não é consensual, nem se encontra definida uma estrutura de checklist para a realização de auditorias de energia aos vários sistemas industriais. Daí o objetivo para a realização deste trabalho final de mestrado.

São então sugeridas cheklists para realização de auditorias a vários sistemas possíveis de encontrar na indústria automóvel e noutras. Os sistemas abordados serão os sistemas térmicos, os sistemas de ar comprimido que são usados por praticamente toda a indústria, motores elétricos, sistemas de iluminação e por fim sistemas de climatização/refrigeração.

No capítulo 2 é dado a conhecer de uma forma geral o que é uma auditoria, os tipos e fases de realização de uma auditoria, assim como os aparelhos utilizados e o enquadramento legislativo das auditorias na indústria. Seguidamente no capítulo 3 é introduzido o tema, propriamente dito, desta dissertação, em que inicialmente é apresentado um descritivo teórico dos sistemas que serão abordados no decorrer do trabalho. Posteriormente neste capítulo será apresentado e explicado cada uma das checklist desenvolvidas para a realização de uma auditoria energética aos sistemas que se podem encontrar na indústria automóvel. Por fim, no capítulo 4 é apresentado o caso de estudo onde foi aplicado as checklist desenvolvidas.

2. Auditorias Energéticas

2.1. Estado da Arte

O economista britânico Sir Nicholas Stern concluiu, no relatório intitulado *Stern Review*, que as medidas para reduzir o aquecimento global causado pelos gases com efeito de estufa (GEE) não precisam de custar mais de 1% do PIB mundial, mas que se nada for feito as alterações climáticas custarão à economia mundial tanto como as duas guerras mundiais e a Grande Depressão, na primeira metade do século XX (Vidal, 2008).

Surge assim a necessidade de gerir os consumos de energia e as emissões de GEE provenientes dos vários sectores de atividade, sendo a auditoria energética a ferramenta por excelência para definir os consumos energéticos de determinada atividade e as oportunidades de melhoria existentes.

A eficiência energética deve realizar o seu potencial. É difícil sobrestimar a importância da eficiência energética, que em praticamente todos os casos se revela economicamente viável, contribuindo para a redução das emissões e promovendo a segurança energética.

A eficiência energética deve ajudar a reduzir a Intensidade Energética (IE), medida como sendo a contribuição da energia por unidade de produto interno bruto – PIB, da economia global de dois terços em 2050. No entanto, a falta de incentivos e diversas barreiras não económicas continuam a travar um desenvolvimento mais abrangente. A aplicação de normas e códigos de desempenho mais rigorosos será necessária, particularmente nos sectores da construção e do transporte. Neste aspeto, a gestão da informação e da energia são comprovadamente formas eficazes de incentivar as medidas de eficiência energética na indústria. Os incentivos económicos serão essenciais para desbloquear o potencial da eficiência energética e alavancar os financiamentos privados; contudo, as barreiras não económicas também deverão ser levantadas (International Energy Agency, 2012).

O Cenário 2°C ETP 2012 (2DS) explora e identifica as opções em matéria de tecnologias e orientações políticas necessárias para um futuro sustentável baseado numa maior eficiência energética e num sistema de energia mais equilibrado, incluindo fontes de energia renováveis e emissões reduzidas, capazes de garantir a 80% a possibilidade de limitar a 2°C o aumento global da temperatura a longo prazo, na condição de serem também reduzidas as emissões de CO₂ não relacionadas com a energia, bem como de outros gases com efeito de estufa (International Energy Agency, 2012).

A eficiência energética contribui para a redução das emissões globais no cenário 2DS, mas necessita de ser combinada com outras tecnologias para cumprir as metas a longo prazo. Entre o cenário 6DS e 2DS até 2050, a eficiência energética contribui 38% para a redução das emissões, as energias renováveis 30%, o CCS (Carbon Capture and Storage) 14% com a troca de combustível e a energia nuclear a fazer a diferença. O cenário 2DS mostra ganhos de eficiência, substanciais, em todos os sectores de utilização final. Nos transportes, a economia de combustível da frota de todos os veículos duplica ao longo do período de projeção, mantendo o uso de energia sectorial, enquanto a atividade de viagens quase duplica.

Na indústria, através da adoção das melhores tecnologias disponíveis e maior implementação do uso de materiais reciclados nos processos intensivos, o consumo de energia é reduzido 25%. Apesar da área global terrestre ter aumentando mais de 70%, a procura energética nos edifícios cresce apenas 11%, sem alterar os níveis de conforto dos edifícios ou residências familiares e as empresas a reduzir as suas compras de eletrodomésticos e equipamentos eletrónicos (Internacional Energy Agency, 2014).

A análise da IEA tem mostrado previamente que a eficiência energética tem potencial para impulsionar o crescimento económico, reduzindo a procura de energia. Mas, apesar do papel vital que a eficiência energética poderia ter, as avaliações da IEA sugerem que no âmbito das políticas existentes, dois terços do potencial da eficiência energética economicamente viável disponível entre o presente e 2035, permanecerá por realizar. Isto é em parte porque a eficiência energética é constantemente subvalorizada.

A eficiência energética pode ser um combustível escondido mas que se esconde à vista de todos. O mercado da eficiência energética está a crescer, com um investimento mundial em 2011 entre os 310 e os 360 biliões de dólares, equivalendo a metade do investimento feito no petróleo e gás (OECD; IEA, 2014). O resultado das poupanças tem sido superior à energia fornecida por qualquer outro tipo de combustível, fazendo da eficiência energética o “primeiro combustível” para a maioria dos países da IEA. A análise da IEA também mostrou que a captação de investimentos economicamente viáveis em eficiência energética tem o potencial para aumentar a produção económica cumulativa até 2035 por 18 triliões de dólares - maior do que o conjunto atual das economias dos EUA, Canadá e México juntos. Tornando-se ainda um segmento de mercado estabelecido, com novos produtos e padrões inovadores ajudando a superar os riscos e trazer estabilidade e confiança ao mercado (Energy Efficiency a key tool for boosting economic and social development, 2014).

O relatório anual de 2014 da IEA mostra que os investimentos em eficiência energética ajudam a melhorar a produtividade energética - a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de PIB. Entre os 18 países da IEA avaliados no relatório, o consumo final total de

energia reduziu 5% entre 2001 e 2011, principalmente com o resultado dos investimentos em eficiência energética. O consumo de energia evitado ao longo da década com a eficiência energética nos países da IEA era 1732 milhões de toneladas equivalentes de petróleo – maior que a procura de energia dos Estados Unidos e Alemanha juntas em 2012 (International Energy Agency, 2014) (Global Energy Efficiency Market an Invisible Powerhouse at Least, 2014).

De acordo com a IEA, cerca de 40% do mercado global de eficiência energética é financiada com dívida e capital próprio, o que significa que o mercado financeiro para a eficiência energética está na faixa de 120 bilhões de dólares por ano. O número de produtos e o volume de financiamento têm-se expandido muito nos últimos anos, com contratos de desempenho energético, compromissos particulares, de carbono e de financiamento do clima, e os bancos de desenvolvimento multilaterais e bancos bilaterais, todos eles oferecem fontes de financiamento para a melhoria da eficiência energética. Empréstimo bilateral e multilateral ascendeu a mais de US \$ 22 bilhões em 2012 (OECD; IEA, 2014).

Segundo a Diretora Executiva da IEA, Maria van der Hoeven (Global Energy Efficiency Market an Invisible Powerhouse at Least, 2014) "A eficiência energética está a mover-se de um nicho de interesse para um segmento de mercado estabelecido com o aumento do interesse dos credores institucionais e investidores", disse o diretor executivo da AIE. "Como a eficiência energética é essencial para cumprir os nossos objetivos climáticos ao apoiar o crescimento económico, o aumento do uso de finanças é um desenvolvimento bem-vindo. Para expandir plenamente este mercado, as iniciativas para continuar a reduzir os obstáculos terá de reforçar".

O investimento nas energias limpas faz sentido a nível económico, pois cada dólar suplementar aplicado pode gerar três dólares nas futuras economias de combustível em 2050 (International Energy Agency, 2012).

2.2. Auditoria energética

Uma auditoria energética consiste num estudo detalhado das condições de utilização da energia numa determinada atividade, instalação ou empresa e na identificação de medidas de racionalização energética. As auditorias energéticas pretendem conhecer onde, quando e como é utilizada a energia, qual a eficiência da sua utilização e onde existem desperdícios de energia, indicando medidas com viabilidade técnico-económica para as anomalias detetadas de modo a reduzir os consumos energéticos (www.dqa.pt). Em resumo pode-se dizer que uma auditoria energética tem como finalidades (Natural Resources Canada, 2011) (Auditoria Energética SGCIE) (www.dqa.pt):

1. Caracterizar os consumos energéticos, identificando e quantificando as formas de energia utilizadas no edifício e identificar possíveis reduções;
2. Avaliar os consumos energéticos específicos de cada utilização final ou de cada sector, produto ou equipamento;
3. Verificar se estão satisfeitas as condições de conforto pretendidas e de funcionamento do edifício;
4. Calcular o Índice de Eficiência Energética (IEE) do edifício, varia numa escala de A+ até G (sector residencial);
5. Relacionar o consumo de energia com a produção, determinando um indicador energético, o Consumo Específico de Energia (CEE) (sector industrial);
6. Preparar informação para a elaboração de planos de redução e otimização dos consumos energéticos (Plano de Racionalização Energético) de forma a melhorar o desempenho energético da instalação ou edifício;
7. Propor, no caso de ainda não existir, um sistema organizado de gestão de energia.

A certificação energética de um edifício ou instalação permite identificar as medidas para reduzir custos com energia e de acordo com a legislação atual e legal para a venda ou arrendamento dos imóveis e ainda potenciar a sua valorização caso sejam implementadas as medidas do PRE que aumentam a classificação energética (Certificações Energéticas).

2.3. Tipos de Auditorias Energéticas

Uma auditoria energética pode, de uma forma geral, ser definida como um processo de avaliação dos pontos/áreas de consumo de energia num edifício ou indústria, e de identificação de oportunidades para reduzir o seu consumo. Contudo, no que diz respeito ao tipo e especificidade de uma auditoria energética, o âmbito, a complexidade dos cálculos, e o nível de avaliação económica, são fatores subjetivos que poderão ser tratados de maneira diferente por cada auditor. Estas são questões importantes que devem ser definidas à priori antes se iniciar qualquer tipo de auditoria.

Existe genericamente uma relação direta entre o custo da auditoria, a quantidade de dados que serão recolhidos e analisados e o número de oportunidades de redução de consumo identificadas. Assim, uma primeira distinção pode ser feita pelo custo da auditoria, que determina o tipo de auditoria a ser realizada, e uma segunda forma de distinção pelo tipo de instalação a auditar. Por exemplo, uma auditoria a um edifício pode enfatizar a envolvente do edifício, a iluminação, o aquecimento, e as exigências de ventilação, enquanto uma auditoria a uma indústria enfatizará sobretudo as exigências dos processos de fabrico.

Antes de iniciar a auditoria energética, é por isso importante ter uma ideia do âmbito e do nível de esforço (dinheiro, tempo, entre outros) necessário para cumprir as expectativas iniciais, pois obviamente os resultados obtidos irão variar de acordo o nível de detalhe da auditoria realizada.

2.3.1. Auditoria de Visita/Walk-Through Audit

A auditoria de visita ou Walk-Through Audit (WTA), como o próprio nome indica, baseia-se numa visita à instalação para inspecionar visualmente cada um dos sistemas consumidores de energia. Neste tipo de auditoria tipicamente inclui-se uma avaliação dos dados de consumo de energia para analisar o padrão de consumo e utilização de energia, bem como para fornecer dados para estabelecer comparações com a média da indústria do sector ou para estabelecer pontos de referência (benchmarks) com instalações similares (FprEN 16247-1:2012 (E), 2012).

É o tipo de auditoria mais económica mas pode ter como resultado uma estimativa preliminar do potencial de poupança, e fornecer uma lista das oportunidades de economia de baixo custo através de melhorias nas práticas operacionais e de manutenção. Este tipo de auditoria pode servir também como oportunidade para recolher informações para uma auditoria posterior mais detalhada se a estimativa de potencial de poupança determinada for suficiente para justificar um alargamento do âmbito da atividade de auditoria (Asian Productivity Organization, 2008).

Esta abordagem prevê um breve levantamento dos consumidores de energia para produzir uma estimativa aproximada do quão eficientemente a energia é utilizada no edifício. Este tipo de abordagem permitirá detetar os pontos críticos de maior visibilidade e poderá sugerir como resultado outras vias de análise específicas para um estudo à posteriori (Hasanbeigi & Price, 2010).

No entanto, muito embora esta opção seja a mais fácil, é também a que produz resultados mais grosseiros. Por este motivo, muitas vezes esta auditoria acaba por ser apenas o passo inicial de uma auditoria posterior e mais complexa.

2.3.2. Auditoria Simples

A auditoria simples quantifica a utilização de energia e as perdas através de uma análise dos equipamentos, dos sistemas e suas características operacionais. Esta análise implica uma análise das faturas de energia, um levantamento dos consumidores de energia existentes e pode incluir também algumas medições no local e a realização de testes para quantificar o consumo de energia e a eficiência dos vários sistemas. Recorre-se a cálculos para analisar as eficiências e

calcular a redução de custos e consumos de energia por via de potenciais melhorias efetuadas a cada sistema. Inclui também uma análise económica das medidas de redução propostas (Hasanbeigi & Price, 2010).

Ao concentrar-se mais no levantamento dos dados do edifício/instalação e na análise da utilização de energia, e ao prever a realização de alguns testes de desempenho do sistema, este método tem como resultado o conhecimento de como a energia é utilizada, permitindo assim alcançar uma gama mais alargada de opções de poupança.

Este tipo de auditoria leva em conta o "fator humano" e o seu efeito sobre a incerteza na economia de custos a atingir, e explora também os procedimentos de manutenção e avalia os impactos que as medidas de poupança podem ter sobre eles. Este tipo de auditoria pode revelar-se suficiente para a maioria das instalações.

2.3.3. Auditoria Completa

A auditoria completa irá incluir mais detalhes sobre a utilização da energia e uma avaliação mais abrangente dos padrões de utilização de energia. Isto é conseguido através do uso de simulação. O auditor irá desenvolver uma simulação computacional dos sistemas de construção que serão responsáveis, por exemplo por variáveis meteorológicas entre outras, e prever o consumo anual de energia.

O objetivo do auditor será o de construir uma base de comparação consistente com o consumo real e atual da instalação. Após a construção desta base, o auditor, poderá fazer alterações para melhorar a eficiência de vários sistemas e medir os efeitos em relação à linha de base determinada anteriormente. Este método também contabiliza as potenciais interações (de sinergia ou não) entre os sistemas para evitar a sobrestimação das reduções.

Devido ao tempo envolvido na recolha de informações detalhadas sobre os equipamentos, de dados operacionais, e o tempo necessário à criação de um modelo computacional preciso, este nível de auditoria será sem dúvida o mais dispendioso de todos, o que condiciona a utilização deste tipo de auditoria às instalações e/ou sistemas que tiverem um elevado grau de complexidade.

Este tipo de auditoria centra-se em detalhes de potenciais medidas com capitais de investimento elevados, que poderão surgir como resultado de auditorias prévias mais simples. Com este tipo de auditoria são obtidos dados bastante precisos a partir dos testes realizados aos equipamentos. Estes testes podem incluir a monitorização dos consumos de energia a curto e médio prazo. É

realizada uma análise de técnico- económica que produz estimativas fiáveis do desempenho no energético e financeiro com o grau de confiança necessário para projetos com elevado capital de investimento, sendo feita a respetiva avaliação de riscos (Asian Productivity Organization, 2008).

2.4. Processo e Fases de uma Auditoria Energética

Uma Auditoria Energética de forma geral consiste em três etapas. Inicialmente é feita a verificação dos consumos específicos, de seguida uma avaliação da necessidade de um Plano de Racionalização Energético (PREn) e por último a determinação da classe energética e a emissão do Certificado Energético.

A condução eficaz de uma auditoria energética é um processo que envolve algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência corretas, que vai desde a análise detalhada das faturas de energia do ano que antecede a auditoria, passando pela análise física detalhada aos equipamentos geradores/consumidores de energia térmica e elétrica existentes na instalação, suas condições de operação e controlo, assim como os cuidados de manutenção e o seu tempo de funcionamento, até à fase final do estudo no qual são indicados os resultados e medidas a tomar para a redução dos consumos energéticos em áreas específicas. Deste modo, as auditorias energéticas permitem fornecer informações específicas e identificar as possibilidades reais de economias de energia, consistindo basicamente num exame crítico da forma como é utilizada a energia com base nos registos, tanto quanto possível rigorosos, dos consumos e custos. Resumidamente, pode-se dizer que uma auditoria energética a uma instalação tem por objetivos (ADENE, 2004) (FprEN 16247-1:2012 (E), 2012):

- Quantificar os consumos e custos por forma de energia;
- Relacionar o consumo de energia com a produção, determinando um indicador energético de grande relevância, o CEE;
- Determinar os consumos de energia por sector, processo ou equipamento;
- Examinar detalhadamente o modo como a energia é utilizada;
- Identificar situações de desperdício de energia;
- Identificar medidas de URE e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas.

Para a execução de uma auditoria energética, é de grande importância a definição e o estabelecimento da sequência das ações que possibilitem obter um conhecimento profundo da

instalação analisada, de modo a detetar, quantificar e tentar corrigir as perdas de energia existentes.

O faseamento de uma auditoria depende do seu âmbito, assim como da dimensão e do tipo das instalações a auditar. Duma maneira geral pode-se considerar as seguintes fases (Natural Resources Canada, 2011):

- Planeamento;
- Trabalho de campo;
- Tratamento da informação;
- Elaboração do relatório com formulação de recomendações.

2.4.1. Planeamento

A fase de planeamento de uma auditoria é de grande importância, permitindo facilitar os passos seguintes, se efetuado com qualidade. Entre as diversas tarefas a realizar nesta fase, destacam-se o estabelecimento de objetivos, a seleção da equipa auditora e a atribuição das devidas responsabilidades.

Deve começar-se por reunir a designada informação básica da empresa, enviando um questionário para preenchimento, que normalmente é completado com uma visita prévia às instalações. Com estas informações será possível prever a duração da auditoria, a especialização da equipa auditora e o equipamento de medida necessário. Esta visita servirá não só para se efetuar o reconhecimento da instalação, como para esclarecer-se dúvidas relativas ao funcionamento da instalação e identificar a informação a obter (faturas energéticas) e a existência ou não de pontos de medição.

2.4.2. Trabalho de Campo

A realização de uma auditoria energética pressupõe o conhecimento correto da estrutura dos consumos de energia da instalação auditada, dos consumos típicos globais e de cada um dos equipamentos que a utilizam. Assim, os fluxogramas surgem como uma ferramenta essencial no estudo do processo produtivo que permite saber onde e como são utilizadas as formas de energia consumidas.

Esta fase consiste essencialmente na recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, começando por fazer todas as medições necessárias as operações ou os

equipamentos mais consumidores de energia. É nesta fase que o auditor tem de perceber o processo de fabrico e as tecnologias que a ele estão associadas. Devem-se recolher todos os elementos necessários para a elaboração de um balanço global à instalação e quando existirem equipamentos grandes consumidores de energia deve também fazer-se um balanço de massa e energia a esses equipamentos, com o intuito de determinar a quantidade de energia consumida. O levantamento dos dados energéticos é agrupado por secções de equipamentos e estabelecem-se os diagramas de fluxo quantificando os fluxos de massa e energia (Modelo de Estrutura para relatório de Auditoria Energética) (Asian Productivity Organization, 2008).

A eficácia da auditoria e dos seus resultados depende fortemente da qualidade do trabalho desenvolvido nesta fase e da qualidade dos dados obtida, que está bastante dependente do conhecimento profundo dos processos produtivos a analisar e das tecnologias de processo existentes por parte da equipa de auditoria. O trabalho de campo requer ainda, acima de tudo, uma atenção permanente da equipa, de modo a que todas as situações passíveis de correção sejam detetadas.

2.4.3. Tratamento da informação

Após a intervenção no local, os auditores deverão organizar e tratar toda a informação recolhida ao longo das duas primeiras fases. O tratamento da informação deve privilegiar a produção de um conjunto de indicadores e outros resultados, de natureza quantitativa, suscetíveis de permitir uma avaliação rigorosa do desempenho energético da instalação (FprEN 16247-1:2012 (E), 2012).

A equipa de auditores deverá realizar os cálculos dos consumos específicos de energia por equipamento, por produto, por sector produtivo e o global da instalação. Serão também determinadas as eficiências energéticas dos equipamentos maiores consumidores de energia, que deverão ser analisadas criticamente e comparadas com os equipamentos comercializados que apresentem bons rendimentos. O valor do CEE, sempre que possível, deverá ser comparado com o consumo específico de referência definido para o ramo de atividade em causa (ADENE, 2004).

Será necessário analisar detalhadamente o processo de fabrico no sentido de identificar possíveis alterações que conduzam a um incremento da eficiência energética sem interferir com os níveis de produção e a qualidade dos mesmos. Detetadas estas situações a equipa auditora estudará as possíveis soluções a implementar para corrigir as anomalias. Deverá ser realizada

uma análise técnico-económica a todas as soluções que eventualmente possam ser implementadas e quantificadas as potenciais economias de energia

2.4.4. Elaboração do Relatório Final

Findo todo este processo, torna-se necessário elaborar um relatório onde conste de forma organizada toda a informação recolhida, a análise sobre a situação energética da empresa, as situações encontradas, a identificação das anomalias e propostas as medidas consideradas mais convenientes para as anular ou diminuir. Este documento deverá apresentar aos gestores da empresa, de uma forma organizada, clara e concisa, toda a informação relevante sobre a situação energética da instalação.

Ao elaborar o relatório, o auditor deverá ter presente a ideia de que a auditoria energética constitui o primeiro passo para a implementação de um processo contínuo de gestão de energia. O relatório final deverá conter um sumário executivo, apresentando desde logo uma síntese dos resultados alcançados e a formulação de recomendações. Desta forma permite ao leitor ter uma visão global do conteúdo do relatório.

A estrutura de um relatório de auditoria é necessariamente afetada pelas características específicas do subsector de atividade e da instalação auditada, devendo constar os seguintes elementos (FprEN 16247-1:2012 (E), 2012):

- Objetivos e enquadramento da auditoria;
- Identificação da instalação;
- Contabilidade energética;
- Análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia;
- Cálculo de consumos específicos de energia por produto fabricado e a sua comparação com os valores legislados.

2.5. Constituição da equipa auditora

Uma questão fundamental para o sucesso de uma auditoria energética diz respeito à constituição da equipa auditora. Neste capítulo iremos abordar quais os requisitos mais importantes que o auditor ou equipa auditora deve cumprir assim como as suas responsabilidades no processo de auditoria. Na maior parte das vezes uma auditoria energética é encomendada a uma empresa externa.

A equipa auditora é composta por um auditor principal, ou auditor coordenador, que assinará a auditoria, podendo no entanto serem envolvidos outros auditores. Cada membro da equipa auditora deve ter competências profissionais e académicas suficientes para cumprir com as tarefas que envolvem a auditoria.

Em termos gerais considera-se que um auditor deve cumprir pelo menos com os seguintes requisitos (CEH, 2009):

- Possuir grau académico médio ou superior em áreas relacionadas com a energia ou formação equivalente.
- Conhecimentos demonstráveis em:
 - i) Procedimentos e técnicas gerais de auditoria energética;
 - ii) Regulamentos sectoriais da energia;
 - iii) Técnicas e tecnologias de poupança energética;
 - iv) Sistemas de energias renováveis.

As auditorias energéticas têm de ser realizadas por uma entidade solvente e independente.

Estas entidades deverão cumprir assim, respetivamente, com os seguintes aspetos:

- Solvência técnica:
 - i) Referências demonstráveis em trabalhos de auditorias realizados;
 - ii) Possuir instrumentos para medições e registos de dados energéticos.
- Independência e ética:
 - i) O compromisso, de carácter confidencial, com a documentação e informação à qual tenha acesso, sendo obrigado a manter o sigilo sobre toda a informação exterior no exercício da sua atividade;
 - ii) Entre a entidade auditada e a entidade auditora não devem existir cruzamentos de interesses significativos.

A nível da legislação nacional de cada país existem requisitos mínimos para atuação profissional de um indivíduo ou empresa para realização de auditorias energéticas, e em alguns casos a legislação estabelece também requisitos específicos para a realização de certos tipos de auditoria.

Em Portugal é o caso das AE realizadas no âmbito do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SCGIE), em que os requisitos estão previstos no Decreto-Lei (DL) nº 48/82, de 26 de Fevereiro.

Os técnicos ou entidades que se encontrem reconhecidos como examinadores das condições de utilização de energia e autores de planos de racionalização, no âmbito do RGCE (DL n.º 58/82 e Portaria n.º 359/82), foram automaticamente reconhecidos no SGCIE, como auditores energéticos e autores de planos de racionalização e dos respetivos relatórios de execução e progresso (tendo em conta o prazo de validade já existente).

2.6. Aparelhos utilizados nas AE

A utilização dos instrumentos de medição depende da natureza dos processos existentes na instalação a auditar. A diversidade de instrumentos disponíveis no mercado e que podem ser utilizados no âmbito de uma auditoria é imensa. Por este motivo apresentaremos neste capítulo apenas alguns dos equipamentos mais utilizados (Asian Productivity Organization, 2008).

i) Analisador de Redes

Os analisadores de redes, Figura 2.1, são instrumentos de medida que medem diretamente (tensão e intensidade de corrente) ou calculam (a potência e energia ativa e reativa, o fator de potência, os consumos máximos e mínimos, etc.) os diferentes parâmetros elétricos de uma instalação elétrica (normalmente em baixa tensão).



Figura 2.1 – Analisador de redes

ii) Analisador de Gases de Combustão

O analisador de gases de combustão, Figura 2.2, é um instrumento de medida que mede diretamente a concentração de oxigénio, monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogénio, a temperatura do ar ambiente e dos gases, entre outros, e calcula parâmetros como o rendimento da combustão, o índice de excesso de ar, entre outros. Em suma, com o analisador de gases de combustão é possível determinar os diferentes parâmetros que determinam as características de uma combustão num determinado equipamento consumidor de combustível: caldeira, forno, motor, entre outros.



Figura 2.2 – Analisador de gases de combustão

iii) Sonda Termo-Higrométrica

A sonda termo-higrométrica, representada na Figura 2.3, utiliza-se para medir a temperatura e a humidade relativa. Para que as medidas sejam fiáveis é necessário proceder a várias medições em cada espaço que se deseje analisar, tanto no período de verão como de inverno.



Figura 2.3 – Sonda termo-Higrométrica

iv) Luxímetro

O luxímetro, figura 2.4, é um aparelho que se utiliza para medir o nível de iluminação (lux). Os dados obtidos (lux) podem comparar-se com as respetivas normas definidas internacionalmente ou para cada país sobre iluminação dos espaços de trabalho interiores. Estas normas definem normalmente um valor de iluminância média mínima para cada tarefa.



Figura 2.4 – Luxímetro

v) **Termografia de Infravermelhos**

A radiação do espectro infravermelho é uma parte invisível do espectro eletromagnético. Ela existe naturalmente e pode ser medida por aparelhos específicos. Atualmente existem aparelhos portáteis que ajudam a determinar as perdas de energia. Uma vez que a detecção da radiação infravermelha (IV) e respectivos equipamentos de medição têm ganhado uma crescente importância no processo de auditorias energéticas iremos descrever algumas das suas aplicações no âmbito de uma AE.

Com a utilização de um aparelho de termografia todas as áreas que são mais quentes que a sua envolvente destacam-se claramente. As janelas, as fundações, e as janelas abertas são exemplos óbvios. As aberturas de ventilação, por paredes e coberturas, tubagens de água quente com pouco isolamento, salas quentes e vigas estruturais não isoladas são exemplos que podem ser vistos do lado de fora de um edifício com uma câmara termográfica.

Contudo, a emissividade de um objeto e a sua refletância devem ser tidos em conta na interpretação de qualquer informação obtida através de uma câmara termográfica, Figura 2.5.



Figura 2.5 – Câmara termográfica

2.7. Plano de Racionalização Energético

Um PREn é um programa estratégico de intervenção, no qual se definem as medidas a tomar para obter uma maior eficiência na utilização da energia e o seu impacto anual, bem como os objetivos a alcançar no que respeita à redução e consumos. Este plano é elaborado com base nos resultados da auditoria energética e deverá definir um conjunto concreto de medidas de utilização racional de energia, calendarizadas ao longo do período de vigência do plano, com vista ao cumprimento de metas quantificadas de redução de consumos.

Nas principais vantagens que se podem apontar da aplicação de um PReN pode-se referir a diminuição dos consumos energéticos, reduzindo os custos associados. Embora, existam outras vantagens indiretas associadas, como exemplo:

- Menores impactos no ambiente (quer os associados à produção de energia, quer no momento do seu consumo);
- Maior controlo dos consumos de energia por centro de custo, equipamento, sector;
- Melhoria da eficiência dos equipamentos;
- Identificação rápida da necessidade de manutenção de equipamentos;
- Menores custos associados à manutenção;
- Melhoria da competitividade da empresa devido à redução dos custos.

2.7.1. Utilização Racional de Energia

Por Utilização Racional de Energia (URE) entende-se como o conjunto de ações e medidas, que têm como objetivo a melhor utilização da energia.

Utilizar melhor a energia significa:

- Utilizar menos energia para produzir o mesmo;
- Produzir mais com a mesma energia;
- Inovar nos processos e nos produtos para produzir mais e melhor com menos energia;

A URE é cada vez mais um fator a considerar na economia energética e redução de custos, tanto no sector doméstico como no sector de serviços e industrial. Tendo em conta uma série de recomendações e conselhos úteis, é possível reduzir os consumos energéticos mantendo o conforto e a produtividade das atividades dependentes de energia.

Consideram-se para a URE, dois sectores de consumo:

- URE no Sector Domestico;
- URE no Sector de Serviços e no Sector Industrial.

Como as medidas de racionalização energética neste sector variam muito de acordo com o tipo de atividade, enumera-se algumas mais abrangentes:

- Correção do fator de potência;
- Variadores elétricos de velocidade;
- Utilização de iluminação led.

A realização de programas específicos orientados para a redução do consumo de energia neste sector, por vezes necessita de um diálogo com todos os intervenientes (fornecedores de energia, diretores da empresa, utilizadores das instalações) no sentido de avaliar as ações que terão de ser desenvolvidas, que pode levar a uma maior dificuldade da implementação de quaisquer medidas a tomar.

2.8. Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE)

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética — Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), é um plano de ação agregador de um conjunto de programas e medidas de eficiência energética, num horizonte temporal que se estende até ao ano de 2015.

O plano é orientado para a gestão da procura energética, conforme o âmbito do documento que lhe dá enquadramento, a Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estando em articulação com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho, revisto pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto, e o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE), aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de Janeiro. A referida Diretiva estabelece como objetivo obter uma economia anual de energia de 1 % até ao ano de 2016, tomando como base a média de consumos de energia final, registados no quinquénio 2001 -2005 (aproximadamente 18.347 tep) (Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, 2008).

O PNAEE abrange quatro áreas específicas, objeto de orientações de cariz predominantemente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Adicionalmente, estabelece três áreas transversais de atuação — Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos — sobre as quais incidiram análises e orientações complementares. Cada uma das áreas referidas agrega um conjunto de programas, que integram de uma forma coerente um vasto leque de medidas de eficiência energética, orientadas para a procura energética (Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, 2008).

2.9. Legislação

2.9.1. Auditorias no Âmbito do SGCIE

No âmbito da Estratégia Nacional para a Energia (ENE), foi publicado o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, que regulamenta o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Este sistema tem como objetivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia com

consumos superiores a 500 tep/ano, resultando da revisão do Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia (RGCE) e enquadrando-se na ENE, no Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) e no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). Ficando de fora deste âmbito instalações de co-geração, empresas de transporte, edifícios sujeitos aos DL n° 78/2006, 79/2006 e 80/2006, de 4 de Abril, exceto nos casos em que os edifícios se encontrem integrados na área de uma instalação consumidora intensiva de energia (CIE). Sendo que para estas duas últimas exceções e para empresas com consumo energético inferior a 500 tep/ano a aplicação do SGCIE é voluntária (DL n° 71/2008 de 4 de Abril, 2008).

Este diploma, para além de estabelecer um regime diversificado e administrativamente mais simplificado para as empresas que já estão vinculadas a compromissos de redução de emissões de CO₂ no quadro do PNALE, define quais as instalações consideradas CIE, alargando o âmbito de aplicação do anterior regulamento, RGCE, a um maior número de empresas e instalações, com vista ao aumento da sua eficiência energética.

O SGCIE prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização de energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Para isso é estabelecido um Acordo de Racionalização de Consumos de Energia (ARCE) entre a instalação e a DGEG que contemplem objetivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos responsáveis das instalações CIE e aquando do seu incumprimento a aplicação de penalidades. No decorrer deste acordo prevê-se a elaboração e execução de Relatórios de Execução e Progresso (REP) bianuais e Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) por parte de técnicos ou entidades credenciadas para o efeito (DL n° 71/2008 de 4 de Abril, 2008).

Dependendo do consumo energético da instalação, inferior ou superior a 1000 tep/ano, o ARCE decorrerá por um período de 8 ou 6 anos, respetivamente. Sendo que para as instalações com consumos iguais ou superiores a 500 tep/ano e inferiores a 1000 tep/ano prevê-se uma redução de 4% na IE e no CEE, e a manutenção dos valores da Intensidade Carbónica (IC). Já as instalações com consumos iguais ou superiores a 1000 tep/ano, o ARCE prevê a redução de 6% na IE e no CEE, e a manutenção dos valores da IC (DL n° 71/2008 de 4 de Abril, 2008).

A figura 2.6 e figura 2.7 demonstram a aplicação do SGCIE e as datas da sua realização de acordo com os consumos de energia de cada instalação.

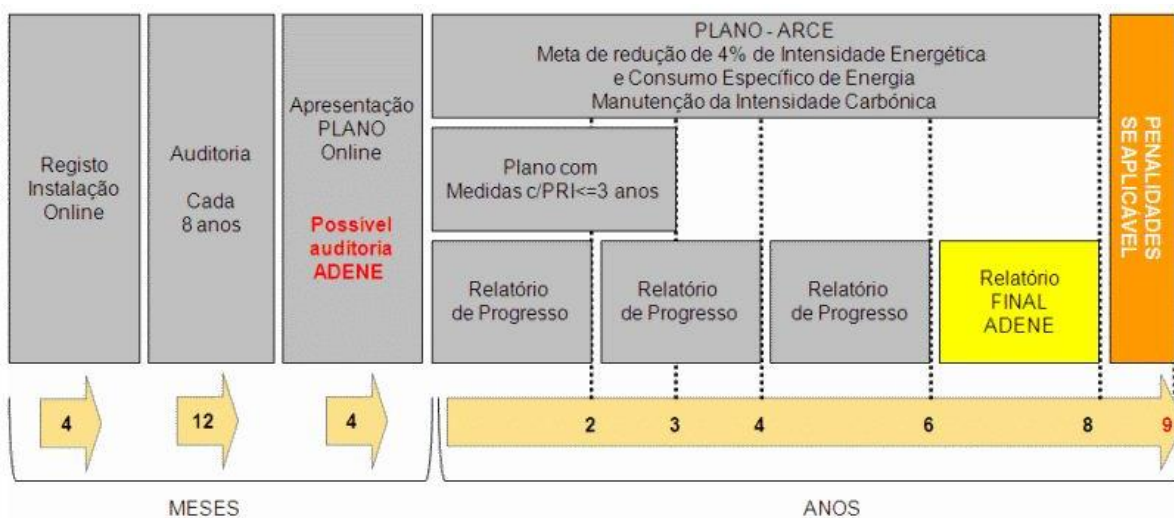


Figura 2.6 – Síntese de aplicação para instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 500 tep/ano e inferiores a 1000 tep/ano (Fonte: SGCIE/ADENE)

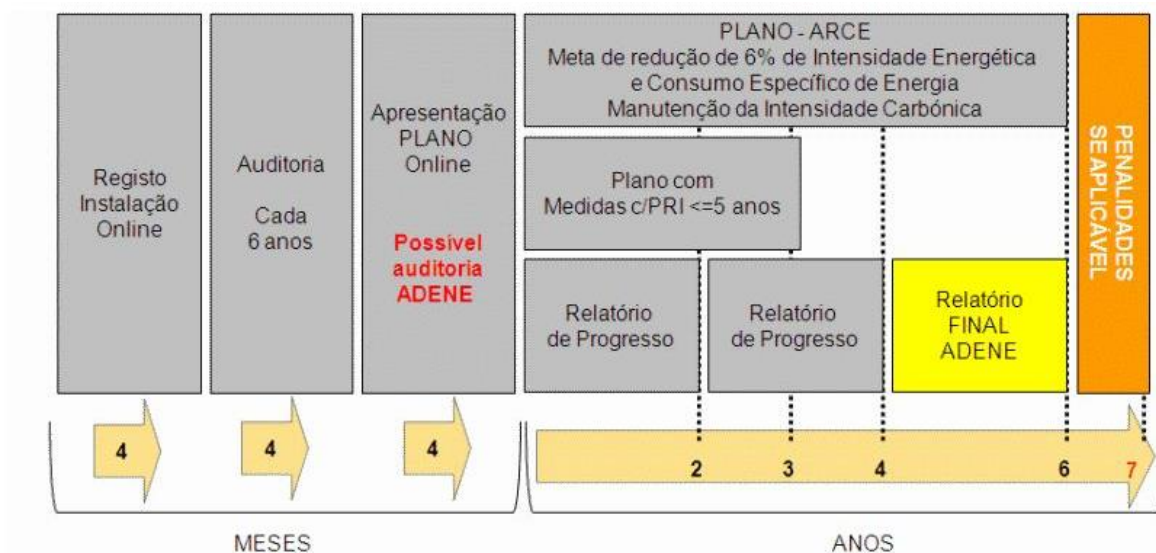


Figura 2.7 – Síntese de aplicação para instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 1000 tep/ano (Fonte: SGCIE/ADENE)

A 28 de Abril de 2015 foi publicado em DR o DL n° 68-A/2015 que prevê alterações ao DL n° 71/2008. As principais alterações, para as empresas consideradas não PME¹, decorrentes da publicação deste decreto são as seguintes (DL n° 68-A/2015 de 30 de Abril, 2015):

¹ Os critérios considerados para a classificação de uma empresa como não-PME são os seguintes:

- i. Empregar mais de 250 pessoas;
- ii. Volume de negócios anual superior a 50 M€, ou balanço total anual superior a 43 M€.

1. Registo obrigatório junto da DGEG, de forma a cadastrar toda a informação relativa aos consumos de energia das suas instalações. As instalações que estejam a cumprir com a legislação do DL n.º 71/2008 (SGCIE) ou do DL n.º118/2013 (SCE), como já se encontram registadas perante a DGEG, não necessitam de novo registo;
2. Apresentação de relatório de auditoria energética até 5 de dezembro de 2015 (se não tiverem um ARCE em curso);
3. Realização de auditoria energética de 4 em 4 anos, desde que economicamente viável;
4. No caso de a instalação já ter implementado um Sistema de Gestão de Energia (SGE–ISO:50001) ou do Ambiente, está dispensada da apresentação de relatório de auditoria energética, desde que as auditorias previstas no referido SGE respeitem os critérios mínimos constantes no anexo IV do DL n.º 68-A/2015;
5. No caso da instalação já se encontrar em cumprimento do DL n.º 71/2008, deve cumprir ambos os decretos (71/2008 e 68-A/2015);
6. No caso da instalação se tratar de um grande edifício de comércio e serviços, a cumprir com o DL n.º 118/2013, deve garantir que as avaliações energéticas obrigatórias, de 8 em 8 anos, cumprem com os requisitos de ambos os decretos (118/2013 e 68-A/2015) e que de 4 em 4 anos deverá ser realizada uma auditoria de acordo com o Anexo IV do DL n.º68-A/2015;
7. No caso dos restantes edifícios, abrangidos pelo SCE, deve ser realizada uma auditoria de 4 em 4 anos nos termos do Anexo IV do DL n.º 68-A/2015.

Assim, para as empresas não PME's que tenham um ARCE em curso, no âmbito do DL n.º71/2008, estas alterações só serão efetivas quando terminar o período de aplicação do ARCE atual.

Após o período de aplicação do ARCE atual e para todas as instalações (PME's e não PME's), independentemente do consumo de energia, o período do novo ARCE será de 8 anos, sendo obrigatórias auditorias energéticas intercalares de 4 em 4 anos (desde que economicamente viáveis). A redução do consumo específico de energia será obrigatoriamente de 6% em 8 anos (DL n.º 68-A/2015 de 30 de Abril, 2015).

2.9.2. Diretivas Comunitárias e Decretos de Lei Portugueses

a) Diretiva 2012/27/UE – Eficiência Energética

Relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE.

b) Diretiva Comunitária 92/75/CEE - Etiquetagem Energética

Estabelece o quadro legal da etiquetagem energética no espaço europeu, tendo sido transposta para a legislação nacional em Fevereiro de 1994 (DL n°41/94, 11 de Março), em Julho de 1998 (DL n°214/98, 16 de Julho) e em Fevereiro de 2000 (DL n°18/2000, 28 de Fevereiro).

c) Diretiva Comunitária 2001/77/CE - Eletricidade

Relativa à promoção da energia elétrica obtida por fontes de energia renováveis (FER). Neste caso, o país compromete-se, até 2010, a conseguir um mínimo de 39% de produção de eletricidade a partir de FER. Em 2004, a percentagem de energia produzida a partir de FER atingiu os 35%, o que foi justificado tendo em conta o fator de correção que a UE aceita para anos de seca.

d) Diretiva Comunitária 2003/96/CE - Biocombustíveis

Para a promoção da utilização do biocombustível, que estabelece como meta a substituição até 2010, de 5,75% dos combustíveis rodoviários (gasóleo e gasolina) por biocombustíveis, esta diretiva foi transposta para a ordem jurídica nacional em Março de 2006 (DL n°62/2006, 21 de Março), tendo sido concedido aos biocombustíveis a isenção (total ou parcial) do imposto sobre os produtos Petrolíferos (ISP).

e) Diretiva Comunitária 2005/32/CE – Conceção Ecológica dos Produtos que Consumem Energia

Define os requisitos de conceção ecológica dos produtos que consomem energia e que altera as Diretivas 92/42/CEE do Conselho e 96/57/CE e 2000/55/ /CE do Parlamento Europeu e do Conselho.

3. Auditorias Energéticas na Indústria Automóvel

A indústria é o maior consumidor de energia elétrica no mundo. Em Portugal, representa cerca de 43% da energia total consumida, seguindo-se o consumo em habitações com 26% e o comércio com 17% (Costa, 2011).

A indústria automóvel insere-se no setor metalúrgico e metalomecânico que representa 23% quanto ao número de empresas e de 26% quanto ao volume de negócio da indústria transformadora em Portugal (com base em dados do INE de 2009). Em relação ao número de empresas dentro do setor metalúrgico e metalomecânico, a divisão com maior representatividade é a de produtos metálicos (CAE 25) com 79%, enquanto que a de veículos automóveis (CAE 29) representa 3%, o restante diz respeito ao setor de máquinas e equipamentos (CAE 28) com 10%, a de equipamento elétrico (CAE 27) com 5%, a metalurgia de base (CAE 24) com 3% e a de outros equipamentos de transporte (CAE 30) com 1% (IAPMEI; LNEG; Carboneutral; ADENE, 2012).

O setor metalúrgico e metalomecânico, consome 9% do valor total de energia atribuído à indústria transformadora. Em termos nacionais as principais fontes da energia consumida neste setor são a eletricidade (64%) e o gás natural (23%), com menor representatividade é consumido petróleo (10%), energias renováveis (exceto hídrica) (2%) e carvão (1%) (IAPMEI; LNEG; Carboneutral; ADENE, 2012).

A auditoria energética surge assim como um instrumento fundamental na indústria, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção.

As auditorias permitem conhecer os consumos de energia e contabilizar os mesmos, interpretar dados e tomar decisões, avaliar medidas de racionalização implementadas e otimizar procedimentos. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente medidas com viabilidade técnico-económica para as anomalias detetadas de modo a reduzir os consumos energéticos necessários à sua atividade. Estas medidas serão integradas num plano estratégico de intervenção que definirá claramente as medidas a tomar e os objetivos anuais a alcançar, no que respeita à redução dos consumos energéticos.

Seja por imposição legal, seja pela necessidade de cumprir requisitos ambientais como forma de aceder a sistemas de apoio ou simplesmente por uma questão de imagem ou pressão da opinião

pública, cada vez mais a eficiência energética está na ordem do dia. É assim que assumem particular importância o levantamento e a auditoria energética.

O peso da fatura energética nos custos de exploração de uma empresa do sector industrial é habitualmente baixo, quando comparado com o peso de outros fatores de produção, nomeadamente mão-de-obra e matéria-prima (ADENE, 2004), segundo um estudo efetuado no âmbito da Efinerg em 2012 num universo de 25 empresas, o custo de energia representava 5,2% nos custos totais das empresas (IAPMEI; LNEG, 2012), sendo por isso frequentemente negligenciada, facto que gera significativos desperdícios de energia e contribui para a redução da competitividade das empresas.

Adicionalmente, continua presente na mente de alguns industriais a ideia de que o crescimento económico acarreta necessariamente um aumento dos consumos de energia. O conceito de URE veio alterar decisivamente a forma de encarar a energia, demonstrando ser possível crescer sem aumentar os consumos ou afetar a qualidade da produção. A chave da questão designa-se por gestão de energia, a energia deve ser gerida contínua e eficazmente.

Embora o argumento da competitividade continue naturalmente a ser aquele que mais sensibiliza a generalidade dos industriais, a crescente pressão ambiental veio reforçar a necessidade de utilizar eficientemente a energia. É para além disso unanimemente aceite que, mais cedo ou mais tarde, instrumentos políticos de mercado, como taxas ou impostos ambientais, introduzirão finalmente o princípio do poluidor pagador, penalizando fortemente as empresas menos preparadas.

É assim que assumem particular importância o levantamento e a auditoria energética. Com efeito, qualquer processo de gestão de energia terá necessariamente que começar pelo conhecimento da situação energética da instalação. O levantamento energético pode interpretar-se como a primeira radiografia ao desempenho energético da unidade fabril. Através dele, avalia-se quanta energia é efetivamente consumida e de que forma é essa energia utilizada, estabelecem-se os principais fluxos e identificam-se os sectores ou equipamentos onde é prioritário atuar.

Uma industria pode ser globalmente competitiva quanto mais os seus produtos forem energeticamente eficientes e a produção dos mesmos consumir menos energia (Asian Productivity Organization, 2008).

Neste sector o tipo de auditoria praticada é geralmente a auditoria completa, dada a complexidade de muitas instalações, sendo que a metodologia de análise dependerá do tipo de indústria, do grau de precisão com que se pretende analisar cada sistema e o potencial de redução de custos pretendidos (Asian Productivity Organization, 2008).

A economia portuguesa caracteriza-se por possuir uma intensidade energética e uma intensidade carbónica elevadas e uma dependência muito elevada da importação no que concerne ao consumo de energia primária (cerca de 85 % da energia total necessária, com forte predominância do petróleo). Tal como noutras economias com baixa eficiência energética e fortemente dependentes da importação de energia primária, muito em especial do petróleo e do gás natural, o equilíbrio externo da economia portuguesa é fortemente condicionado pela variação do preço do petróleo. Por isso, nos últimos anos, com a subida do preço do petróleo verificou-se uma perda de competitividade das empresas portuguesas (Magueijo, et al., 2010).

3.1. Sistemas Industriais

Na generalidade as medidas que podem ser aplicadas na indústria baseiam-se nos sistemas descrito abaixo, sendo que as medidas a aplicar dependeram sempre do tipo de sistemas existentes na empresa. Poderemos então ter numa indústria os seguintes sistemas de consumo energético:

- Produção de Energia térmica;
- Sistemas de ar comprimido;
- Sistemas acionados por motores elétricos;
- Iluminação;
- Sistemas de distribuição de energia elétrica;
- Sistemas de bombagem;
- Sistemas de refrigeração;
- Transportes.

3.1.1. Energia térmica

Os sistemas produtores de energia térmica referidos neste tópico são todos os equipamentos que geram calor através da queima de combustíveis e o transferem para um determinado processo. Os principais sistemas existentes nas instalações industriais são (ADENE, 2010):

- Caldeiras de vapor e água quente (usadas em todo o tipo de indústria);
- Fornos (ex., fornos de cozedura);
- Secadores.

Um gerador de calor ou caldeira, trata-se de um equipamento em que os gases quentes provenientes da combustão de um combustível, fornecem calor a um fluido a aquecer através do corpo do gerador que envolve o fluido.

Assim, numa caldeira existe um local destinado à combustão, designado por câmara de combustão, e outro local destinado à transmissão de calor, a caldeira propriamente dita. A câmara de combustão pode apresentar diversas formas, consoante o tipo de gerador e o tipo de combustível a queimar. Existindo câmaras de combustão de tubos de fogo, retangular, circulares, ou com paredes tubulares, de fornalhas, que compreendem o sistema de queima de um combustível sólido, normalmente com as paredes em material refratário e isolante. O corpo do gerador é o local onde se dá a transferência de calor dos gases de combustão para o fluido a aquecer.

Para além destes componentes do gerador, existem ainda outros equipamentos auxiliares que permitem melhorar e controlar o bom funcionamento do gerador, como por exemplo as bombas de alimentação, as válvulas de segurança, o quadro de controlo e comando, manómetros, diversos pressostatos, economizadores, entre outros.

Ao abordar o tema dos geradores de calor convirá definir alguns termos (ADENE, 2004):

- a. Superfície de Aquecimento: é toda a parte metálica que é banhada, por um lado, pelo fluido quente (gases de combustão), ou até mesmo sujeita à radiação da chama, e por outro pelo fluido a aquecer;
- b. Timbre: é a pressão máxima para a qual a caldeira está dimensionada, que não pode ser ultrapassada durante o funcionamento;
- c. Tubular: Conjunto de tubos do gerador onde circulam os gases de combustão, ou o fluido a aquecer, conforme o tipo de gerador;
- d. Câmara de Inversão: é o local onde é feita a inversão dos gases quentes resultantes da combustão;
- e. Capacidade do gerador: é o volume total de todas as partes internas do gerador sujeitas a pressão;
- f. Espelhos, tampos, ou chapas dos tubulares: nos geradores horizontais, de corpo cilíndrico, esta designação refere-se às chapas onde se encontram ligados, por soldadura ou expansão os tubos de fumo.
- g. Tambores, barriletes ou coletores: no caso das caldeiras de tubos de água, é neste local que os tubos se encontram ligados;

Ao identificar e especificar um gerador de calor, as características que devem ser referidas são:

1. Natureza do fluido a aquecer;

2. Timbre e pressão de serviço;
3. Capacidade;
4. Superfície de aquecimento;
5. Potência térmica;
6. Temperatura do fluido a aquecer;
7. Combustível a queimar;
8. Rendimento térmico.

A. Tipos de Geradores

1. Piro tubulares

Também designado por caldeira de tubos de fumo, é normalmente horizontal e de forma cilíndrica, que tal como o nome indica, é dentro dos tubos que passa o fluido quente, ou seja os gases de combustão, como se pode visualizar na figura 3.1.

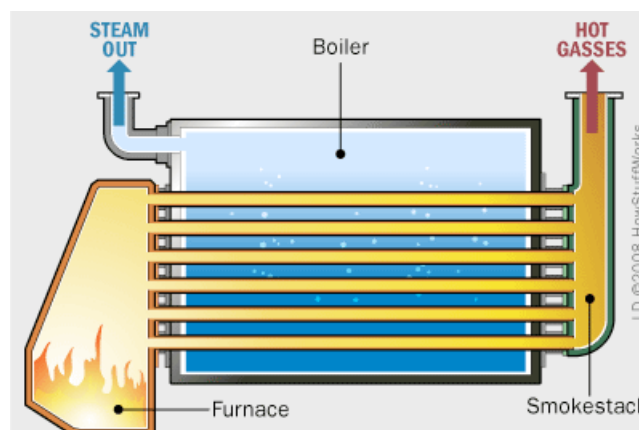


Figura 3.1 - Esquema de funcionamento de caldeira piro tubular (Fonte: HowStuffWorks)

Estas caldeiras têm, normalmente, um grande volume de água no seu interior, sendo utilizadas em indústrias com grandes pedidos de ponta e cargas irregulares.

Este tipo de gerador é bastante utilizado nos diversos tipos de indústria, assim como no aquecimento ambiente de grandes edifícios de serviços, devido à sua grande aptidão para os mais diversos serviços, utilizando-se na produção de (ADENE, 2004):

- Água quente (temperatura máxima de 110°C);
- Água sobreaquecida (com temperaturas acima dos 110°C e pressões de serviço superiores a 0.5 bar);
- Vapor saturado de baixa pressão (pressão de serviço até 0.5 bar);

- Vapor saturado ou sobreaquecido com pressões máximas na ordem dos 30 bar e temperaturas de sobreaquecimento máximas de 420°C).

2. Aquotubulares

Também designadas por caldeiras de tubos de água, onde circula no seu interior água que irá ser aquecida até se tornar vapor saturado, água sobreaquecida, ou mesmo vapor sobreaquecido. O fluido aquecedor circula pelo exterior das paredes ou em feixes tubulares.

A câmara de combustão é formada, normalmente, por paredes tubulares, com formato mais ou menos retangular, como se pode verificar na figura 3.2. Em ambos os tipos de caldeiras a chama é resultante da queima de um combustível sólido, líquido ou gasoso.

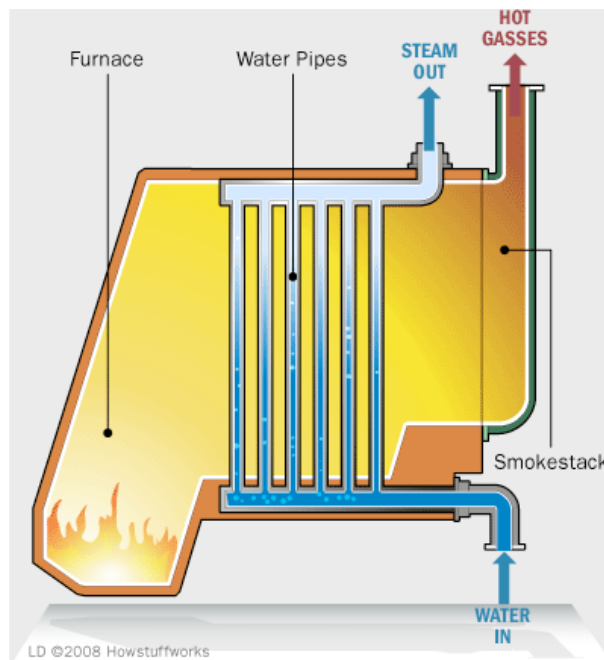


Figura 3.2 - Esquema de funcionamento de caldeira aquotubular (Fonte: HowStuffWorks)

Este tipo de caldeira é normalmente mais caro em relação às caldeiras piro-tubulares, para o mesmo débito de vapor e pressão. Quando se opera com caldeiras com alta eficiência térmica obtêm-se custos mínimos. Por isso vamos examinar as várias perdas para posteriormente perceber como minimizá-las.

As perdas totais de calor de uma caldeira são devidas:

- Perdas dos gases de exaustão;
- Perdas por radiação;
- Perdas por purgas.

Assim, teremos como rendimento térmico de uma caldeira, pelo método das perdas:

$$\eta = 100\% - \% \text{ perdas dos gases de exaustão} - \% \text{ perdas por radiação} - \% \text{ perdas por purgas} \quad (1)$$

Os cálculos baseiam-se no valor do poder calorífico bruto do combustível. Sempre que se considerar o poder calorífico de combustíveis ou o rendimento de caldeiras é importante esclarecer antes se estes se baseiam em valores inferiores ou superiores.

É essencial atender-se à diferença entre esses termos. Todos os combustíveis contêm hidrogénio e, quando queimados, há formação de água sob a forma de vapor. O calor latente desse vapor não é recuperado a menos que ocorra condensação:

- O poder calorífico superior (PCS) inclui toda a quantidade de calor disponível;
- O poder calorífico inferior (PCI) é obtido excluindo-se o calor latente da evaporação.

Assim, quando se usa na equação (1) o poder calorífico superior, a perda nos gases de exaustão, inclui o calor latente do vapor e caso se use o poder calorífico inferior, essa perda de calor não é considerada.

B. Perdas nos gases de exaustão

1. Relação ar-combustível

A regulação da combustão tem por objetivo determinar se a queima está otimizada ou não, por forma a minimizar as perdas de energia nos gases de combustão, o que implica a redução da temperatura e do excesso de ar a valores mínimos, sem o aparecimento de monóxido de carbono (CO) e inqueimados em grandes quantidades.

Se na relação ar-combustível o excesso de ar é baixo, o combustível não é completamente queimado, aparecendo nos gases de combustão elementos inqueimados, tais como o carbono, hidrocarbonetos, ou CO. Isto significa perda de rendimento, pois está a ser desperdiçado combustível que acaba por se perder sob a forma de calor latente nos gases de combustão, aumentando assim o custo operacional. Além disso, do carbono por queimar só uma parte sai nos gases de combustão, depositando-se o restante nas paredes da câmara de combustão, formando uma camada isolante que dificulta a transmissão de calor entre os gases quentes e o fluido a aquecer (ADENE, 2004).

Por outro lado, um elevado excesso de ar dá origem a um maior arrefecimento da câmara de combustão, perdendo-se calor no aquecimento do volume de ar em excesso, visto que será

desnecessário para a queima. O ponto ótimo da regulação da combustão corresponde a um compromisso entre estes dois fatores.

Assim, para se conseguir um rendimento térmico elevado, minimizando os custos de combustível, a quantidade de ar admitido deve ser apenas a necessária para assegurar a combustão completa do gás em todas as ocasiões. Para os geradores de calor que queimam gás natural, o excesso de ar recomendado varia entre os 5 e 15%, o que corresponde a uma percentagem de oxigénio (O_2) nos gases de combustão entre 1,5 e 2,5% (Oliveira, 2010).

Naturalmente, o excesso de ar mais económico corresponde ao mínimo da soma das perdas por combustão incompleta e perdas por calor sensível nos gases de combustão. Estas perdas, bem como outras associadas ao cálculo da eficiência térmica da combustão, são determináveis a partir da composição dos gases de combustão. O excesso de ar de combustão ótimo depende do tipo de combustível utilizado e tipicamente situa-se em geral, nas gamas indicadas a seguir.

Tabela 3.1 - Níveis de excesso de ar para cada tipo de combustível (Adaptado de (Oliveira, 2010))

% Excesso de Ar	% O_2	Tipo de Combustíveis
5 – 15%	1,5 – 2,5%	Gasosos (Gás Natural e GPL)
15 – 25%	3 – 4%	Líquidos (fuelóleo)
15 – 60%	3 – 7,5%	Sólidos (estilha)

Para comprovar se essa relação ar-combustível está correta, o método usual é fazer ensaios com o gás de exaustão ao sair da caldeira. A partir da temperatura e composição desse gás, é possível obter-se a perda de calor na exaustão.

Os recentes progressos nos controlos de queimadores possibilitaram a obtenção de proporções ar-combustível mais exatas e mais estáveis em todo o período operacional do queimador. Há, também sistemas que compensam automaticamente as variações das condições. Evidentemente que as vantagens de custos das várias opções devem ser avaliadas e comparadas. É importante ter em atenção que o desperdício de combustível devido à relação incorreta ar-combustível não é detetado imediatamente. Por isso, deve estar sujeito a verificações regulares e sistemáticas.

2. Limpeza das superfícies das trocas de calor

Desde que os tubos da caldeira estejam limpos e os controlos da combustão não causem formação de fuligem, as superfícies de troca de calor permanecem limpas nas caldeiras de aquecimento a gás.

A formação de fuligem deve ser permanentemente evitada. Se, no entanto, os tubos ficarem sujos, por exemplo devido à operação errada durante o acendimento com múltiplos combustíveis ou pelos motivos explicados acima, as perdas na exaustão serão aumentadas. As despesas de limpeza são rapidamente compensadas pela economia de combustível daí resultante.

Devem conhecer-se as recomendações do fabricante sobre a frequência de limpeza da caldeira.

C. Perdas por Radiação

As perdas de calor através das paredes em caldeiras recentes podem-se considerar cerca de 1% do poder calorífico do combustível. No entanto, em caldeiras mais antigas o valor terá tendência a ser mais elevado, atingindo até 10% quando o isolamento está em más condições. Por vezes estas perdas não são facilmente mensuráveis e é costume inclui-las nas perdas não especificadas.

As perdas por radiação são constantes, enquanto houver combustão e formação de vapor. Quando a utilização da caldeira é baixa, estas perdas podem representar uma parte considerável do total do combustível usado.

D. Perdas por Purgas

As caldeiras devem ser drenadas para remoção de depósitos de sais que se acumulam no fundo e para evitar depósitos nos tubos e arrastamento de poluidores para a tubagem de vapor. Para evitar grandes perdas de calor, estas ações devem ser no menor número possível, compatível com a manutenção do nível recomendado de sólidos em suspensão.

Parte dessa perda pode ser recuperada por um tanque de condensados ou por um permutador de calor, usando-se esse calor para pré-aquecimento da água de alimentação ou outras finalidades. Se o condensado puder retornar ao reservatório de água de alimentação da caldeira, a despesa das purgas pode ser drasticamente reduzida (ADENE, 2004).

3.1.2. Ar Comprimido

A importância do ar comprimido é muitas vezes subvalorizada, mas na realidade é das tecnologias com maior representatividade no setor industrial para diversos processos de fabrico modernos, como força e/ou meio de controlo. Mesmo que não nos apercebamos, a maioria dos produtos que utilizamos nos nossos dias simplesmente não podiam ser fabricados sem ar

comprimido. O ar comprimido representa cerca de 10% do total da energia utilizada a nível global na indústria dos nossos dias (Compressed Air Explained - Why do we need it, 2015).

Os principais equipamentos de uma central de ar comprimido são os seguintes (Atlas Copco, 2010):

- Compressores;
- Arrefecedores (intermédio, posterior);
- Secadores (frigoríficos, adsorção, absorção, membrana);
- Filtros (papel plissado, sinterizados, coalescentes, carvão ativado, esterilizantes);
- Reservatório de armazenamento de ar comprimido;
- Rede de distribuição;
- Lubrificadores;
- Reguladores de pressão.

O equipamento standard para as instalações de compressores de ar de deslocamento positivo devem incluir um filtro de aspiração, um arrefecedor posterior e um reservatório de ar. Em muitas instalações, particularmente com certos compressores rotativos, é necessário instalar silenciadores de aspiração e possivelmente também de descarga.

Os compressores alternativos podem necessitar igualmente de um silenciador de aspiração, não com o objetivo de reduzir o ruído mas, sim para amortecer as pulsações.

Os compressores dinâmicos não exigem a instalação de reservatório de ar e o uso de arrefecedores posteriores dependerá da aplicação específica. Devem ser instalados filtros de aspiração e por vezes é necessário incluir silenciadores de aspiração (Atlas Copco, 2010).

3.1.2.1. Compressores

Existem dois tipos de compressores: dinâmicos e volumétricos. Nos compressores dinâmicos o ar é acelerado até uma determinada velocidade e conduzido para um difusor que converte a energia cinética em pressão. Existem três tipos de compressores dinâmicos que se distinguem basicamente pelo método como imprimem velocidade ao ar:

- Radiais (centrífugos)
- Axiais
- Injetores

Nos compressores volumétricos o ar é encerrado num espaço e a compressão é realizada por intermédio da redução do volume do espaço. Este método de compressão é realizado em dois tipos de compressores:

- Alternativos
- Rotativos

Os compressores alternativos aspiram uma quantidade de ar (normalmente à pressão atmosférica) num espaço de tempo enquanto que, os compressores rotativos aspiram continuamente ar.

Os compressores volumétricos, mais precisamente os de êmbolo e de parafuso são os mais difundidos e utilizados, cobrindo uma vasta gama de volumes e pressões.

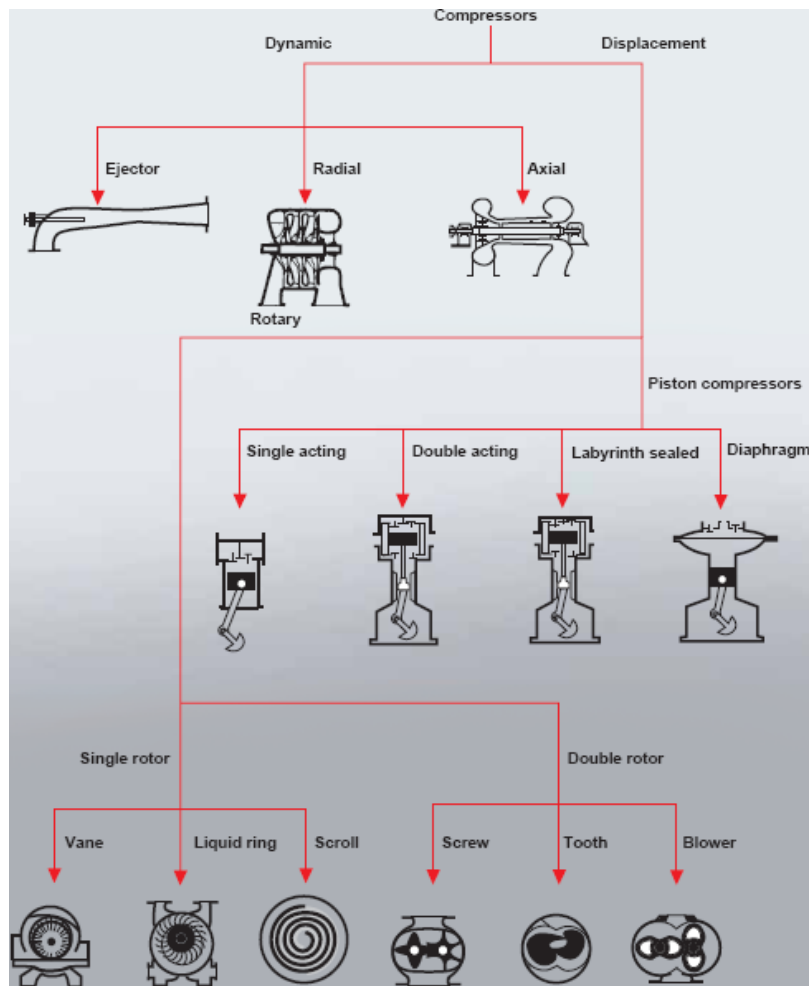


Figura 3.3 - Tipos de compressores (Fonte: Atlas Copco)

a. Compressores de êmbolo

O elemento básico dos compressores alternativos é um cilindro único que comprime numa face do êmbolo (simples efeito). Uma unidade que comprime em ambas as faces do êmbolo é

designado de duplo efeito, consiste em dois elementos básicos de simples efeito operando em paralelo. Cobrem uma vasta gama de volumes e pressões chegando aos 2100 bar de capacidade. Consoante essa capacidade podem ter um andar (compressão num único cilindro) ou diversos andares (compressão sucessiva em diversos cilindros).

O maior número de compressores de êmbolo existentes no mercado tem 1 e 2 andares.

b. Compressores de parafuso

Os elementos principais destes compressores são os dois rotores helicoidais (macho e fêmea) que se deslocam na direção um do outro enquanto o volume entre eles e a armação da caixa diminui, comprimindo assim o ar. A relação de pressão de um parafuso depende do comprimento e perfil do parafuso e da forma da porta de descarga (Compressed Air Explained - The three types of compressors, 2015). Nos compressores de parafuso cerca de 85 a 90% da potência é consumida pelo rotor macho e os restantes 10 a 15% pelo rotor fêmea. Existem compressores de parafuso não lubrificados que produzem ar comprimido isento de óleo através da utilização de engrenagens de sincronização externas para os rotores macho e fêmea. Ao não existir fricção entre os rotores e a carcaça, não se requer lubrificação no interior da câmara de compressão. A utilização de compressores não lubrificados não elimina a necessidade da filtração do ar e o investimento inicial e os custos de exploração são substancialmente superiores relativamente aos lubrificados.

O óleo no interior do compressor desempenha três funções nobres: arrefece o ar durante a compressão, veda os rotores e lubrifica-os. Mas existe a necessidade de impedir a presença de óleo na rede de distribuição através da instalação de elementos filtrantes que permitem obter o grau de limpeza que se pretenda.

c. Aspiração do compressor

A aspiração dos compressores de reduzida capacidade realiza-se, normalmente, na própria sala de compressores, enquanto que, para os de maior dimensão a aspiração efetua-se no exterior da sala. Deve-se efetuar a aspiração exterior e sempre a um nível superior ao telhado para evitar reflexões do ruído. No extremo da tubagem de aspiração deve instalar-se uma malha protetora e uma campânula. Se a aspiração é realizada no interior da sala, requer-se a existência de uma ventilação adequada (Kaeser Compressores, 2010).

No sistema de aspiração a queda de pressão e a temperatura devem ser as mais baixas possíveis. Por cada 10 milibares de queda de pressão, ou incremento da temperatura de 3°C no ar de aspiração, reduz-se a capacidade do compressor em 1% para o mesmo consumo, aumentando na

mesma proporção o consumo de energia para o mesmo volume de ar gerado (Atlas Copco, 2010).

3.1.2.2. Arrefecedores

Os arrefecedores diminuem a temperatura do ar comprimido provocando a condensação de vapor de água e drenam os condensados, preferencialmente com purga automática. Normalmente é utilizado como elemento refrigerante o ar ou a água. Embora a água possua uma melhor capacidade de refrigeração, só é normalmente utilizada, quando o próprio compressor a utiliza como refrigerante.

Existem dois tipos de arrefecedores: o intermédio (intercooler) e o posterior (aftercooler). O intermédio encontra-se entre dois andares de compressão e tem como função diminuir a temperatura do ar de descarga para valores próximos do ar de aspiração, diminuir o volume do ar a admitir no andar seguinte e é onde ocorre a primeira condensação de vapor de água. O posterior encontra-se após a compressão e irá diminuir a temperatura do ar e provocar a condensação do vapor de água, sendo o ponto de toda a instalação onde se verifica a temperatura mais baixa do ar comprimido. Os condensados são separados e conduzidos para o exterior. É necessário instalar purgadores e separadores de água ao longo da rede de distribuição para drenarem o vapor de água que possa condensar (Kaeser Compressores, 2010).

O arrefecimento do ar comprimido reduz, evidentemente, o seu volume por unidade de massa e, portanto, reduz também o seu conteúdo energético. Esta situação não representa uma perda real de potência porque o ar sofreria um arrefecimento natural ao longo das tubagens.

3.1.2.3. Secadores

Este equipamento tem como finalidade reduzir o ponto de orvalho do ar comprimido para valores compatíveis com a temperatura ambiente e com a sua aplicação. Ao reduzir o teor de humidade permite várias vantagens:

- Redução até 30% do custo de instalação da rede de ar, pela não necessidade de dispositivos de eliminação de água;
- Redução até 25% dos gastos com a manutenção da rede, válvulas, ferramentas, devido ao risco mínimo de corrosão;
- Menores riscos de fugas de ar devidas à corrosão;
- Evita-se o arraste de lubrificante nas ferramentas;
- Maior qualidade dos produtos tratados no caso de aplicações sensíveis à água;
- Minimiza-se o risco de congelação em tubagens exteriores;
- Obtêm-se um ponto de orvalho constante, independentemente da carga.

Para rentabilizar o processo de secagem, requer-se um tratamento prévio do ar comprimido para que o mesmo cumpra as seguintes condições:

- Temperatura inferior a 35°C (com o arrefecedor posterior consegue-se, normalmente, cumprir este requisito);
- Isenção de óleo (é conseguido com a colocação de um filtro);
- Isenção de partículas sólidas (é conseguido com a colocação de um filtro à entrada do secador).

Existem quatro tipos de secadores: de refrigeração, de absorção, de adsorção e de membrana.

Num secador de refrigeração convencional, o vapor de água contido no ar é parcialmente eliminado através da diminuição da temperatura para valores inferiores ao ponto de orvalho, provocando consequentemente, a condensação da água. A temperatura do ar de entrada é de 30-35°C e, com um sistema de recuperação, é arrefecido pelo ar comprimido de saída do secador para valores da ordem dos 20°C. Seguidamente o ar sofre no evaporador uma redução da temperatura para cerca de 3°C. Finalmente o ar comprimido de saída recebe calor do ar de entrada, adquirindo aproximadamente 21°C. Este sistema reduz a capacidade necessária do equipamento de frio para menos de metade com a consequente economia de energia (Atlas Copco, 2010).

Nos secadores de absorção a secagem é feita através da passagem do ar comprimido por substâncias que reagem quimicamente com o vapor de água. Embora este tipo de tecnologia não seja recomendável devido à reação do vapor de água com as substâncias absorventes que provocam a libertação de gases ácidos.

Nos secadores de adsorção a secagem é feita pela passagem do ar comprimido através de substâncias com capacidade adsorvente tais como, a silicagel, a alumina ativada e seiva molecular. Estas substâncias, sólidas e extremamente porosas (dessecantes), atraem e retêm moléculas líquidas e gasosas.

Este processo efetua-se de forma bastante rápida, normalmente bastam tempos de contacto do ar comprimido com o material entre 0,1 e 0,5 segundos. Este tipo de secador é constituído por duas unidades semelhantes: uma efetua a secagem enquanto a outra se regenera (libertação da água acumulada na substância adsorvente). A regeneração pode ser realizada a frio ou a quente. No processo a frio as substâncias adsorventes são atravessadas por 7% a 17% de ar seco derivado do caudal principal de ar comprimido seco. Este processo provoca uma perda significativa de caudal de ar comprimido que, poderá não ser tolerada. No processo a quente as substâncias adsorventes são aquecidas por intermédio de resistências elétricas e a água é expulsa com ar que

provém do próprio caudal de ar comprimido seco, representando cerca de 1% de perda de caudal. Este processo de regeneração pode também ser realizado pela ventilação forçada de ar atmosférico previamente aquecido (Atlas Copco, 2010).

3.1.2.4. Filtros

O filtro de ar comprimido aparece geralmente em três posições diferentes: antes e depois do secador de ar comprimido e também junto ao ponto-de-uso.

A função do filtro instalado antes do secador por refrigeração (pré-filtro) é separação da contaminação sólida e líquida residual (cerca de 30%) não totalmente eliminada pelo separador de condensados do resfriador-posterior, protegendo os permutadores de calor do secador contra o excesso de óleo oriundo do compressor de ar, o que poderia impregná-los, prejudicando sua eficiência de troca térmica (Atlas Copco, 2010).

O excesso de condensado no secador também reduz sua capacidade de resfriamento do ar comprimido, pois consome-se energia para resfriar um condensado que já poderia ter sido eliminado do sistema.

O filtro instalado após o secador (pós-filtro) deve ser responsável pela eliminação da humidade residual (cerca de 30%) não removida pelo separador mecânico de condensados do secador por refrigeração, além da contenção dos sólidos não retidos no pré-filtro.

A capacidade do pós-filtro em efetuar a eliminação de qualquer humidade residual é seriamente afetada pela temperatura do ar comprimido na saída do secador. Na verdade, em qualquer secador por refrigeração, o ar comprimido sofre um reaquecimento antes de voltar à tubulação. Esse reaquecimento é intencional (economiza energia e evita que a tubulação fique gelada), mas provoca a completa reevaporação da humidade residual que não foi removida pelo separador de condensados. No estado gasoso, essa humidade não pode ser eliminada pelo pós-filtro. Na prática, o pós-filtro instalado após o secador por refrigeração retém apenas partículas sólidas. No caso de sistemas dotados de secadores por adsorção, o pós-filtro destina-se apenas à retenção das partículas sólidas produzidas pela abrasão do material adsorvedor (poeira do adsorvedor) (Atlas Copco, 2010).

Existem vários tipos de filtros (Atlas Copco, 2010):

- Filtros com elemento sinterizado / papel plissado;
- Filtros com elemento coalescente;
- Filtros com elemento de carvão ativo;
- Filtros com elemento esterilizante;

- Filtros para aplicações especiais.

3.1.2.5. Qualidade do ar comprimido

A qualidade do ar comprimido está dividida em diferentes classes atendendo às necessidades de sua aplicação. Isso ajuda o utilizador a definir as suas necessidades e seleccionar os componentes de condicionamento específicos. A norma ISO 8573-1 está baseada nas especificações dos fabricantes, os quais determinam os valores limites permissíveis com referência à pureza do ar para os sistemas de ar comprimido de seus equipamentos (Kaeser Compressores, 2010).

A norma define as classes de qualidade do ar comprimido com referência a:

- Tamanho e densidade das partículas – Definição de valores máximos de tamanho e concentração de partículas sólidas que o ar comprimido pode conter;
- Conteúdo de óleo – Definição da quantidade residual de aspersão de óleo e hidrocarbonetos que o ar comprimido pode conter;
- Ponto de vapor da pressão – Definição da temperatura mínima na qual o ar comprimido pode ser arrefecido sem precipitação do vapor de água contido como produto de condensação. O ponto de vapor de pressão varia com a pressão atmosférica.

Tabela 3.2 - Classes de qualidade do Ar Comprimido (Fonte: ISO 8573-1)

Classe	Sólido			Água		Óleo	
	Tamanho máximo de partículas	Concentração máxima **		Ponto de condensação A pressão máxima		Concentração máxima	
	* (µm)	ppm	(mg/m³)	°F	(°C)	ppm	(mg/m³)
1	0,1	0,08	(0,1)	-94	(-70)	.008	(0,01)
2	1	0,8	(1)	-40	(-40)	.08	(0,1)
3	5	4,2	(5)	-4	(-20)	.83	(1)
4	40	8,3	(10)	37	(+3)	4.2	(5)
5	-	-	-	45	(+7)	21	(25)
6	-	-	-	50	(+10)	-	-

3.1.2.6. Reservatório de ar comprimido

O reservatório de ar comprimido é instalado imediatamente depois do arrefecedor posterior e tem as seguintes funções:

1. Armazenar o ar comprimido necessário para suprir as pontas de consumo que excedam a capacidade do compressor;
2. Aumentar o arrefecimento do ar comprimido e recolher condensados e óleo;

3. Amortecer as variações de pressão na rede de distribuição;
4. Evitar os ciclos de carga e vazio ou paragem do compressor demasiado curtos;
5. Amortecer a pulsação do ar comprimido produzido em compressores alternativos

Os reservatórios deverão ser instalados, sempre que possível, no exterior da central de ar comprimido, num local fresco para facilitar o arrefecimento do ar e aumentar a condensação do vapor de água.

Em relação ao dimensionamento do reservatório depende do débito do compressor, do sistema de regulação de caudal, da pressão de trabalho e das variações previstas no consumo. Para pressões de trabalho entre 7 e 9 bar admite-se como valores orientadores um décimo do débito do compressor em m³/min quando a instalação tem consumos homogéneos e regulação carga parcial-vazio, já quando os consumos são irregulares e a regulação é automática o volume do reservatório deverá ser igual ao débito do compressor em m³/min (Atlas Copco, 2010).

3.1.2.7. Rede de distribuição

A rede de distribuição tem como função transportar o ar comprimido da central até aos diversos utilizadores com a mínima introdução de perdas de carga e de fugas. De modo a evitar ou reduzir ao mínimo essas perdas, a rede de distribuição deve ter a mínima extensão possível, a quantidade necessária e suficiente de acessórios e o diâmetro das condutas adequado.

As redes de distribuição devem ser dimensionadas de modo a que as perdas de carga entre o compressor e o ponto de consumo mais afastado não excedam os 0,3 bar. Para instalações com áreas bastante grandes é admissível uma perda de carga nunca superior aos 0,5 bar. Por exemplo, se um compressor estiver a trabalhar a 9 bar absolutos para compensar as perdas de carga em vez de 8 bar absolutos como seria desejável, implicaria um aumento de 5,7% no consumo de energia (Atlas Copco, 2010). Este cálculo é obtido através da equação (2):

$$\text{Aumento de consumo de energia} = \left(\frac{\log P_2}{\log P_1} - 1 \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que:

P1 – Pressão absoluta de descarga do compressor para uma perda de carga mínima (bar)

P2 – Pressão absoluta de descarga do compressor para uma perda de carga máxima (bar)

As perdas de carga devem-se a determinados fatores e elementos que provocam resistência ao movimento do ar, dos quais se destacam, a velocidade na secção da conduta, uniões, soldaduras,

rugosidade do interior das condutas, curvas e os ângulos da rede, acessórios, válvulas. Por exemplo, para um determinado caudal, a redução do diâmetro de uma tubagem para metade, provoca um incremento da velocidade do ar comprimido e conseqüentemente a perda de carga aumenta 39 vezes (Atlas Copco, 2010).

As velocidades admissíveis nas linhas de ar têm como valores normais entre os 6 e 10 m/s, que são suficientemente baixos para não criar excessivas perdas de carga e dificultar a separação da água. Nos ramais de tubagem curtos admitem-se maiores velocidades porque, sendo curtos, não produzem uma excessiva queda de pressão (Atlas Copco, 2010).

A grande aplicabilidade do ar comprimido na indústria prende-se pelo facto de se encontrar disponível gratuitamente para ser utilizado e após a realização do trabalho não requer tubagem de retorno como, por exemplo, o óleo hidráulico. Outras vantagens podem ser enumeradas (ADENE, 2004):

1. É armazenado facilmente sendo possível dispor de elevadas quantidades de energia para utilizar em determinado instante;
2. As fugas de ar no sistema, embora sejam um desperdício e portanto uma situação indesejável, não constituem, no entanto, qualquer risco sério;
3. Facilmente é controlado;
4. Pode ser utilizado para obter movimento linear e rotativo para largas gamas de força e velocidade;
5. Pode ser utilizado tanto como meio de medição e de atuação para executar funções complicadas de controlo;
6. Pode ser utilizado como meio de agressão (decapagem com areia) e de proteção (lubrificação de rolamentos).

3.1.3. Motores elétricos

De todos os tipos de motores, os motores elétricos são os mais utilizados, pois combinam as vantagens da utilização de energia elétrica, transporte fácil, limpeza e simplicidade de comando, com a sua construção simples e uma grande versatilidade de adaptação às mais diversas cargas.

Na União Europeia, os motores elétricos são os equipamentos mais disseminados em todos os sectores industriais, usando cerca de 70% da energia elétrica total consumida na indústria. Em Portugal, são responsáveis por mais de 70% do consumo de eletricidade da indústria, e por cerca de 30% do consumo elétrico global do país (Magueijo, et al., 2010).

Estes equipamentos acabam por ter uma grande representatividade no consumo energético de uma instalação por serem utilizados numa vasta gama de aplicações como ventiladores,

compressores, bombas, moinhos, elevadores, transportadores, entre outros. Como se pode ver pela figura 3.4, as aplicações em que ocorre a movimentação de fluidos (sistemas de bombagem, ventilação e compressão de ar) representam 61% do consumo elétrico total dos motores industriais (ADENE, 2004).

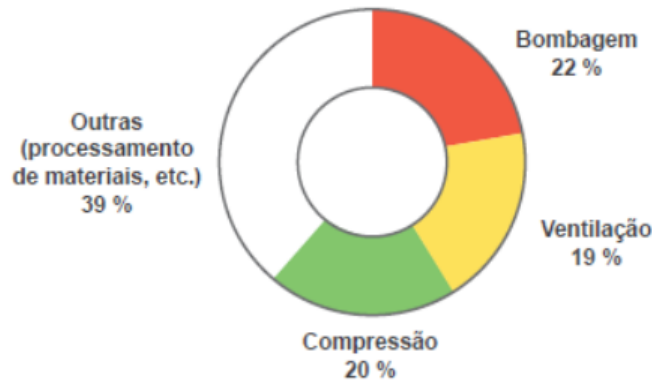


Figura 3.4 – Sistemas com utilização de motores elétricos (Fonte: (Magueijo, et al., 2010))

Os motores elétricos são máquinas destinadas a transformar energia elétrica em energia mecânica, que podem ser alimentados com corrente contínua ou alternada. Os motores elétricos alimentados com corrente alternada podem ainda ser divididos em duas categorias: síncronos e assíncronos (de indução).

Os motores de corrente contínua (DC) são normalmente motores com um custo elevado que precisam de uma fonte de corrente contínua ou de um dispositivo que converta a corrente alternada em contínua. Podem funcionar com velocidade variável e são muito fáceis de controlar e precisos. Só se usam em casos especiais onde as exigências compensam o custo mais alto da sua instalação. Já os motores de corrente alternada (AC) são os mais utilizados porque a distribuição de energia elétrica na rede é feita através de corrente alternada.

Os motores síncronos funcionam com velocidade fixa e utilizam um circuito induzido que possui um campo constante pré-definido, e com isso, aumentam a resposta ao processo de arrasto criado pelo campo girante. São geralmente utilizados quando se necessita de velocidades estáveis, com cargas variáveis ou para grandes potências, com um binário constante. Já os motores assíncronos funcionam normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido à sua grande simplicidade, robustez, baixo custo e reduzida manutenção, são os motores mais utilizados em quase todos os tipos de máquinas elétricas encontradas na indústria, como bombas, ventiladores, compressores de ar, moinhos, sistemas de transporte, guinchos, elevadores, máquinas ferramenta e máquinas de tração (ADENE, 2004).

Muitos dos motores em funcionamento não se encontram devidamente dimensionados para alimentar o sistema em que se encontram acoplados, encontrando-se normalmente sobredimensionados, levando a que o sistema trabalhe em regimes de carga parcial ou variável ao longo do tempo (Magueijo, et al., 2010). Muitas vezes, embora o motor elétrico esteja corretamente dimensionado e funcione em condições adequadas, existem perdas noutras partes do sistema de potência. Aqui, define-se sistema de potência como sendo um sistema que produz trabalho mecânico a partir de energia elétrica, possuindo para o efeito várias partes/secções, incluindo a alimentação de energia mecânica pelo motor elétrico, a transmissão da energia mecânica ao equipamento utilizador final e a aplicação dessa energia pelo equipamento utilizador final (ex. bombas, ventiladores) (Magueijo, et al., 2010). As perdas, que são inerentes ao processo de transformação, são quantificadas através do rendimento. O rendimento de um motor é igual à potência mecânica disponível no veio do motor a dividir pela potência elétrica fornecida ao motor:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{el}} \times 100\% \quad (3)$$

As perdas num motor de indução correspondem à energia que não é convertida em trabalho útil, e que é transformada em calor. Por isso, as perdas não só contribuem para a redução do rendimento do motor, mas também vão provocar um aumento de temperatura do motor. Um aumento excessivo de temperatura pode conduzir a uma redução substancial da vida do motor (Magueijo, et al., 2010).

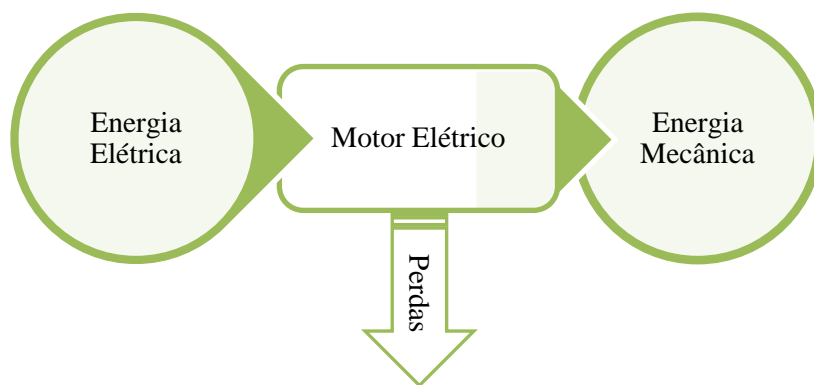


Figura 3.5 - Balanço energético de motor elétrico (Adaptado de ADENE)

As perdas num motor podem ser classificadas nos seguintes tipos:

- Perdas mecânicas – estas perdas derivam do atrito nos rolamentos, do tipo de acoplamento e da ventilação do motor (ventilador e o atrito cinético do rotor com o ar envolvente);

- Perdas nos enrolamentos por efeito de Joule - estas perdas nos condutores dos enrolamentos do estator e na gaiola do rotor, devem-se à passagem da corrente, sendo proporcionais ao quadrado da corrente e ao valor da resistência;
- Perdas magnéticas no ferro – as perdas no ferro estão associadas à variação no tempo do fluxo magnético, produzindo correntes induzidas no ferro (correntes de Foucault) e perdas por histerese (associadas aos ciclos de magnetização do ferro). Estas perdas são aproximadamente proporcionais ao quadrado da densidade do fluxo magnético.

As perdas magnéticas e as perdas mecânicas são praticamente constantes, não variando com a carga. Pelo contrário, as perdas no cobre mostram um crescimento quadrático substancial com o aumento da carga. Devido às perdas magnéticas e às perdas mecânicas, o rendimento dos motores de indução cai substancialmente para cargas inferiores a 50% da carga nominal. Entre 50% e 100% da carga o rendimento dos motores de indução permanece aproximadamente constante. O ponto de máximo rendimento ocorre normalmente entre 75% e 100% da carga, dependendo do projeto do motor (ADENE, 2004).

Da vasta gama de aplicações podem inferir-se significativas economias de energia elétrica, sendo portanto desejável a utilização de tecnologias mais eficientes, capazes de reduzir o consumo de eletricidade em força motriz. Estas tecnologias incluem os motores de alto rendimento, os variadores eletrônicos de velocidade (VEV) e a melhoria dos sistemas mecânicos de transmissão, entre outros.

De modo a diferenciar quais os motores mais eficientes foi estabelecido em 1998, na Europa, um acordo voluntário coordenado pelo CEMEP (associação europeia de motores e produtos de automação fabricantes) e assinado por fabricantes de automóveis, classificações para a eficiência dos motores, EFF3, EFF2 e EFF1 (EFF3 sendo o menor eficiência e EFF1 o mais alto). No entanto, apesar da implementação deste acordo voluntário não havia nenhuma obrigação para os usuários adquirirem motores mais eficientes embora em alguns países, tenham sido criados programas de apoio financeiro para estimular a compra de motores EFF1.

Sendo os motores com a classificação EFF1 os mais eficientes, esta nomenclatura não permitiria acompanhar a evolução que viesse a existir no rendimento dos motores elétricos. Com a aprovação em julho de 2009 da Diretiva Ecodesign 2005/32/EC, a classificação EFFX viria a deixar de existir a partir de junho de 2011.

A norma “Ecodesign” estabelece requisitos mínimos de eficiência para motores elétricos de 2 a 6 polos com potências entre os 0,75 kW e os 375 kW. Esta diretiva baseia-se nas normas IEC60034-2-1(2007), para a medição do rendimento dos motores, e IEC60034-30(2008), para classificação dos motores em função do seu rendimento. Nesta última, são definidos três níveis

de rendimento: IE1 (rendimento padrão), IE2 (alto rendimento) e IE3 (rendimento “premium”). A própria norma define que, em junho de 2011, os motores de indução trifásicos comercializados na União Europeia teriam que ser todos de classe igual ou superior à IE2, em janeiro de 2015, os motores entre 7,5 kW e 375 kW terão que ser todos de classe igual ou superior à IE3 e, finalmente, em janeiro de 2017, os motores terão que ser todos de classe igual ou superior a IE3. Os fabricantes são obrigados a mostrar o valor e classe de rendimento na chapa de características. Além disso, é a primeira diretiva que se estende para além do motor elétrico, incluindo também a utilização de variadores de velocidade (Diretiva 2005/32/EC, 2009).

Mais recentemente a norma IEC60034-31 definiu a classe IE4 (rendimento “Super Premium”) (IEC & Doppelbauer, s.d).

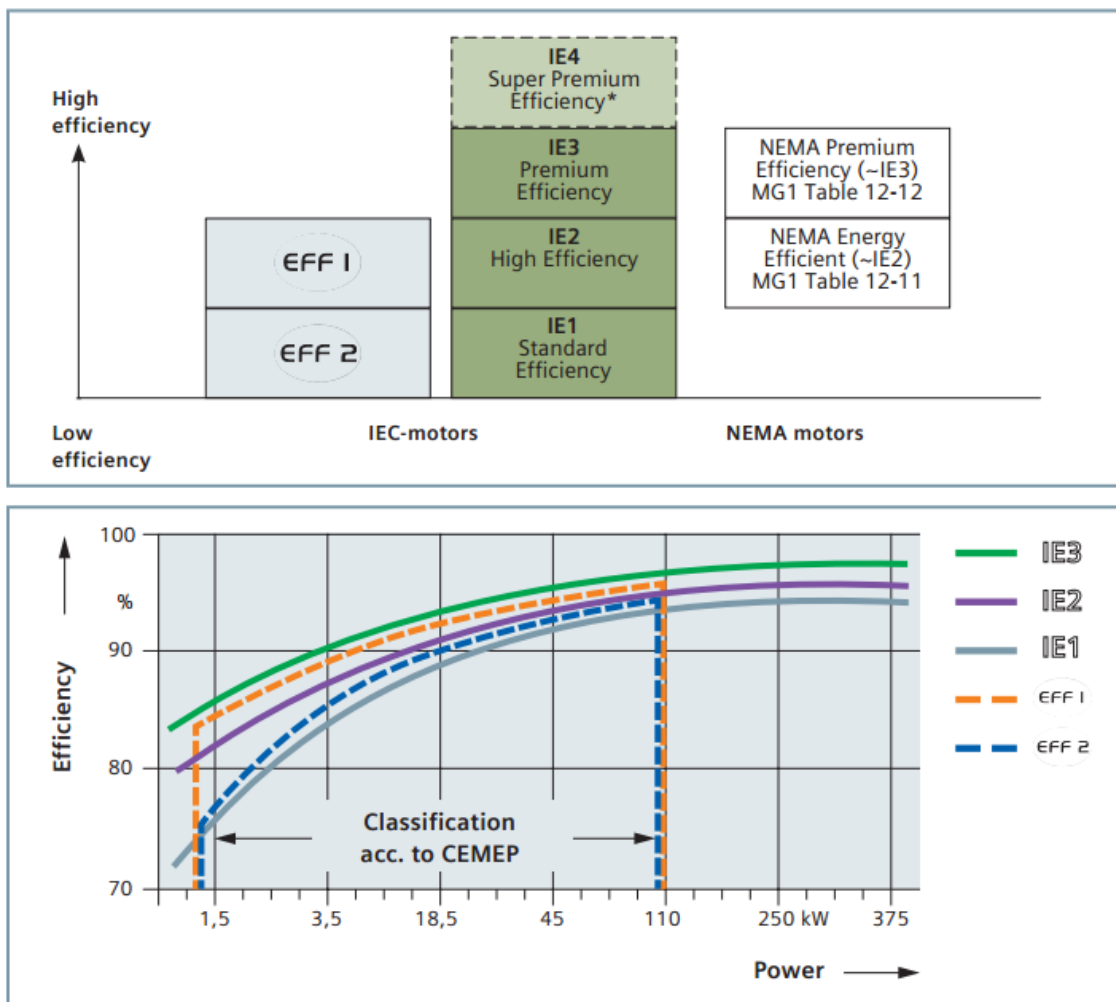


Figura 3.6 - Classes de Eficiência Energética dos motores elétricos (Fonte: (IEC & Doppelbauer, s.d))

Desde há algum tempo que os VEV's se têm tornado uma alternativa à implementação de motores mais eficientes, visto serem mais atrativos do ponto de vista económico. A melhoria do desempenho e fiabilidade dos VEV's fornece maiores economias energéticas e acelera a

amortização dos investimentos associados à sua instalação e utilização, diminuindo o PRI. Esta tecnologia permite atuar sobre a amplitude e a frequência da tensão de alimentação do motor, controlando-se assim a sua velocidade angular e o seu binário. Para além do controlo de velocidade, os VEV's podem ter outras vantagens, tais como: uma maior proteção térmica do motor e a possibilidade de arranques e paragens suaves (Magueijo, et al., 2010).

A viabilidade de implementação desta tecnologia depende de vários fatores: a potência do motor a controlar, o tipo de aplicação, o número de horas de funcionamento e o regime de carga do motor. Em relação a este último fator, quanto mais variável for o regime de carga, maior será o potencial de economia de energia.

Os custos elevados da energia elétrica fazem com que a eficiência dos motores e dos sistemas de potência de que fazem parte, seja um assunto constante. O enorme peso dos motores elétricos no consumo de eletricidade industrial e a existência de técnicas/medidas que permitem aumentar a eficiência energética, transformam o campo de aplicação dos motores elétricos numa área onde os potenciais de poupança de energia são muito significativos (Magueijo, et al., 2010).

3.1.4. Iluminação

A energia elétrica consumida nos sistemas de iluminação nos diferentes sectores de atividade (indústria, serviços e doméstico), representa aproximadamente 25% do consumo global do país, e cerca de 5% a 7% do consumo global de energia elétrica de uma instalação industrial (ADENE, 2004). Sendo por isso uma área onde a utilização de equipamentos mais eficazes trará reduções significativas nos consumos energéticos.

Assim, instalar equipamentos que proporcionem os níveis de iluminação necessários ao desempenho das atividades reduzindo quer o consumo de energia elétrica quer os custos de manutenção dos sistemas é o principal objetivo ao abordar estes sistemas.

A iluminação de qualquer espaço deve ser estabelecida de acordo com os critérios de quantidade e qualidade da iluminação proporcionada. Assim, deverão ser tomadas em consideração os seguintes parâmetros característicos das instalações (ADENE, 2004) (Pais, 2011) (Licht.de):

- **Iluminância:** Quanto maior for o nível de detalhe ou menor for o contraste com o fundo, maior será a quantidade de luz necessária para a realização das tarefas, pelo que dependendo do tipo de tarefa desempenhado o nível de iluminância varia. As luminárias devem pois proporcionar níveis de iluminância adequados quer à exigência das tarefas a desempenhar, quer ao tipo de utilizador que a desempenha, nomeadamente a sua idade e

características visuais. Na norma EN 12464 é possível verificar quais os níveis recomendados para as diferentes tarefas, tabela 3.3. É um parâmetro medido em lux;

- Uniformidade: Uma distribuição equilibrada da iluminação, evitando uma iluminação direcional muito difusa ou demasiado forte reduzindo assim contrastes acentuados, é um fator imprescindível para o rendimento e conforto visual dos utilizadores;
- Encandeamento: O encandeamento, direto ou refletido, produz nos utilizadores sensações de desconforto que, em casos extremos, pode conduzir à total incapacidade de visão. É vulgar a ocorrência deste fenómeno nas instalações com lâmpadas fluorescentes montadas em régua desprotegidas ou pela incidência direta da luz solar. Este parâmetro é avaliado através do índice unificado de encandeamento limite (UGR_L), também definido dependendo do tipo de tarefa a realizar;
- Restituição de cor: O modo como a luz reproduz as cores dos objetos designa-se por restituição de cor. Uma das características importantes das lâmpadas é o seu índice de restituição de cor (IRC), fator determinante para a sua escolha em função das tarefas a desempenhar e da necessidade da criação de uma atmosfera agradável. Este parâmetro é analisado em micron ou em nanómetro.

De uma forma geral, uma boa iluminação melhora a velocidade de perceção e aumenta a sensibilidade visual, pelo que os níveis de iluminância recomendados na norma EN 12464 têm em conta o desempenho visual médio necessário à realização das tarefas. Deve ter-se em atenção que os valores recomendados na norma são valores genéricos tendo em atenção padrões médios de iluminação relativos a cada atividade (ADENE, 2004). No entanto, para além dos parâmetros descritos acima, é necessário ter em conta outros fatores menos quantificáveis como as condições envolventes (cor da parede, refletividade, divisões interiores), a idade dos funcionários e as características inerentes à tarefa (Natural Resources Canada, 2011).

Tabela 3.3 - Níveis recomendados de iluminação para a indústria metalúrgica, automóvel e elétrica (Fonte: licht.de)

Type of interior, task or activity	\bar{E}_m	UGR _L	R _s
Metal working and processing			
Open die forging	200	25	60
Drop forging	300	25	60
Welding	300	25	60
Rough and average machining: tolerances ≥ 0.1 mm	300	22	60
Precision machining; grinding: tolerances < 0.1 mm	500	19	60
Scribing; inspection	750	19	60
Wire and pipe drawing shops; cold forming	300	25	60
Plate machining: thickness ≥ 5 mm	200	25	60
Sheet metalwork: thickness < 5 mm	300	22	60
Tool making; cutting equipment manufacture	750	19	60
Assembly:			
– rough	200	25	80
– medium	300	25	80
– fine	500	22	80
– precision	750	19	80
Galvanising	300	25	80
Surface preparation and painting	750	25	80
Tool, template and jig making, precision mechanics, micro mechanics	1,000	19	80
Vehicle construction			
Body work and assembly	500	22	80
Painting, spraying chamber, polishing chamber	750	22	80
Painting: touch-up, inspection	1,000	19	90
Upholstery manufacture (manned)	1,000	19	80
Final inspection	1,000	19	80
Electrical industry			
Cable and wire manufacture	300	25	80
Winding:			
– large coils	300	25	80
– medium-sized coils	500	22	80
– small coils	750	19	80
Coil impregnating	300	25	80
Galvanising	300	25	80
Assembly work:			
– rough e.g. large transformers	300	25	80
– medium e.g. switchboards	500	22	80
– fine e.g. telephones	750	19	80
– precision e.g. measuring equipment	1,000	16	80
Electronic workshops, testing, adjusting	1,500	16	80

Reduzir os níveis de iluminação recomendados com a finalidade de reduzir os consumos de energia é uma medida errada, pois normalmente esta atitude traduz-se num decréscimo de produtividade, num aumento significativo de acidentes de trabalho e num aumento da fadiga dos trabalhadores.

As lâmpadas apresentam diferentes rendimentos ou eficiências luminosas, que é a razão entre o fluxo luminoso (em lúmen) produzido e a energia elétrica (em Watt) consumida pela lâmpada. O seu valor é expresso em lumens por watt (lm/W) e representa a relação entre a quantidade de luz emitida e a quantidade de energia elétrica absorvida.

As reduções do consumo de energia elétrica nas instalações de iluminação passam pela utilização de lâmpadas de elevada eficiência luminosa, sendo para tal necessário conhecer as

suas características principais de modo a realizar uma escolha criteriosa, não prejudicando a qualidade de iluminação. Na tabela 3.4 é indicado o aspeto e a eficácia média das lâmpadas para fins de iluminação, agrupadas por tipos. As lâmpadas têm uma eficácia tanto maior quanto maior for a sua potência.

Tabela 3.4 - Tipos de lâmpadas existentes (Fonte: (Magueijo, et al., 2010))

Tipo de Lâmpada		Potência (W)	Eficácia energética (lm/W)	Duração média (h)
Incandescente	Standard	3 - 1 500	6 - 24	750 - 2 000
	Halogéneo	10 - 1 500	8 - 35	2 000 - 4 000
Fluorescente	Tubular / tamanho normal	4 - 215	26 - 105	7 500 - 24 000
	Compacta	5 - 58	28 - 84	10 000 - 20 000
Descarga em alta pressão	Iodetos metálicos	32 - 2 000	50 - 110	6 000 - 20 000
	Vapor de sódio a alta pressão	35 - 1 000	50 - 120	16 000 - 24 000

Todas as lâmpadas fluorescentes têm um elevado rendimento luminoso, baixo consumo e uma vida útil longa, daí se verificarem em grande parte das áreas industriais. Duram 8 a 10 vezes mais do que as lâmpadas incandescentes convencionais e economizam cerca de 85 % de energia (ADENE, 2004). Atualmente, estas lâmpadas fluorescentes mais antigas (T8) começam a ser substituídas por lâmpadas fluorescentes mais eficientes (T5).

As lâmpadas mais indicadas para a iluminação interior de edifícios são as lâmpadas fluorescentes tubulares, podendo ser também utilizadas as lâmpadas fluorescentes compactas sempre que se verificar um período de funcionamento contínuo superior a duas horas. As lâmpadas mais aconselháveis para os ambientes industriais são lâmpadas de descarga, nomeadamente lâmpadas de vapor de sódio, embora atualmente se encontre em muitas empresas iluminação fluorescente. No entanto, na iluminação exterior deverão ser utilizadas lâmpadas de iodetos metálicos ou de vapor de sódio a alta pressão, já que este tipo de lâmpadas, para a mesma potência nominal, fornece um fluxo luminoso superior às lâmpadas de vapor de mercúrio. (ADENE, 2004)

Atualmente, já se começa a implementar na indústria as lâmpadas LED. Esta tecnologia caracteriza-se por um consumo energético muito inferior às restantes tecnologia, podendo chegar em alguns casos a 70% de economia e por um tempo de vida útil superior. Ainda não está totalmente difundido pelas indústrias devido ao elevado custo das mesma, no entanto nos últimos anos tem-se vindo a verificar uma redução, tornando o investimento mais atrativo e o retorno do investimento favorável à solução (Licht.de).

Deve referir-se ainda a existência de rotulagem energética aplicada ao caso específico das lâmpadas, cujos rótulos devem incluir, entre outra informação relevante, a respetiva classe de

eficiência energética (classe A, mais eficiente, até à classe G, a menos eficiente), sendo que as lâmpadas LED têm classe A+.

Em cada tipo ou sistema de iluminação existem equipamentos com rendimentos bastante diferentes. Os mais eficientes serão aqueles que incluem não só a utilização de lâmpadas de elevada eficiência energética, mas também luminárias equipadas com refletores espelhados, que permitem elevar o rendimento total do sistema. A disposição das luminárias, assim como o seu seccionamento, são também fatores bastante importantes na qualidade da iluminação. A disposição das luminárias deve evitar os encandeamentos nos planos de trabalho, enquanto que o seccionamento deve permitir desligar uma secção sempre que a iluminação natural seja suficiente, permitindo pois uma redução no consumo de energia (Magueijo, et al., 2010).

3.1.5. Frio Industrial

Podemos designar como frio industrial os sistemas de refrigeração, climatização, bancos de gelo e conservação de alimentos. Sendo a maior parte do frio industrial efetuado através de sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapor, podendo ainda ser utilizados sistemas de refrigeração por absorção.

O princípio de funcionamento destes sistemas é baseado na utilização de um fluido frigorígeno ou refrigerante que é utilizado como fluido de trabalho para a transferência de energia sob a forma de calor. Inicialmente, após uma expansão, o fluido absorve o calor (Q_L), pois a sua temperatura é inferior à temperatura da fonte fria (T_L), seguidamente dá-se uma compressão e a temperatura do fluido aumenta sendo superior à temperatura da fonte quente dando-se deste modo a libertação de energia (Q_H) sob a forma de calor para a fonte quente (T_H), como é esquematizado na figura seguinte. Ambos os processos de transferência de calor são possíveis devido à potência mecânica que é necessário fornecer à máquina para que ela funcione (W). Na figura 3.7 apresenta-se o princípio de funcionamento descrito (Dias, 2012).

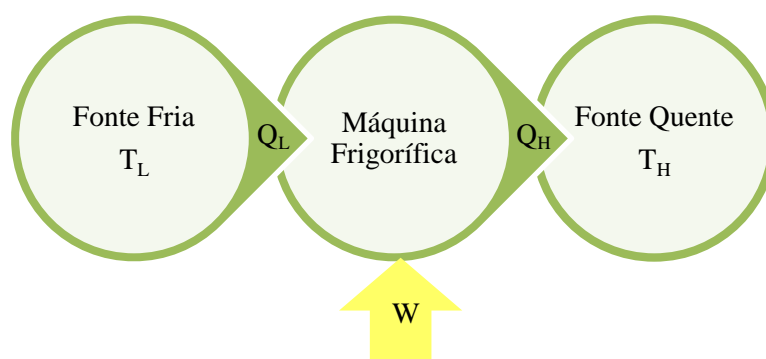


Figura 3.7 - Sistema Termodinâmico de Máquina frigorífica (Adaptado de (Dias, 2012))

Um sistema de refrigeração é a combinação de componentes e equipamentos conectados de forma sequencial de modo a produzir o efeito refrigerante. Os principais sistemas de refrigeração são (Dias, 2012):

a. Compressão mecânica de vapor

- Princípio de funcionamento: um refrigerante recebe calor e evapora a baixa pressão e temperatura;
- Aplicações: aparelhos de ar condicionado, frigoríficos domésticos e sistemas de refrigeração comercial e industrial de médio e grande porte.

b. Absorção de vapor

- Princípio de funcionamento: o vapor de um fluido refrigerante é absorvido por outro fluido a baixa pressão e temperatura e posteriormente é destilado da solução a alta pressão;
- Aplicações: pequenos frigoríficos domésticos e sistemas de refrigeração e ar condicionado de médio e grande porte.

c. Efeito termoelétrico

- Princípio de funcionamento: uma corrente elétrica atravessa a junção de dois materiais diferentes produzindo o arrefecimento;
- Aplicações: instrumentos de medida do ponto de orvalho do ar e equipamentos eletrônicos.

Dentro dos sistemas citados os sistemas de compressão de vapor e o de absorção são os mais utilizados a nível industrial (Dias, 2012).

Para além do princípio de funcionamento que é necessário perceber, existe uma série de equipamentos que poderão ser utilizados neste tipo de sistemas. Entre eles os mais usuais

encontrar-se são: compressores, condensadores, condensadores evaporativos (torres de arrefecimento), evaporadores, ventiladores, permutadores, chillers (Venturini, 2005).

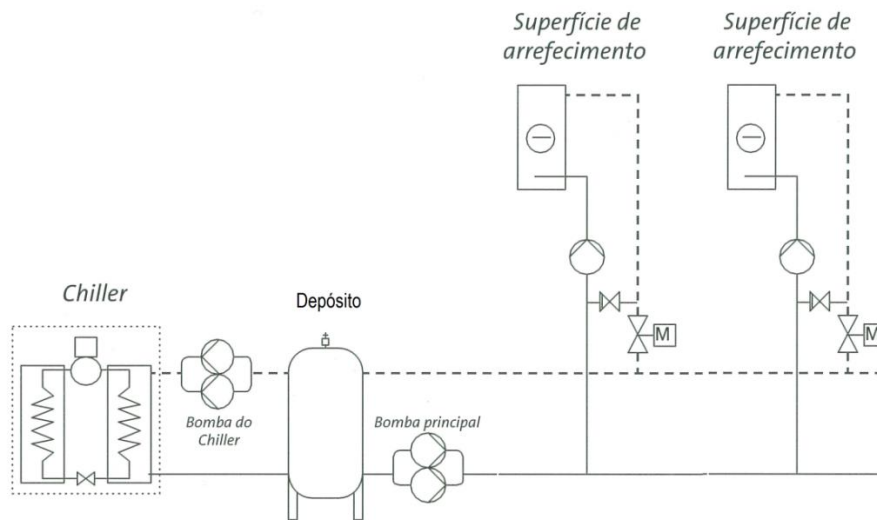


Figura 3.8 - Esquema de um sistema de refrigeração (Fonte: CCenergia)

A aplicação de novos sistemas de refrigeração inclui a utilização de bombas de calor de absorção, novos fluidos frigorígenos (ex., amoníaco, CO₂) e acumulação térmica de frio (acumulação de energia latente). Estas tecnologias são apresentadas de seguida de forma sucinta (Magueijo, et al., 2010).

A energia necessária para o funcionamento de um sistema de arrefecimento é proporcional à diferença de temperatura entre a fonte de calor e o dissipador de calor. Portanto, reduzir a diferença de temperatura entre a fonte fria (ex. armazém refrigerado) e a fonte quente (ex. torre de arrefecimento) terá um efeito substancial sobre o consumo energético do sistema (Natural Resources Canada, 2011).

A forma de avaliar a eficiência de um sistema de refrigeração é através do EER que se traduz na razão entre a energia térmica (refrigeração) produzida e a energia elétrica necessária para produzir essa mesma energia térmica, equação (4) (Venturini, 2005).

$$EER = \frac{\text{Energia Refrigeração}_{\text{produzida}}}{\text{Energia Elétrica}_{\text{consumida}}} \quad (4)$$

Existem muitas opções para aumentar a eficiência energética de um sistema de refrigeração. Para além da utilização de novos sistemas, mais eficientes, a implementação de estratégias de otimização, manutenção e controlo nos sistemas existentes pode levar a melhorias de 30% em termos de eficiência energética (Dias, 2012).

3.2. Metodologias de Auditoria por Sistema

Uma boa gestão da auditoria energética de qualquer instalação implica conhecê-la na sua globalidade. É importante identificar as diferentes áreas da empresa (oficinas, armazéns, área produtiva, entre outros) e os processos que nas mesmas se realizam.

Desta forma, permite-nos identificar os locais onde se encontram os sistemas e/ou equipamentos consumidores de energia (iluminação, sistemas de extração, motores elétricos, entre outros). Um bom ponto de partida é conhecer a desagregação energética geral das instalações (produção, iluminação, escritórios, entre outros), assim como do ponto de vista do tipo de energia consumida, de modo a identificar as áreas com maior potencial de economia de energia.

As informações a serem recolhidas durante uma auditoria energética e os principais pontos para que um auditor deverá estar focado em recolher do campo são (Natural Resources Canada, 2011):

1. O consumo energético por tipo de energia, por setor, por principais equipamentos de processo e por utilização final;
2. Balanço dos materiais (matérias-primas, produtos intermediários e finais, materiais reciclados, utilização de resíduos e desperdícios de produtos, etc.)
3. Diagramas de processo e de fluxo de materiais;
4. Custos e tarifas energéticas;
5. Análise e balanço dos sistemas consumidores de energia e a sua distribuição pela instalação (caso do ar comprimido, vapor e refrigeração);
6. Possibilidades de substituição de combustíveis e alterações do processo produtivo por forma a torná-lo mais eficiente e aumentar a produtividade;
7. Implementação de energias renováveis;
8. Procedimentos de gestão de energia e criação de programas de sensibilização para os desperdícios de energia dentro da instalação.

Informações e relatórios existentes são úteis para perceber os padrões de consumo, custo de produção e os níveis de produtividade em termos de consumo de matérias-primas e energia. Mesmo existindo relatório dos sistemas e equipamentos, terá de ser feita uma avaliação detalhada a cada um ou aos que apresentem maior representatividade no consumo da instalação (Asian Productivity Organization, 2008).

O ponto de partida da auditoria é a identificação geral da empresa/instalação, que produtos produzem e informação dos vários custos energéticos da instalação. A tabela 3.5 reúne toda esta informação, que deverá ser preenchida antes do início do trabalho de campo.

Tabela 3.5 - Identificação da empresa e dados da auditoria

Identificação da Empresa	
Nome da Empresa	
Morada da instalação	
Telefone	
Internet	
CAE – Rev.3	
Designação CAE	
Produto(s) da Instalação	
Custo Energia Elétrica (€/kWh)	
Custo Gás (€/m ³ ou €/kg)	
Custo Gasóleo (€/m ³ ou €/l)	
Custo Água (€/m ³)	
Outros custos	
Nome/Cargo pessoa de contato	
Telefone	
Email	
Identificação da Auditoria	
Período da Auditoria	
Ano de Referência	
Auditor Responsável	
Audidores Auxiliares	

Antes de iniciar a auditoria a cada sistema é importante perceber junto do interlocutor da instalação o processo produtivo e os sistemas existentes. Outro fator importante é identificar a intensidade do uso de cada sistema energético, de modo a dar prioridade na auditoria aos sistemas com maior representatividade no consumo da instalação. Por exemplo, se é certo que os sistemas de iluminação se encontram presentes em toda a fábrica, a intensidade do seu uso é baixa. Por vezes, esta perceção só é possível após a análise dos registos dos analisadores de energia utilizados na auditoria (CATIM; Carboneutral, 2012).

Conhecer de uma forma geral o processo de produção permitirá:

1. Identificar quais e onde se localizam os principais consumidores de energia;
2. Identificar que tipo de energia tem maior representatividade no consumo global da instalação (elétrica ou térmica);
3. Identificar os sistemas energéticos existentes.

Só a descrição dos processos de uma empresa não é suficiente, será necessário conhecer que tipos de energias e sistemas se utilizam em cada um deles. Uma forma possível de resumir essa informação é apresentada na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Registo dos sistemas no processo produtivo (Fonte: Efinerg)

Processo	Sistema energético					
	Iluminação	Motores eléctricos	Vapor	Ar comprimido	Fornos eléctricos	Fornos a gás
Recepção perfis	X	X				
Corte	X	X		X		
Soldadura	X				X	
Pintura	X					X
Armazéns	X	X				

3.2.1. Energia Térmica

Nestes sistemas existem vários equipamentos como vimos anteriormente, no entanto neste setor o mais usual encontrar-se são as caldeiras de água quente, fornos e estufas para a secagem das peças. Dependendo do equipamento que se encontre na instalação os dados a recolher poderão variar, no entanto, a descrição que se segue da checklist do anexo III, pretende abranger qualquer sistema que se possa encontrar, indicando os parâmetros e informação necessária recolher durante o trabalho de campo.

- a. Tipo de equipamento: identificar o tipo de equipamento em análise, se um gerador de vapor ou termofluido, caldeira de água quente ou forno;
- b. Dados do equipamento: identificar o fabricante e modelo do equipamento, assim como a restante informação da chapa de característica, como potência nominal, timbre, superfície de aquecimento e produção nominal de vapor, no caso de caldeiras de vapor, ou temperatura máxima, no caso de caldeiras de água quente;
- c. Corpo do gerador: tipo, posição e dimensões exteriores que permitirá calcular as perdas por radiação e convecção. Identificar ainda o tipo de câmara de combustão;

- d. Queimador: no tipo de funcionamento pretende-se identificar o tipo de controlo da chama do queimador, sendo identificável neste campo se em vez de queimador existirem resistências elétricas. Nas características de funcionamento será suposto identificar as temperaturas e pressões de acordo com o tipo de funcionamento (ex.: no queimador de dois estágios será necessário identificar a temperatura e pressão de arranque e paragem da 1^o e 2^a chama). No campo da potência registar a potência do motor associado ao queimador, no caso das resistências elétricas identificar a potência das mesmas;
- e. Economizador e recuperação de condensados: verificar a existência destes equipamentos;
- f. Isolamento: identificar o tipo de isolamento existente na caldeira (lã mineral, lã de vidro, chapa de aço, zinco ou outro) e as condições do mesmo, se não tem fissuras ou secções em falta. Neste ponto é essencial a utilização da câmara termográfica para identificar possíveis perdas térmicas e registar a temperatura média das paredes;
- g. Consumo: registar o consumo de combustível do gerador durante o período da auditoria, para que posteriormente seja possível efetuar o balanço energético do sistema;
- h. Combustível: identificar o tipo de combustível e a temperatura do mesmo, caso o combustível não seja aquecido considerar a temperatura ambiente. No caso de combustíveis gasosos registar a pressão a que se encontra;
- i. Ar de combustão: Caso se verifique temperaturas diferentes entre o ar ambiente e o de combustão, no caso de reaproveitamento de calor para aquecer o ar à entrada da caldeira, registar ambas as temperaturas. Registar também a humidade do ar, sendo que no caso dos fornos e estufas é necessário registar a percentagem da mesma à entrada e saída;
- j. Água de alimentação/Material: registar a temperatura, caudal e condutividade da água de alimentação, no caso de caldeiras de água quente. No caso de fornos ou estufas, registar a temperatura e caudal do material introduzido, o tipo de material poderá ser registado na informação adicional;
- k. Vapor/termofluido/água: pretende-se identificar a pressão e temperatura à saída do gerador;
- l. Gases de exaustão: registar a temperatura dos gases, de modo a avaliar um possível reaproveitamento de calor. Analisar a percentagem de oxigénio e monóxido de carbono presente nos gases, para avaliar a relação ar-combustível;
- m. Condensados: verificar que utilização está a ser dada aos condensados do sistema, se estão a ser reaproveitados ou não, registando a temperatura, caudal e condutividade do mesmo. No caso de já existir recuperação deste fluido, registar o caudal recuperado e a condutividade, caso sofra algum tratamento antes de ser reintroduzido na caldeira;

n. Funcionamento: registar as horas de funcionamento anuais do sistema.

Aos sistemas com caldeiras de água quente, normalmente, está associado um sistema de bombagem para fazer circular o fluido. Sistema esse que na maior parte das vezes acaba por ser constituído por eletrobombas de baixa potência.

3.2.2. Ar Comprimido

Para avaliar o funcionamento e desempenho energético de uma central de ar comprimido, deverão ser caracterizados os principais componentes e os principais parâmetros de operação. Na figura 3.9 definem-se as etapas principais de análise para estes sistemas.



Figura 3.9 - Etapas de Auditoria no Ar Comprimido

No anexo IV apresenta-se a checklist completa de abordagem à avaliação da eficiência energética dos sistemas de ar comprimido, com enfoque nos principais pontos que deverão ser analisados nos trabalhos de auditoria energética. A maior ou menor complexidade de intervenção estará dependente da configuração e complexidade da central e rede de ar comprimido a analisar e do tipo de abordagem a empregar em função dos objetivos a alcançar.

Inicialmente será conveniente identificar quantas centrais de ar comprimido existem na instalação e que compressores estão associados a cada uma. Posteriormente regista-se as características técnicas dos equipamentos que constituem o sistema.

- a. Dados do compressor: o ano de fabrico poderá ser um indicador da eficiência do compressor, quanto mais antigo mais ineficiente é o compressor. Poderá também permitir, no caso da inexistência da curva do compressor, utilizar uma curva de um outro compressor semelhante de acordo com a idade e características;
- b. Tipo de controlo: identificar se o compressor tem variação de velocidade ou se funciona em carga-vazio;
- c. Tipo de operação: no caso da existência de mais do que um compressor e de um sistema de controlo é possível definir que compressor está a fornecer as necessidades base de ar comprimido da instalação, daí designado como compressor em base, e que compressor está a suprimir as necessidades variáveis/pico da rede de consumidores, em modulação. Poderá existir ainda compressores em stand-by ou inativos;
- d. Secador: identificar a marca e modelo do secador, assim como o tipo de secador de entre os já falados acima no capítulo 3.2;
- e. Finalidade do ar comprimido: pretende-se registar os vários consumidores de ar comprimido e as suas necessidades, em termos de caudal e pressão. Esta análise servirá para perceber se existe grandes diferenças de pressão e caudal entre os diferentes utilizadores e a própria produção;
- f. Informação adicional: pretende-se que o técnico registe informação complementar face à registada, como inspeção visual à envolvente onde se localiza o compressor, mais concretamente à aspiração do mesmo, às condições dos equipamentos, verificação de fugas e outra informação que seja relevante. Averiguar se existe plano definido de manutenção, nomeadamente na deteção e reparação de fugas de ar comprimido e verificação do estado dos filtros e purgadores;
- g. Ar comprimido: registar as características do ar comprimido, como caudal, temperatura e humidade. Medir o diâmetro da tubagem, para avaliar dimensionamento do sistema;
- h. Temperatura do ar de aspiração: medir a temperatura do ar à entrada do compressor, quanto mais baixa for a temperatura de aspiração, menor será a energia necessária para sua compressão. O ponto de aspiração deverá estar localizado no exterior da sala de compressores, se possível em ar ambiente fresco. A temperatura de referência são 21°C (Atlas Copco, 2010);
- i. Características de funcionamento carga/vazio: registar a potência absorvida e a pressão de trabalho em carga e em vazio, assim como as horas de funcionamento em cada regime de funcionamento;
- j. Características de funcionamento com VEV: registar a potência absorvida e a pressão de trabalho a cada regime de funcionamento, assim como as horas de funcionamento em cada um;

Para uma análise mais aprofundada da central de ar comprimido será ainda necessário obter as seguintes informações:

- Traçado da rede de ar comprimido (central de produção e rede de distribuição);
- DDC da central;
- DDC do secador;
- Queda de pressão nos principais componentes (saída do compressor, entrada na rede);
- Humidade relativa antes e após secador;
- Caudal à saída do compressor;
- Necessidades periféricas de climatização (nº banhos, escritórios climatizados, rede de tubagem existente, localização);
- DDC do compressor sem produção (avaliação de fugas);
- Simultaneidade de funcionamento dos equipamentos consumidores de ar comprimido;
- Estimativa do perfil de consumo;
- Ficheiro climático da zona da instalação para análise da evolução de temperatura e humidade.

3.2.3. Motores elétricos

Tal como foi referido no capítulo 3.1.3, pode-se encontrar motores elétricos em diferentes aplicações, bombagem, ventilação, ar comprimido, sistemas de transporte, entre outros, pelo que a avaliação a efetuar neste tipo de equipamentos passa também por analisar a aplicação em si.

Na figura 3.10 é apresentado um diagrama com as etapas principais de análise de um motor elétrico, consoante o tipo de equipamento que se encontre no terreno.

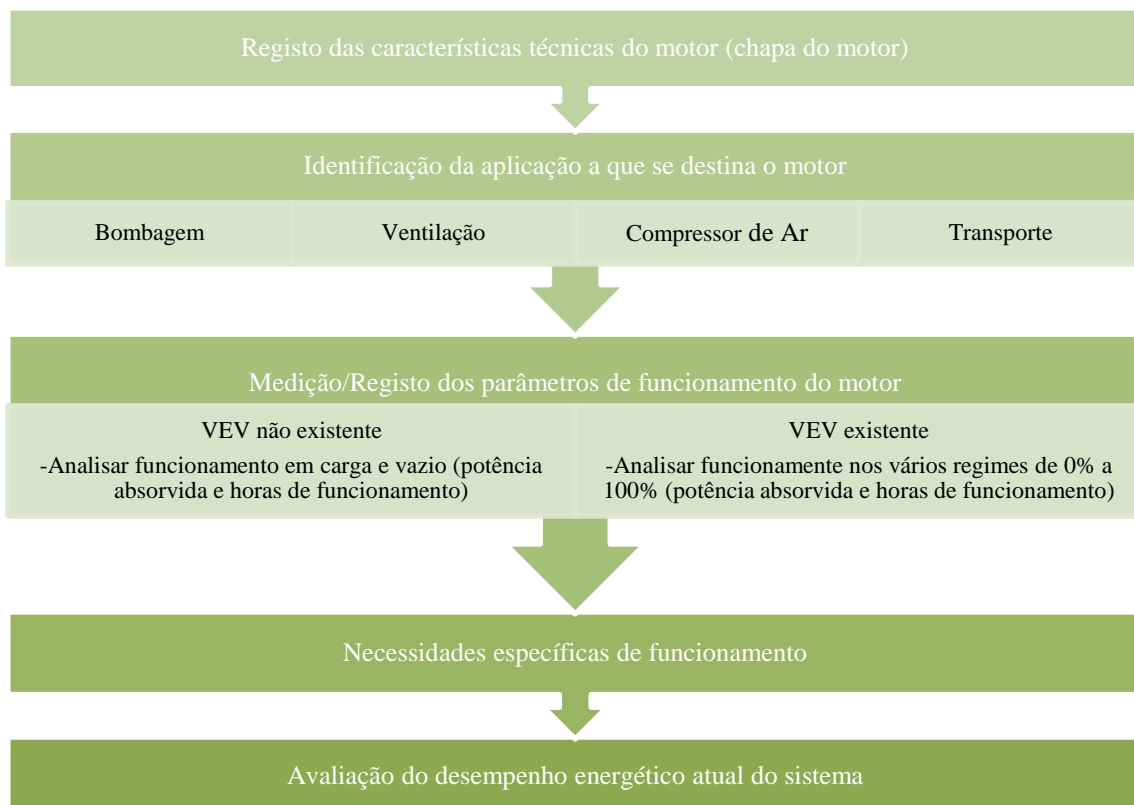


Figura 3.10 - Etapas de Auditoria em Motores Elétricos

No anexo V, apresenta-se a checklist completa de abordagem à avaliação da eficiência energética dos motores elétricos.

- a. Identificação do motor: identificar a referência, marca, modelo e tipo de motor;
- b. Características do motor: registar a potência nominal, tensão da rede, corrente nominal e velocidade de rotação da chapa do motor. Identificar ainda o fator de potência ($\cos \varphi$) e a classe energética, que poderá ser um rápido indicador da eficiência do sistema, e a classe de isolamento, para o caso de se propor a substituição do motor, convém garantir, pelo menos, a mesma classe de isolamento do motor anterior;
- c. Tipo de acoplamento: identificar o tipo de acoplamento entre o motor e o equipamento a acionar;
- d. Tipo de acionamento: no caso de grandes máquinas com motores trifásicos o arranque do equipamento poderá ser feito em estrela-triângulo, direto ou soft-start;
- e. Aplicação: é conveniente saber em que tipo de aplicação é utilizado o motor, pois pode exigir condições especiais de funcionamento;
- f. Medições: com recurso ao analisador de energia medir a tensão e corrente de modo a obter a potência do motor em funcionamento, por conseguinte obter a carga do motor;
- g. VEV: Identificar se existe variação de velocidade no motor, caso não exista verificar se é aplicável às condições de funcionamento do mesmo;

- h. Horas de funcionamento: registar as horas de funcionamento anuais do motor;
- i. Necessidades caudal/binário: identificar as necessidades da aplicação à qual o motor está associado, se são caudais, cargas e velocidades constantes ou variáveis.

3.2.4. Iluminação

A iluminação acaba por ser o sistema com menor representatividade nos consumos energéticos da maioria das indústrias, embora na indústria automóvel essa representatividade possa ser mais elevada nas instalações com secção de pintura, nomeadamente de veículos automóveis.

Os sistemas de iluminação é aquele que acaba por ser o mais transversal a toda a indústria, onde não se encontram grandes diferenças de instalação para instalação. Pelo que, a metodologia de auditoria e a caracterização dos prontos destes sistemas é praticamente fechada.

A caracterização destes sistemas, anexo VI, começa pela identificação dos espaços a auditar, através da identificação da zona da instalação e da classificação do espaço baseado na norma EN 12464, se é um corredor de passagem, *open space*, zona de trabalho dedicado, trabalho de montagem, trabalho elétrico, etc.

- a. Dimensões do espaço: registar as dimensões do espaço;
- b. Luminárias: quantificar o número de luminárias por espaço e o afastamento entre elas, que será posteriormente introduzida no software de análise;
- c. Lâmpadas: quantificar o número de lâmpadas por luminária e as suas características, como potência, tipo de lâmpada e o tipo de balastro quando aplicável;
- d. Montagem: identificar a altura e tipo de montagem da luminária, assim como o tipo de teto. Esta informação será útil essencialmente para uma eventual substituição das luminárias;
- e. Medições: registar as medições de iluminância (lux) no espaço com e sem luz artificial, de modo a garantir os níveis recomendados em ambas as situações. Efetuar também a medição da potência absorvida, de modo a ter o consumo real do sistema;
- f. Sensores: identificar a existência de sensores nos espaços, como sensores de movimento, temporizados e relógios astronómicos. No caso de não existir, averiguar no local a sua aplicabilidade;
- g. Funcionamento: registar as horas de funcionamento por dia e os dias de utilização por ano.

Para além dos pontos enumerados acima, será necessário avaliar a qualidade da iluminação (reflexos, sombras, entre outros) na zona a iluminar, nomeadamente em zonas de trabalho.

A informação recolhida servirá posteriormente para efetuar a análise do sistema no *software* DIALux.

3.2.5. Frio Industrial

Nestes sistemas existem vários tipos de sistemas que se podem encontrar, no entanto, neste setor o que se encontrará mais será sistemas de refrigeração e climatização.

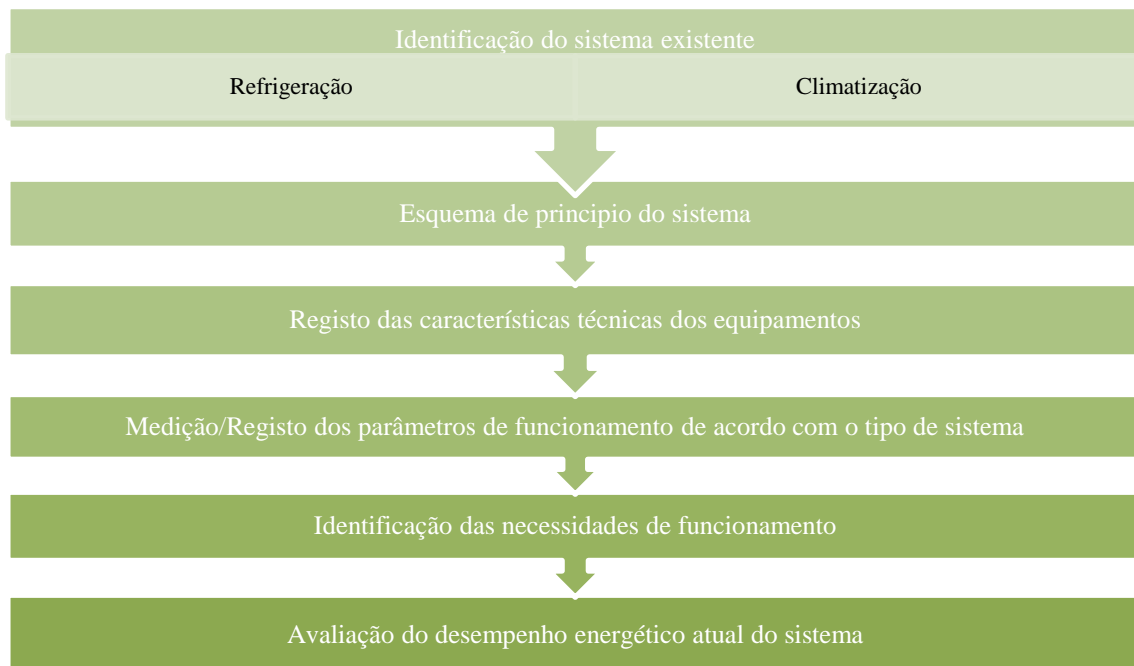


Figura 3.11 - Etapas de auditoria no Frio Industrial

O tipo de informação a recolher nestes sistemas será, anexo VII:

- Informação do equipamento: identificar a marca, modelo e tipo de sistema, assim como a potência térmica, temperatura de *setpoint* para a qual a máquina está preparada e EER nominal, que dará uma ideia da eficiência do equipamento;
- Arrefecimento do condensador: identificar o tipo de arrefecimento do condensador, se for através de ventiladores será necessário registar as características dos mesmos;
- Utilizadores: identificar os diferentes tipos de utilizadores e as suas necessidades de refrigeração/climatização, nomeadamente temperatura de processo no caso da refrigeração;
- Evaporador: registar o diâmetro da tubagem, velocidade, caudal e temperatura de ida e retorno da água no circuito do evaporador, também designado por circuito primário.

- Estas medições são convenientes serem em contínuo de modo a obter um perfil de funcionamento do sistema ao longo da auditoria;
- e. Condensador: registar o diâmetro da tubagem, velocidade, caudal e temperatura de ida e retorno da água no circuito do condensador, aplicável apenas a sistemas água-água. Também neste caso é conveniente as medições serem em contínuo;
 - f. Ar exterior: registar em contínuo a temperatura e humidade exterior do local, visto que influencia o funcionamento do sistema;
 - g. Circuito Secundário: registo do caudal do circuito secundário;
 - h. Informação adicional: identificar características da envolvente e estado do sistema, como localização do equipamento, exposição a ambiente corrosivo ou solar direta, distância elevada até aos consumidores, estado do equipamento, fugas de óleo e água, vibrações nos apoios e estrutura, ruído de rolamentos ou válvulas, estado geral dos permutadores, pontos de corrosão;
 - i. Dados da auditoria energética: registar a produção no dia da auditoria, aplicável no caso da refrigeração do processo produtivo.

3.3.Medidas de Racionalização de Energia

No sector industrial os sectores de racionalização de energia variam conforme o tipo de indústria e sistemas utilizados pela mesma. Pelo que as medidas descritas de seguida podem ser aplicadas genericamente a qualquer indústria e podem não se cingir a estas apresentadas. Optou-se por apresentar aquelas que se encontram com maior frequência neste sector (International Energy Agency, 2011) (Magueijo, et al., 2010) (Soluções para Melhorar os Sistemas acionados por motores elétricos).

Sectores de aplicação das medidas de URE (A.Ramalhão, 2010):

- Produção de Energia térmica;
- Sistemas de ar comprimido;
- Sistemas acionados por motores elétricos;
- Iluminação;
- Sistemas de distribuição de energia elétrica;
- Transportes.

3.3.1. Energia Térmica

- a. Efetuar análises periódicas aos sistemas de combustão;
- b. Medidas de manutenção e controle;
- c. Recuperações de calor;
- d. Instalação de variadores eletrônicos de velocidade nos motores dos ventiladores e bombas;
- e. Aplicação de isolamentos térmicos;
- f. Maximização da taxa de recuperação de condensados;
- g. Instalação de contadores;
- h. Redução da temperatura de saída dos gases de combustão;

As principais estratégias a seguir para reduzir a temperatura de saída dos gases de combustão são:

1. O aumento da área ou da taxa de transferência de calor;
2. A integração energética de modo a alimentar processos que necessitem de calor;
3. O pré-aquecimento do ar de entrada com os gases de saída da combustão;
4. A limpeza e manutenção das superfícies de transferência de calor de modo a evitar a deposição de resíduos sólidos e a manter elevadas taxas de transferência. É prática corrente considerar que um aumento de 1 mm na espessura dos depósitos que se formam nas superfícies de transferência de calor leva a um aumento de 2 % no consumo de combustível (energia primária) (Dockrill & Friedrich, 2001).

A redução da temperatura de saída dos gases de combustão aumenta a eficiência energética dos sistemas de combustão. Como exemplo, tem-se a seguinte regra geral válida para caldeiras: uma diminuição de 20°C na temperatura de saída dos gases de combustão produz um aumento de cerca de 1 % na eficiência energética do sistema (Dockrill & Friedrich, 2001).

Apesar das vantagens inerentes, as estratégias de redução da temperatura dos gases de combustão devem obedecer às seguintes condições:

- Só se efetua a recuperação do calor excedentário dos gases se existirem locais (p.ex. pontos do processo) disponíveis para receber esse calor;
- Em sistemas que utilizem combustíveis com elevado teor de enxofre, a temperatura de saída dos gases não deverá ser inferior a 200 °C devido ao ponto de orvalho dos gases de combustão e de modo a evitarem-se problemas de corrosão dos equipamentos devido a condensações de água acidulada pela formação de ácido sulfúrico.

i. Diminuição do caudal mássico dos gases de combustão

A diminuição do caudal mássico dos gases de combustão é conseguida através da redução do excesso de ar à entrada da instalação de combustão. Este excesso de ar pode ser minimizado através do ajuste proporcional do fluxo de ar em relação ao fluxo de combustível. O controlo do excesso de ar pode ser manual ou automático, dependendo da rapidez das flutuações da necessidade de calor (output). A medição on-line da percentagem de oxigénio nos gases de combustão permite ter um melhor controlo do excesso de ar.

Como regra geral, tem-se que uma redução de 1 % no excesso de ar (oxigénio) à entrada da instalação de combustão, leva a uma redução do consumo de combustível em 1 % (Dockrill & Friedrich, 2001). Outra vantagem da minimização do excesso de ar é a menor emissão de óxidos de azoto (NOX). No entanto, a minimização do excesso de ar não deve ser exagerada e deve sempre garantir que a queima do combustível decorra com (pelo menos) a quantidade de oxigénio (O₂) necessária a uma combustão total. Se a combustão decorrer com teores de ar demasiado baixos, os gases de combustão podem criar um ambiente explosivo e existe a produção de elevadas quantidades de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e partículas poluentes. Por motivos de segurança e ambientais, a combustão deve sempre decorrer numa atmosfera com pelo menos 5 % de excesso de ar.

j. Aumento da eficiência energética de caldeiras, fornos e secadores;

As principais medidas a considerar com vista ao aumento da eficiência energética dos sistemas de combustão são apresentadas na seguinte listagem:

1. Caldeiras

- Melhorar o armazenamento, a preparação e a distribuição de fuelóleo e de combustíveis sólidos;
- Inspeccionar e proceder à manutenção da caldeira e dos queimadores;
- Controlar as condições de combustão através da análise dos gases de combustão (regulação do excesso de ar);
- Adequar a produção da caldeira às necessidades do processo;
- Limpar os tubos de fumos;
- Evitar perdas de calor em stand-by;
- Tratar as águas e efetuar purgas adequadas;
- Instalar sistemas de controlo automático;
- Avaliar a possibilidade de substituir a caldeira ou o combustível.

2. Fornos

- Controlar a qualidade e a dosagem das matérias-primas;
- Inspeccionar e proceder à manutenção dos fornos e dos queimadores;
- Controlar a combustão através da análise dos gases de combustão (regulação do excesso de ar);
- Efetuar uma manutenção adequada dos isolamentos e reparar as fugas;
- Verificar os sistemas de controlo de combustão;
- Programar as cargas.

3. Secadores

- Controlar a humidade do produto a secar;
- Usar pré-secagem mecânica antes da secagem térmica;
- Não secar os produtos mais do que o necessário;
- Controlar as condições de humidade do ar de secagem;
- Efetuar a manutenção dos isolamentos em bom estado, evitando fugas de ar quente e/ou entradas de ar parasita;
- Estudar a recuperação de calor residual;
- Otimizar os regimes de carga.

4. Queimadores auto-recuperativos ou regenerativos

- Maior eficiência energética com redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂);
- Perfil de temperaturas mais uniforme;
- Baixas emissões de monóxido de carbono (CO) e de óxidos de azoto (NOX);
- Aumento da transferência de calor;
- Evita a utilização de outros equipamentos para aumentar a poupança energética nos sistemas de combustão
- Aumento da produtividade e qualidade do produto (se o sistema de combustão fizer parte de um processo produtivo);
- Maior durabilidade do sistema de combustão (fornalha e tubagens);
- Tubagem de exaustão de menor diâmetro;
- Menor ruído de combustão.

5. Sistemas de geração e distribuição de vapor

- Medidas para aumentar a eficiência na geração e distribuição de vapor

- Utilização de permutadores de calor (economizadores) para pré-aquecer a água de alimentação à caldeira;
- Remoção de depósitos de calcário e/ou de fuligens das superfícies de transferência de calor;
- Minimização de purgas da caldeira;
- Recuperação de calor das purgas;
- Recolha e reutilização dos condensados na caldeira;
- Reutilização do vapor de flash (p.ex., vapor gerado por expansão de condensados);
- Programa de controlo e manutenção dos purgadores;
- Isolamento das tubagens, válvulas e flanges;
- Eliminação de fugas de vapor e de condensados;
- Melhoramentos no lay-out da rede de distribuição.
- Ajuste das condições de combustão;
- Instalação de um pré-aquecedor de ar de combustão através dos gases de combustão;
- Instalação de um controlador do teor de oxigénio nos gases de combustão (ajuste em tempo real do excesso de ar).

3.3.2. Ar Comprimido

Muitas oportunidades de melhoria de eficiência num sistema de ar comprimido são comuns em instalações industriais. Estas oportunidades podem ser classificadas de acordo onde serão implementadas, por exemplo: produção e tratamento do ar comprimido, na rede de ar comprimido, nos dispositivos de utilização final e na operação do sistema (CATIM; Carboneutral, 2012).

Sendo as oportunidades de eficiência as seguintes:

- a.** Qualidade do ar comprimido – nível necessário de secagem (redução humidade) do ar e pelo nível de contaminantes toleráveis pelas aplicações de uso final;
- b.** Quantidade de ar comprimido – é a soma dos consumos médios de cada ferramenta ou processo e não os consumos máximos;
- c.** Requisitos de pressão;
- d.** Requisitos de caudal – instalações com grandes variações no caudal de ar necessitam de um sistema que opere eficientemente sob carga parcial, neste caso, compressores com

- variação de velocidade ou múltiplos compressores com sistema de controlo dos vários compressores consoante as necessidade;
- e. Instalação de compressores com variação de velocidade;
 - f. Instalação de unidades eficientes de tratamento do ar (secadores);
 - g. Uso de depósitos de ar comprimido com o tamanho adequado;
 - h. Instalação de válvulas de corte;
 - i. Redução de perdas pela eliminação de usos inapropriados;
 - j. Substituição de ar comprimido nas aplicações de uso final de baixa pressão;
 - k. Inspeccionar os purgadores de condensado;
 - l. Identificação e reparação das fugas de ar comprimido – para sistemas novos estima-se que aproximadamente 5% do volume total de fornecimento consiste em perdas, com tendência a aumentar com o tempo de vida das instalações e para sistemas antigos estima-se que esse valor possa chegar a 25%;
 - m. Otimização da pressão de ar comprimido;
 - n. Recuperação do calor dos compressores.

Tabela 3.7 - Medidas de Eficiência energética para o Ar Comprimido (Fonte: Efinerg)

Medidas de eficiência	Ganhos potenciais
Redução das fugas de ar	20%
Optimização do uso	40%
Recuperação de calor	20%
Motores de alta eficiência	2%
Variadores de velocidade	15%
Mudança de compressores	7%
Sistemas de controlo sofisticados	12%
Melhorias no esfriamento, filtragem e secagem do ar	5%
Redução de perdas por diminuição de pressão	3%
Mudança de filtros	3%

3.3.3. Motores elétricos

- a. Utilização de variadores de velocidade;
- b. Utilização de sistemas de controlo de motores;
- c. Utilização de arrancadores suaves para evitar picos de corrente durante o arranque;
- d. Substituição dos motores convencionais avariados ou em fim de vida por motores mais eficientes;

- e. Elaboração de planos de manutenção adequada aos motores.

3.3.4. Iluminação

- a. Dar prioridade à iluminação natural, mantendo limpas as áreas de entrada de luz;
- b. Utilização de equipamentos de rendimento elevado (lâmpadas, luminárias, acessórios, etc.) substituição na iluminação fluorescente dos tradicionais balastros e arrancadores por balastros eletrônicos que têm menores perdas e não necessitam de arrancadores;
- c. Utilização de sistemas de controlo e comando automático;
- d. Dimensionar corretamente os níveis de iluminação necessários para os diferentes postos de trabalho, recorrendo aos valores recomendados pela norma EN 12464;
- e. Definir corretamente os períodos de substituição das lâmpadas e optar sempre pela substituição em grupos;
- f. Proceder a operações de limpeza regulares e manutenção das instalações de acordo com um plano estabelecido.

3.3.5. Frio Industrial

- a. Otimização do sistema – Conceção e dimensionamento otimizados, quer das necessidades frigoríficas, quer da produção de frio, especialmente para operação em situações de carga parcial;
- b. Condensadores evaporativos – Os condensadores evaporativos para além do caudal de ar, existe um chuveiro de água recirculada, de modo que esse ar passe pelas serpentinas aquecidas do condensador, criando-se com a evaporação parcial da água que cai, um efeito suplementar de arrefecimento;
- c. Melhoria de eficiência energética nos chillers por adaptação contínua da temperatura de condensação às condições atmosféricas;
- d. Instalação de sistema de produção mais eficiente – Implementação de sistemas de produção de água refrigerada com melhor rendimento;
- e. Sistema de gestão da central de produção de frio – Aplicável em instalações com vários chillers, podendo chegar a economias energéticas de 20%;
- f. Medidas eficientes de operação e manutenção – As práticas de operação e manutenção podem melhorar significativamente a eficiência dos sistemas frigoríficos. A limpeza das serpentinas de arrefecimento várias vezes por ano, controlar a incidência direta do sol e assegurar uma boa circulação do ar, são alguns exemplos dessas boas práticas;

- g.** Evitar temperaturas demasiado baixas desnecessárias – Verificar que temperaturas são requeridas para o processo. Manter a temperatura do fluido frigorígeno tão elevada quanto for possível;
- h.** Redução da distância de transporte de frio – Minimizar as distâncias entre os equipamentos frigoríficos e as utilizações finais do frio ou repartir o sistema em vários sistemas descentralizados. Maiores distâncias de transporte de frio originam maiores perdas de carga e entradas de calor.

4. Caso de Estudo

O caso de estudo pretende demonstrar a aplicabilidade das metodologias acima apresentadas numa auditoria no setor automóvel.

Trata-se de uma empresa do ramo da metalomecânica que se dedica à fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis, por motivos de confidencialidade não poderá ser revelado o nome da instalação.

A empresa utiliza como matéria-prima principal, bobines de chapa de aço nu, galvanizado com zinco/níquel e outro componente metálicos para a produção de subconjuntos metálicos estampados, soldados e pintados para a indústria automóvel.

A instalação em questão utiliza a energia elétrica como fonte de energia principal, nomeadamente para a força motriz, acionamento de equipamentos do processo produtivo e iluminação. Utiliza ainda, para as caldeiras, fornos da secção de desengorduramento e pintura, climatização e no refeitório gás natural.

A metodologia aplicada no decorrer da auditoria teve como princípio as fases de uma auditoria energética, já explicado no capítulo 2.4. No entanto, será apresentado de seguida as ações efetuadas na instalação por forma a compreender os consumos energéticos da mesma.

1. Medição/registo dos consumos elétricos, de 15 em 15 min, dos diferentes sistemas e equipamentos consumidores de energia elétrica;
2. Levantamento das características técnicas dos principais sistemas e equipamentos consumidores de energia;
3. Ensaios de funcionamento aos principais equipamentos consumidores de energia (ex: equipamentos produtivos, motores elétricos, compressores de ar);
4. Registo de grandezas e parâmetros de funcionamento dos principais sistemas, nomeadamente: temperaturas, caudais, teores de gases de combustão, consumo de energia e tempos de funcionamento e de paragem;
5. Inspeção visual aos circuitos de elevado conteúdo energético.

Os consumos energéticos apresentados dizem respeito ao período da auditoria decorrido entre 25/08/2014 e 31/08/2014.

Dado a dimensão da instalação e dos sistemas existentes apenas será abordado em detalhe uma secção/equipamento de cada sistema, embora na análise do consumo energético global seja apresentada a desagregação de todos os equipamentos que constituem os vários sistemas abordados.

4.1.1. Processo produtivo

O fluxo dos produtos efetuados na instalação, representado na figura 4.1, variam conforme o tipo de produto que se pretenda obter. A fase inicial pode-se considerar o processo de estampagem, neste processo é feito recurso a prensas com funcionamento tanto hidráulico como elétrico/pneumático. Após o processo de estampagem pode dar-se por terminado o processo de fabrico, ou encaminhar o semi-produto para uma das outras secções.

Na secção da soldadura pode ser utilizado material proveniente da secção de estampagem ou de fonte exterior, utilizando ainda componentes, tais como parafusos, entre outros. Esta secção é constituída por células de soldadura manuais ou braços robotizados.

A secção da pintura pode-se dividir em duas, sendo uma de lavagem e desengorduramento, encontrando-se a mesma junta à caldeira. A segunda encontra-se junto a secção de soldadura, onde se efetua o tratamento da superfície e o processo de cataforese.

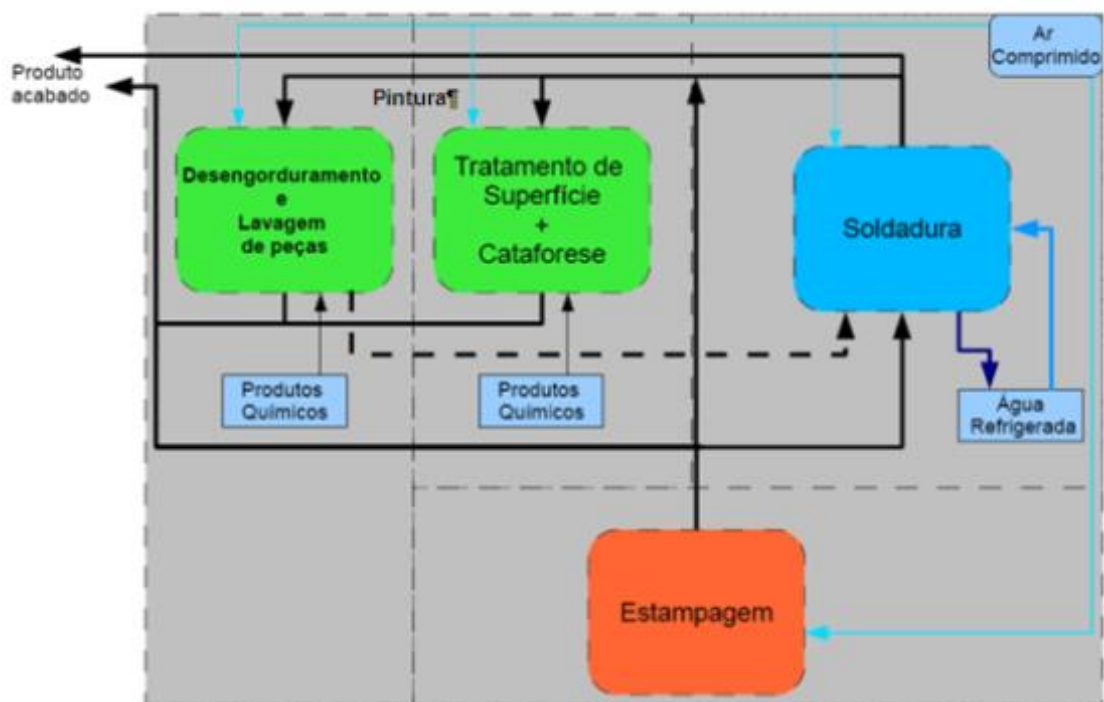


Figura 4.1 - Fluxograma produtivo da instalação (Fonte: CCenergia, 2014)

4.1.2. Consumo Energético Global

A análise dos diagramas de carga, obtidos com as medições elétricas efetuadas, permite concluir que para os dias úteis existe um perfil de consumo padrão, ou seja a evolução dos consumos é idêntica entre os vários dias úteis da semana.

Verificou-se que no período compreendido entre as das 6:00 horas e as 22:00 horas, o consumo de energia é superior ao restante período, com um valor de consumo médio horário de aproximadamente 1.100 kWh, sendo que neste período se encontram em funcionamento todas as secções da fábrica.

No restante período verificou-se que o consumo de energia médio horário é de aproximadamente 600 kWh, justificando-se a diminuição do consumo de energia pelo facto de neste período não estar em laboração a secção de estampagem, bem como a redução da atividade na secção da Soldadura. No que diz respeito aos dias de fim de semana, verifica-se que os consumos médios diários de energia são inferiores (aproximadamente 516 kWh no sábado e 314 kWh no domingo), possivelmente correspondentes a alguns equipamentos associados à produção registada nestes dias.

Em relação ao consumo de gás natural no período de auditoria, foi obtido através de contagens fornecidas pela instalação. Analisando a tabela 4.1 pode-se constatar que os consumos de gás natural mantêm-se sensivelmente constantes entre os dias 27 e 30 de agosto, enquanto a partir do dia 31 começa a decrescer.

Na tabela 4.1 apresentam-se os valores dos consumos diários elétricos verificados no período da auditoria e os consumos de gás natural no mesmo período, obtidos a partir de contagens facultadas pela instalação.

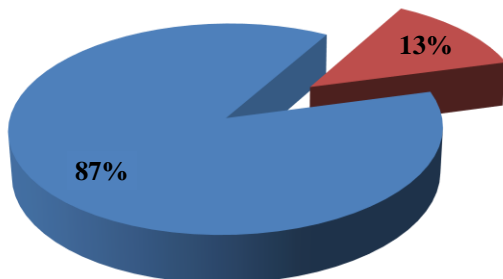
Tabela 4.1 - Consumo geral de energia elétrica e gás natural no período de auditoria

Dia	Consumo de Energia Elétrica (kWh)	Consumo de Gás Natural (kg)
25/08/2014 - Segunda-feira	20.968	518,53
26/08/2014 - Terça-feira	22.675	546,26
27/08/2014 - Quarta-feira	22.107	579,88
28/08/2014 - Quinta-feira	22.978	573,15
29/08/2014 - Sexta-feira	22.698	364,73
30/08/2014 - Sábado	12.377	7,56
31/08/2014 - Domingo	7.534	0,84
Total	131.337	2.590,95
Média	18.762,43	370,14

Em termos anuais a instalação consome cerca de 6.801.255 kWh de energia elétrica e 197 toneladas de gás natural, equivalendo a 1.462 tep e 212 tep, respetivamente. Perfazendo um consumo energético total de cerca de 1.674 tep por ano. Em termos de desagregação de energia primária da instalação, 87% corresponde ao consumo de energia elétrica e 13% ao consumo de gás natural. Relativamente aos custos energéticos, a energia elétrica representa 85% e o gás

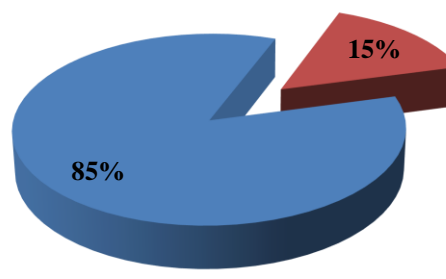
natural 15%. A mesma distribuição é obtida em relação às emissões gasosas. Nos gráficos seguintes, Figura 4.2, é possível constatar as diversas desagregações.

Consumo de Energia Primária (tep)



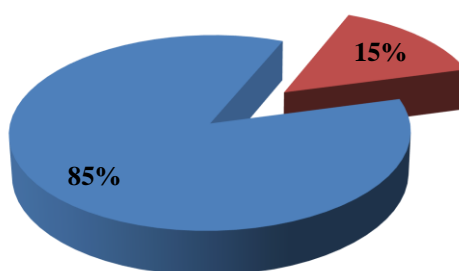
■ Energia Elétrica ■ Gás Natural

Emissões de CO2 (t)



■ Energia Elétrica ■ Gás Natural

Custo de Energia (€)



■ Energia Elétrica ■ Gás Natural

Figura 4.2 - Desagregação geral das diferentes formas de energia consumidas pela instalação

(Fonte: CCenergia, 2014)

4.1.2.1. Produção

A produção da empresa em questão reflete-se sobre o número de peças produzidas, contudo as peças diferem em tamanho e peso, pelo que considerar o número de peças como unidade de produção poderia não obter-se indicadores energéticos coerentes. Tendo em conta este facto e verificando que o desperdício decorrente da produção tem pouca relevância, considerou-se a matéria-prima como produção.

Assim, para o mesmo período de auditoria verificou-se a seguinte produção, tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Produção no período de auditoria

Dia	Produção (ton)
25/08/2014 - Segunda-feira	204
26/08/2014 - Terça-feira	117
27/08/2014 - Quarta-feira	137
28/08/2014 - Quinta-feira	166
29/08/2014 - Sexta-feira	202
30/08/2014 – Sábado	51
31/08/2014 – Domingo	4
Total	881

Pela análise da tabela 4.2, verifica-se que durante o período de auditoria o dia de maior produção foi a segunda-feira (204 ton). Consta-se assim o principal motivo pela redução dos consumos energéticos ao fim de semana, verificando-se um decréscimo da produção nestes dias da semana, uma vez que a instalação não funciona em pleno.

4.1.3. Consumo Energético por Sistema

Com base nos dados recolhidos na auditoria energética procedeu-se à desagregação dos consumos de energia da instalação pelas principais utilizações.

Apresenta-se na tabela 4.3 a desagregação dos consumos de energia elétrica pelas principais utilizações finais.

Tabela 4.3 - Desagregação do consumo de energia elétrica por sistema

Sector/Equipamento	Consumo de energia elétrica		%
	kWh	kWh/dia	
Geral	945	22.675	100%
Soldadura e Pintura	291	6.988	32,5%
Estampagem	216	5.174	24,1%
Auxiliares - Ar comprimido	133	3.190	14,9%
Iluminação	85	2.051	9,6%
Climatização Soldadura	41	981	4,6%
Refrigeração	77	1.849	8,6%
Outros	52	1.248	5,8%

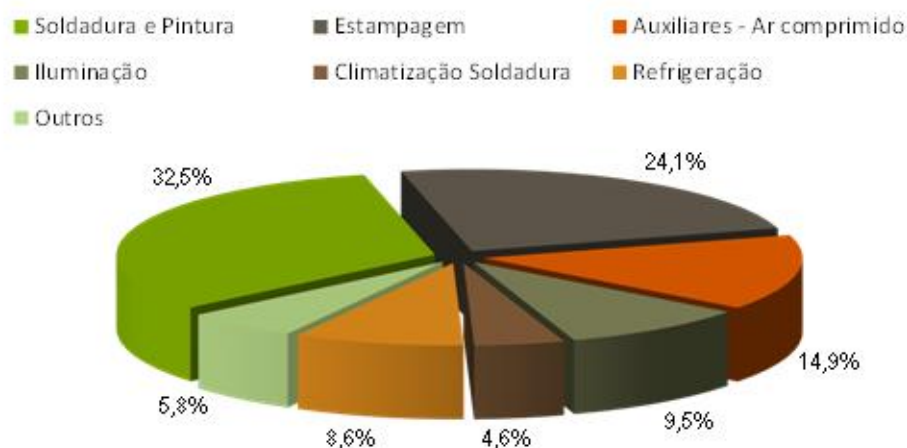


Figura 4.3 - Desagregação do consumo de energia elétrica por sistema (Fonte: CCenergia, 2014)

Pela análise da figura 4.3, pode concluir-se que os principais consumidores são a soldadura e pintura que representa 32,5 % do consumo global de energia elétrica, seguida da estampagem com 24,1% e do ar comprimido com 14,9 %.

Com base nas informações provenientes de leituras dos contadores, efetuadas na auditoria energética, apresenta-se na tabela 4.4 a desagregação dos consumos de gás natural por utilização final.

Tabela 4.4 - Desagregação do consumo de Gás Natural

Sector/Equipamento	Consumo de Gás Natural		%
	kWh	kWh/dia	
Geral	318,8	7.652	100,0%
Forno	130,4	3.130	40,9%
Caldeira	160,3	3.847	50,3%
Outros	28,1	675	8,8%



Figura 4.4 - Desagregação do consumo de Gás Natural (Fonte: CCenergia, 2014)

Pela análise da figura 4.4, pode concluir-se que do total de gás natural consumida pela instalação, a caldeira foi responsável por cerca de 50,3% do consumo, seguida de 40,9% no forno e 8,8% nos outros.

4.1.3.1. Energia Térmica – Caldeira

Na figura 4.5 encontra-se representado um esquema simplificado do circuito primário de aquecimento de água.

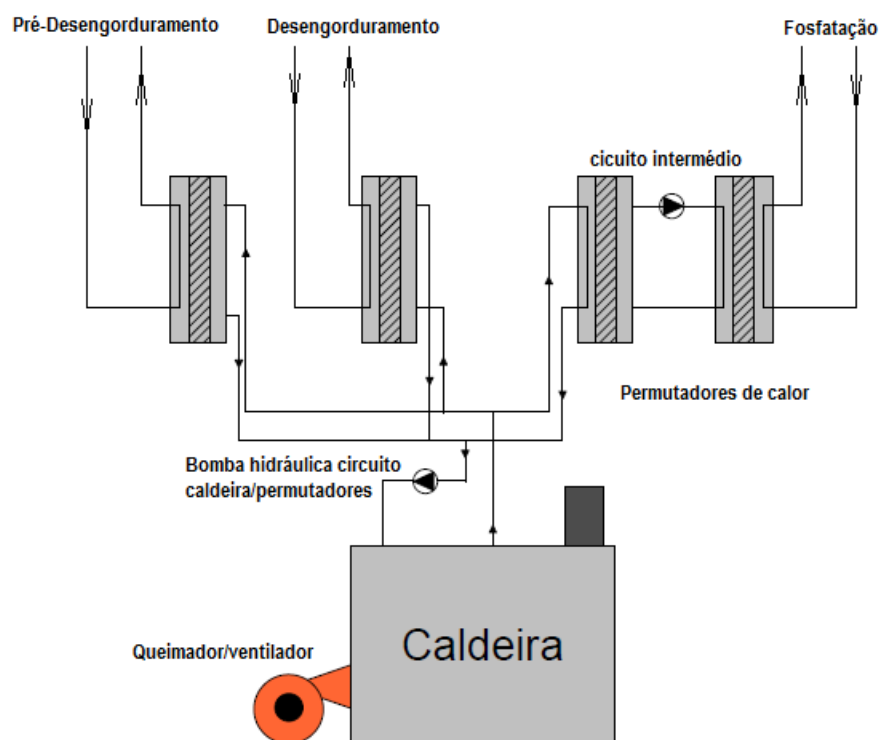


Figura 4.5 - Esquema de princípio do circuito primário de aquecimento de água (Fonte: CCenergia, 2014)

Através do ventilador é admitido ar atmosférico que por sua vez é utilizado na queima do gás natural através do queimador. Conforme o esquema de princípio representado na figura 4.5, pode-se verificar que no circuito primário de aquecimento de água, esta é mantida em circuito fechado entre a caldeira e os permutadores de calor. Posteriormente existe um circuito secundário constituído pelos permutadores e pelos banhos (pré-desengorduramento, desengorduramento e fosfatação). A bomba de água (caldeira/permutadores) normalmente designada por bomba da caldeira é responsável pela circulação de água no circuito primário.

Na figura 4.6, figura 4.7 e figura 4.7 encontra-se imagens representativas dos equipamentos principais que compõem o sistema em estudo.



Figura 4.6 – Caldeira e bomba de água



Figura 4.7 – Permutadores de calor (Fonte: CCenergia, 2014)

No anexo VIII apresenta-se as principais características técnicas da caldeira de água quente e respetivo queimador.

Por forma a determinar o rendimento, e melhor caracterizar o seu funcionamento foi realizado um ensaio individual à caldeira de água quente. Da análise resultaram balanços de massa e energia, que permitiram avaliar o respetivo regime de funcionamento.

Os balanços foram calculados assumindo como fronteira do sistema em análise as superfícies envolvendo apenas as entradas e saídas de massa e de energia da caldeira. Desta forma, ficou fora desta fronteira e, portanto da análise efetuada ao sistema, toda a rede de transporte e utilização de água quente. A temperatura de referência utilizada foi de 0 °C. Os ensaios foram realizados nas condições normais de funcionamento deste equipamento tendo em atenção as necessidades térmicas da instalação no período em que se efetuaram as medições.

As medições de O₂, CO e temperatura dos gases de exaustão, durante o período de ensaios, foram obtidos na toma de amostragem localizada na conduta de exaustão imediatamente à saída da caldeira. Na figura 4.8 e figura 4.9 encontra-se representado a evolução da temperatura (°C) dos gases de combustão, da temperatura da água à entrada e à saída da caldeira, e também a evolução dos teores de O₂ (%) e de CO (ppm). Estas medições foram efetuadas no período compreendido entre às 15:30h e 17:30h.

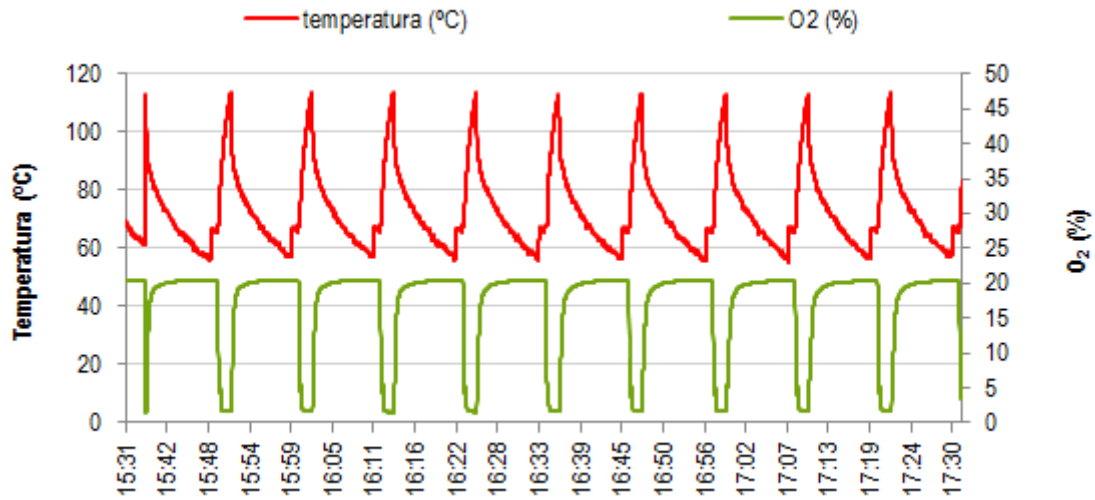


Figura 4.8 - Temperatura dos gases de exaustão (°C) vs teor de O₂ (%) (Fonte: CCenergia, 2014)

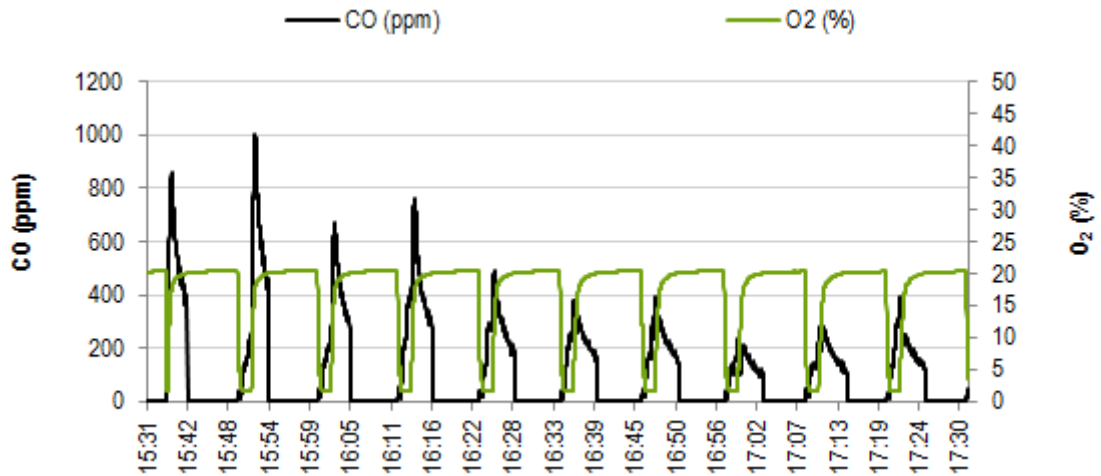


Figura 4.9 - Evolução do Teor de CO (ppm) vs Teor de O₂ (%) (Fonte: CCenergia, 2014)

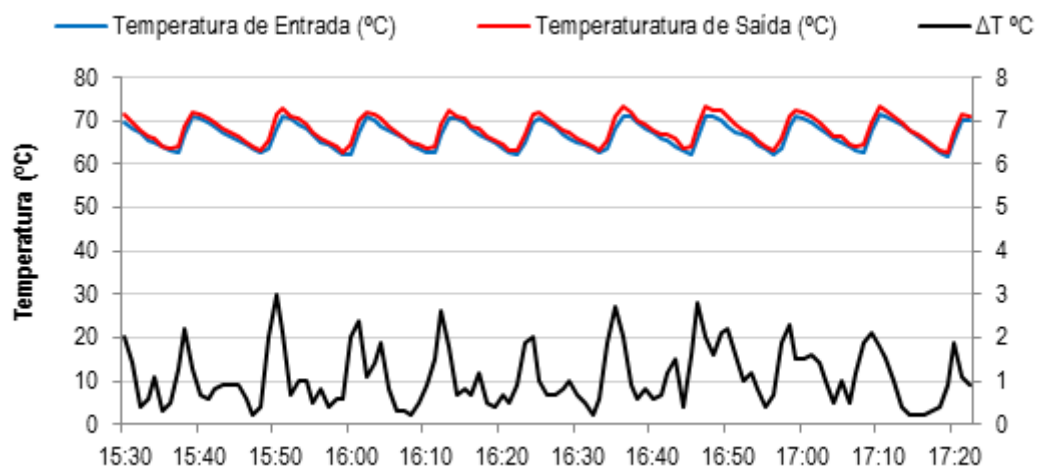


Figura 4.10 - Evolução da temperatura da água à entrada e à saída da caldeira (Fonte: CCenergia, 2014)

Pela análise da figura 4.8, figura 4.9 e figura 4.10 verifica-se que a caldeira apresenta um regime de funcionamento intermitente com sucessivas arranques e paragens do queimador. A partir da figura 4.8 pode-se verificar que os valores registados da temperatura dos gases de exaustão oscilam entre o mínimo de aproximadamente 58°C e um máximo na ordem dos 113°C.

A mesma evolução sucede-se para as temperaturas da água, em que a temperatura à entrada da caldeira oscila entre 61°C e 71°C, enquanto a temperatura à saída oscila entre os valores mínimos e máximos de 71°C e 73°C. Constatam-se também, que as duas temperaturas seguem a mesma evolução e que os mínimos e os máximos coincidem com os períodos de arranque e paragem do queimador, verificados na figura 4.8.

Relativamente à evolução dos teores de O₂ e CO, verifica-se a presença de algum CO que tem início no período de arranque do queimador, por sua vez coincidente com um período de teores de O₂ ainda a aproximadamente 21 % (apenas ar atmosférico). Posteriormente o teor de CO vai aumentando à medida que dá-se a reação de combustão, com a consequente redução do teor de O₂. Ao longo da combustão o teor de O₂ baixa consideravelmente para valores na ordem de 1,5 %, o que justifica um elevado teor de CO nestes períodos, causa da deficiência de ar de combustão. Os níveis de CO voltam a reduzir quando o queimador desliga. No anexo VIII encontra-se apresentado os valores médios de todas as grandezas monitorizadas, por sua vez utilizadas nos balanços de massa e de energia.

Com base nos valores recolhidos da análise da caldeira foi possível efetuar o balanço energético à mesma, apresentando-se de seguida os resultados, tabela 4.5 e tabela 4.6.

Tabela 4.5 - Balanço de massa da caldeira de água quente

Balanço de massa	Caldeira de água quente
	kg/h
Caudal de combustível	11,4
Caudal de ar	210
Caudal de gases de exaustão	222
Caudal de água	78.428
Excesso de ar %	12,2

Tabela 4.6 - Balanço de energia da caldeira de água quente

Balanço de Energia		Gerador de Água quente		
		kWh	kJ/h	%
Energia à entrada	Energia libertada na combustão	143,4	516.077	98,6
	Energia associada ao ar de admissão	1,6	5.884	1,1
	Calor de aquecimento do combustível	0,3	1.190	0,2
Energia à saída	Energia útil de aquecimento de água	101,2	364.198	69,6
	Energia perdida nos gases de combustão	7,2	25.842	4,9
	Energia perdida pelas paredes (radiação e convecção)	0,6	2.073	0,4

A caldeira apresenta um rendimento térmico de 92,9%, o que se pode considerar um valor aceitável para o tipo de equipamento em questão. A análise dos resultados das tabelas 4.5 e 4.6 permite tecer as seguintes considerações:

- Os valores de O₂ obtidos durante os vários ciclos de funcionamento do queimador são relativamente aceitáveis para a queima do Gás Natural, no entanto verifica-se a presença de alguns picos de CO, o que evidencia alguma deficiência na queima do combustível, situação esta que poderia ser corrigida com uma correta afinação do queimador.
- Apesar de ter-se registado temperaturas relativamente elevadas em alguns pontos da parte traseira e da parte frontal da caldeira, situação relativamente normal para o tipo de equipamento em estudo, a energia perdida pelas paredes representa apenas 0,5%, o que demonstra que o equipamento encontra-se termicamente bem isolado.

Medidas de eficiência para o sistema de energia térmica

Recuperação de calor dos gases de exaustão do forno para pré-aquecimento de água a entrada da caldeira – Esta medida de melhoria de eficiência energética diz respeito a análise do potencial de recuperação de energia térmica existente nos gases de exaustão do forno. O arrefecimento da temperatura dos gases de exaustão até uma temperatura aproximada de 85 °C, através da permuta de calor com a água de retorno a caldeira, permite uma economia de energia térmica na caldeira de cerca de 37 kW. Tendo em conta que a caldeira e forno pertencem a mesma secção e à mesma linha de produção, foi considerado que o período de funcionamento anual do forno é idêntico ao da caldeira.

Tabela 4.7 – Economia anual para o sistema térmico

Medidas	Economia Anual			Investimento (€)	PRI (anos)
	(kWh)	(%)	(€)		
1	19.076	1,03%	8.490	44.000	5,2

4.1.3.2. Ar comprimido

O ar comprimido é produzido através de uma central, constituída por três compressores como representado na figura 4.11, dois depósitos e respetivos filtros, cujas características técnicas são apresentadas no anexo IX. No momento da auditoria, apenas os dois compressores GA180 VSD estavam em serviço.

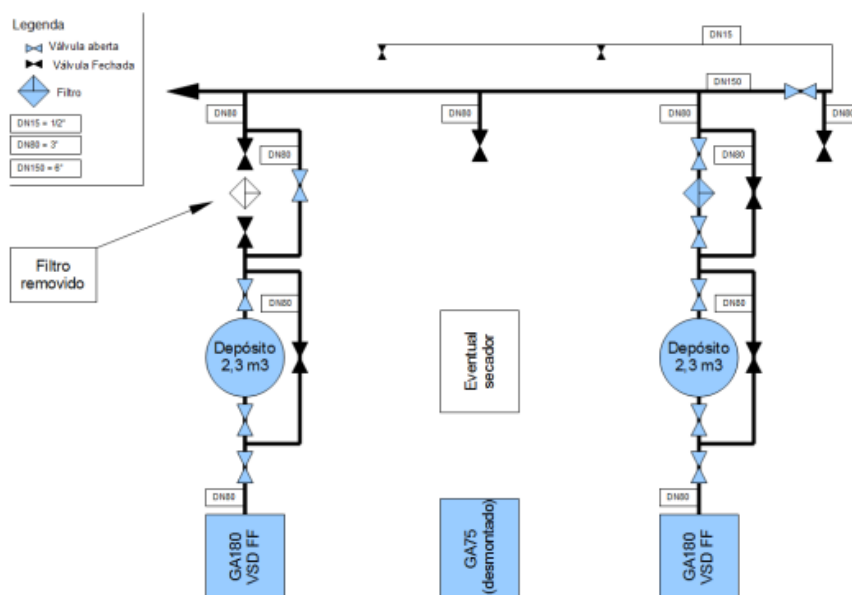


Figura 4.11 – Esquema representativos da central de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)

A central de ar comprimido existente funciona a 7 bar. Verificou-se que existem três compressores designados por n.º1, 2 e 3, sendo que o compressor n.º 3 não se encontra instalado. Os dois compressores em funcionamento, ambos GA180 VSD FF, encontravam-se em serviço em regime médio-baixo (1100-1400 rpm).

A gestão do funcionamento dos compressores é feita apenas a partir dos *set-points* dos equipamentos, estando definidos para o compressor 1 a pressão de 6,9 bar e para o compressor 2, 7 bar. As regulações dos compressores permitem manter a rede estabilizada entre 6,8 e 7,2 bar.

A central apresenta um consumo anual de energia eléctrica estimado de aproximadamente 1.032.647 kWh/ano, o que em termos de custos representa 94.000 €/ano, sendo responsável por cerca de 15 % do consumo global de energia eléctrica da instalação.

Na figura 4.12 apresentam-se alguns equipamentos auxiliares do sistema, existentes na central de ar comprimido. As suas características estão descritas no anexo IX.



Depósito



Depósito



Filtro de ar



Filtro de ar

Figura 4.12 – Equipamentos auxiliares da central de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)

No que diz respeito à análise aos consumos de energia eléctrica, foram efetuadas diversas medições e registos de forma a possibilitar uma avaliação da central e respetivos equipamentos do ponto de vista da eficiência energética.

Deste modo, foram registados os consumos globais da central, assim como, o perfil de produção de ar comprimido, obtido a partir do diagrama de carga e das equações das curvas teóricas dos compressores. Os diagramas de carga são apresentados na figura 4.13 e figura 4.14.

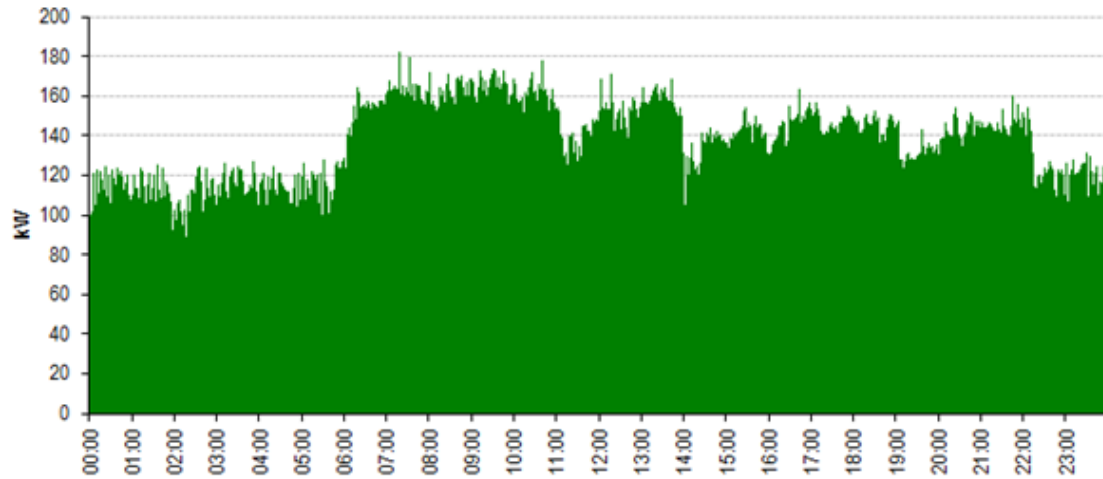


Figura 4.13 - Diagrama de carga elétrica da central de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)

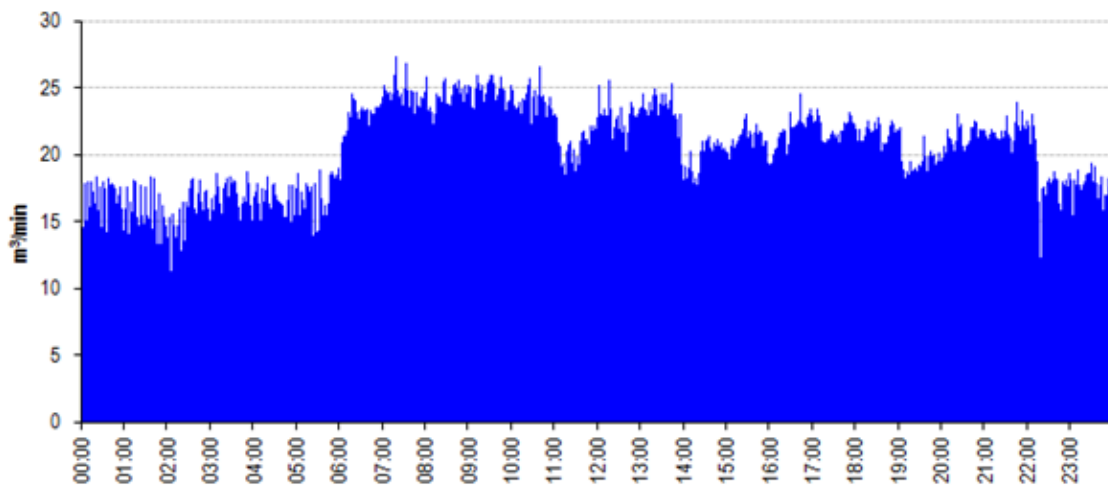


Figura 4.14 - Perfil de produção total de ar comprimido (Fonte: CCenergia, 2014)

Pela análise da figura 4.13 e figura 4.14 constata-se que as necessidades de ar comprimido da instalação ocorrem durante todo o dia, sendo o consumo médio horário de 132,9 kWh, ao qual corresponde uma produção de ar comprimido médio de aproximadamente 19,59 m³/min.

Com base na informação apresentada anteriormente, foi possível determinar o consumo específico global na produção de ar comprimido, tabela 4.8, tendo em conta o modo atual de funcionamento da central de produção em estudo.

Tabela 4.8 - Consumo Específico de Energia da central de ar comprimido

Central de Produção de Ar comprimido	Potência média Absorvida (kW)	Produção (m ³ /min)	Consumo Específico (kW/m ³ / min)
	132,90	19,59	6,78

a. Compressor nº1

Na tabela 4.9 e tabela 4.10 que se segue apresentam-se as características técnicas do compressor n.º 1.

Tabela 4.9 - Característica do compressor de ar nº1

Características	Compressor nº 1
Marca	Atlas Copco
Tipo	GA 180 VSD
Ano de Fabrico	2001
Tipo de compressor	Parafuso
Frequência (Hz)	50
Pressão Máxima (bar)	12,5
Potência (kW)	186
Capacidade de Produção (m ³ / min)	27,78
Velocidade (rpm)	2355
Tipo de arrefecimento	Ar



Na figura 4.15 apresenta-se a curva teórica de funcionamento fornecidas pelo fabricante do compressor 1, que relaciona, a potência elétrica absorvida (kW) e a produção de ar comprimido (m³/ min) com a pressão (bar).

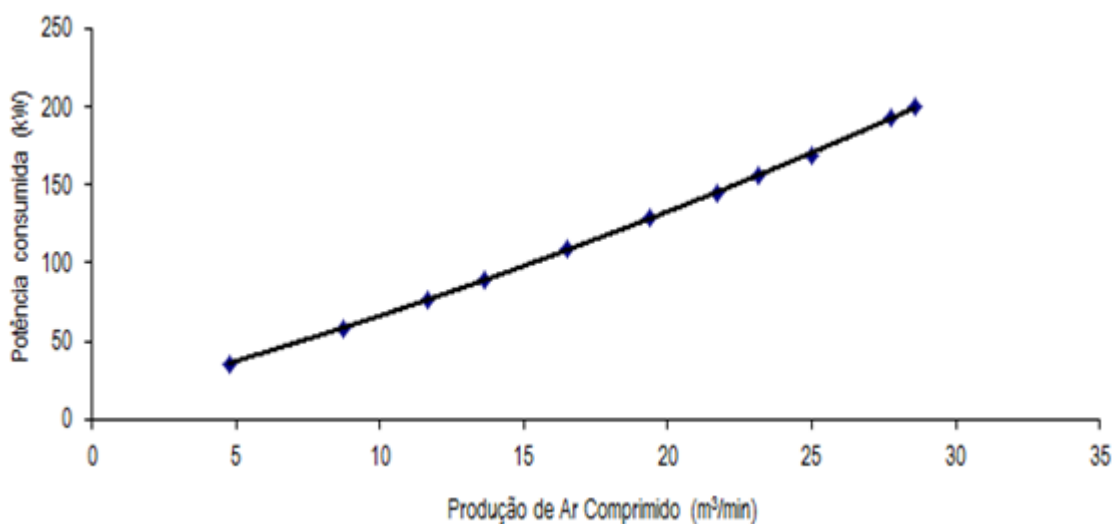


Figura 4.15 - Curva Teórica do compressor nº 1 (Adaptado de Atlas Copco)

No que respeita ao compressor 1, o diagrama de carga obtido durante a auditoria é apresentado no gráfico da figura 4.16.

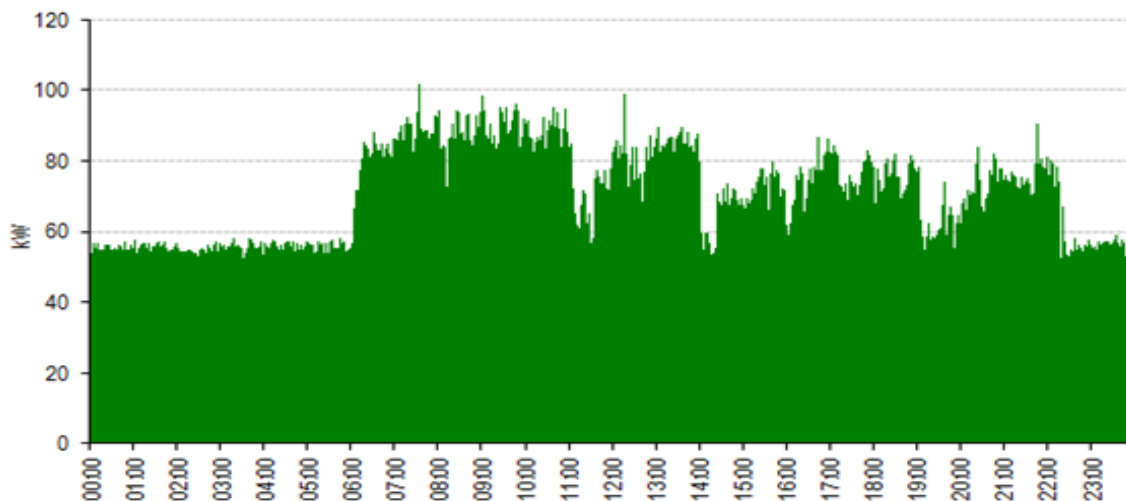


Figura 4.16 - Diagrama de carga do compressor de ar nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)

Na figura 4.17 está representado o perfil de produção de ar comprimido, obtido a partir do diagrama de carga e das equações das curvas teóricas do compressor.

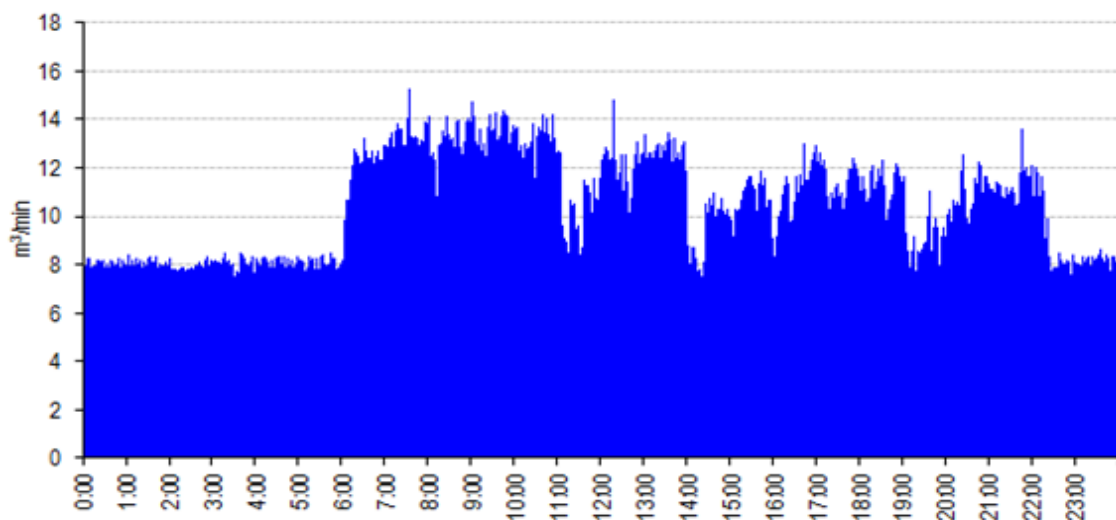


Figura 4.17 - Perfil de Produção do compressor de ar nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)

Através da análise dos diagramas anteriores, verificou-se que o compressor nº 1 encontra-se sempre em funcionamento, contudo o momento onde se verifica maior consumo é no período das 6h30 as 22h30.

Durante o período de medição, para o compressor 1, registou-se com um consumo médio horário de aproximadamente 68,61 kWh, ao qual correspondeu uma produção média de 10,14 m³/min.

Com base na informação apresentada anteriormente, foi possível determinar o consumo específico do compressor n° 1, tabela 4.10, tendo em conta o modo atual de funcionamento.

Tabela 4.10 - Consumo Específico de Energia do compressor n° 1

Compressor GA 180 VSD	Potencia média Absorvida (kW)	Produção (m ³ /min)	Consumo Específico (kW/ m ³ / min)
		68,61	10,14

b. Compressor N.º 2

Na tabela 4.11 que se segue apresentam-se as características técnicas do compressor n.º 2.

Tabela 4.11 - Características do compressor de ar n° 2

Características	Compressor n° 2
Marca	Atlas Copco
Tipo	GA 180 VSD
Ano de Fabrico	2007
Tipo de compressor	Parafuso
Frequência (Hz)	50
Pressão Máxima (bar)	12,4
Potência (kW)	186
Capacidade de Produção (m ³ / min)	27,78
Velocidade (rpm)	3000
Tipo de arrefecimento	Ar



Na figura 4.18 apresenta-se a curva teórica de funcionamento fornecidas pelo fabricante do compressor n°2, que relaciona, a potência elétrica absorvida (kW) e a produção de ar comprimido (m³/min) com a pressão (bar).

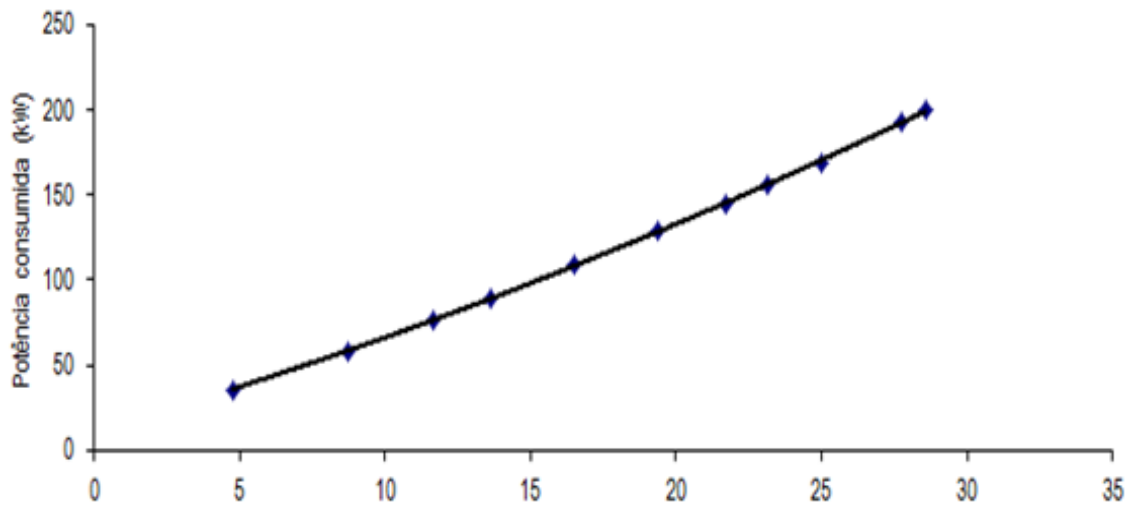


Figura 4.18 - Curvas Teóricas do compressor nº 2 (Adaptado de Atlas Copco)

No que respeita ao compressor nº 2, o diagrama de carga obtido durante a auditoria é apresentado no gráfico da figura 4.19.

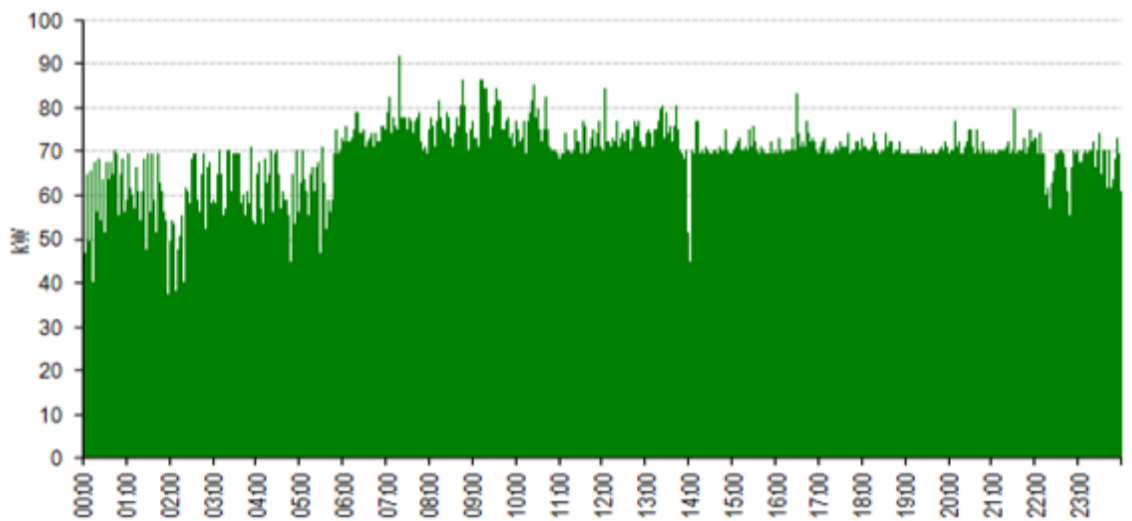


Figura 4.19 - Diagrama de carga do compressor de ar nº 2 (Fonte: CCenergia, 2014)

Na figura 4.20 está representado o perfil de produção de ar comprimido, obtido a partir do diagrama de carga e das equações das curvas teóricas do compressor.

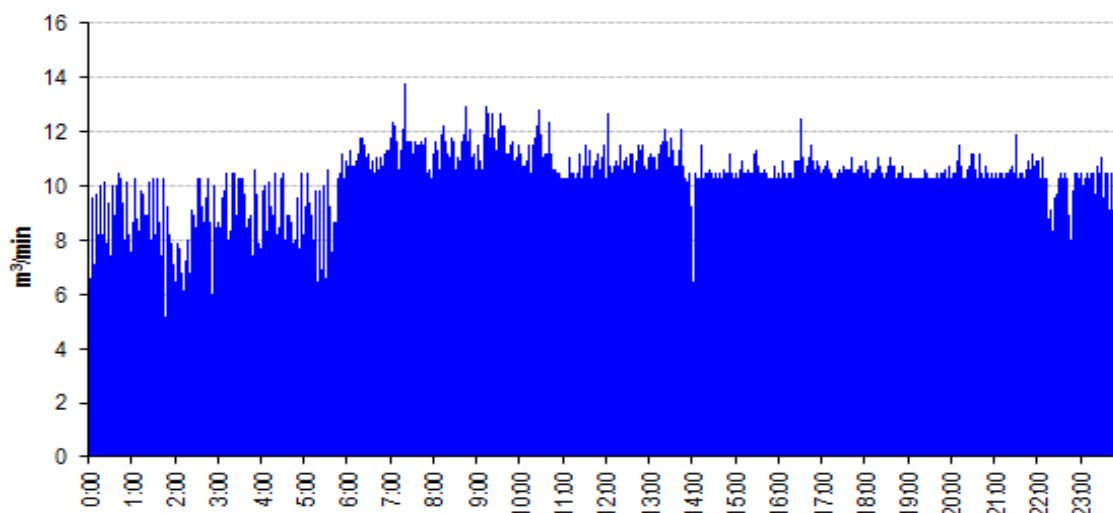


Figura 4.20 - Perfil de Produção do compressor de ar nº 2 (Fonte: CCenergia, 2014)

Através da análise dos diagramas das figura 4.19 e figura 4.20, verificou-se que o compressor nº 2 encontra-se em contínuo funcionamento. Durante o período de medição, para o compressor nº 2, registou-se com um consumo médio horário de aproximadamente 64,29 kWh, ao qual correspondeu uma produção média de 9,45 m³/min.

Com base na informação apresentada anteriormente, foi possível determinar o consumo específico do compressor nº 2, tabela 4.12, tendo a conta o modo atual de funcionamento.

Tabela 4.12 - Consumo Específico de energia do compressor nº 2

Compressor GA 180 VSD	Potencia média Absorvida (kW)	Produção	Consumo Específico
		(m ³ /min)	(kW/ m ³ / min)
	64,29	9,45	6,78

Medidas de eficiência para o sistema de Ar Comprimido

1. **Otimização do funcionamento da central de ar comprimido** – De modo a otimizar o funcionamento da central de ar comprimido, sugere-se a instalação de um sistema de gestão que permitirá controlar e gerir os compressores de uma forma mais criteriosa, colocando em funcionamento o compressor que melhor se adaptar às reais necessidades de consumo de ar comprimido, tendo em conta a máxima eficiência do ponto de vista energético.

Verificou-se que no período compreendido entre as 22:00 e as 06:00 (período em que a secção da estampagem não se encontra em funcionamento), apenas deverá estar um compressor em funcionamento, uma vez que para a produção média de ar neste período,

apresenta um melhor consumo específico, em detrimento de dois compressores a funcionar em simultâneo.

2. **Reparação de fugas da rede de ar comprimido** – Foram detetadas algumas fugas de ar, pelo que se recomenda aos responsáveis da instalação, tão rápido quanto possível, a sua eliminação e a sensibilização de todo o pessoal, no sentido de evitar o desperdício de ar comprimido. Estas fugas localizam-se sobretudo junto dos consumidores, nas válvulas, ligadores rápidos e outros acessórios.
3. **Desacoplamento do anel de ar comprimido da estampagem** – A informação obtida da análise da rede de ar comprimido, permitiu verificar um diferencial de consumo de energia entre o período diurno e o noturno. Facto que se deve à secção de estampagem, por não se ter encontrado em laboração, entre as 22:00h e as 06:00h. Deste modo, a análise do consumo de energia elétrica da central de ar comprimido e a pressão da linha de distribuição, é possível verificar que a estampagem tem influência não só no consumo, mas também na pressão global da rede de distribuição (no ponto analisado). Atendendo a que a estampagem está sem laborar durante o período da noite, recomendamos o seccionamento da rede que alimenta a estampagem com vista a eliminar as fugas existentes nesse sector e que são consideradas como homogéneas em toda a fábrica.

Tabela 4.13 - Economia anual no sistema de ar comprimido

Medidas	Economia Anual			Investimento	PRI
	(kWh)	(%)	(€)	(€)	(anos)
1	19.482	0,25%	1.772	16.275	9,2
2	330.498	4,24%	30.057	0	0
3	29.835	0,38%	2.040	10.248	5
Total	379.815	4,87%	33.869	26.523	0,8

4.1.3.3. Iluminação

O consumo de energia elétrica referente à iluminação foi determinado com base em medições instantâneas da potência elétrica absorvida associada aos diferentes tipos de luminárias existentes. Foram caracterizados os tipos de lâmpadas e luminárias e equipamentos auxiliares que influenciam o desempenho energético. Para além da iluminação artificial, a instalação possui claraboias de forma a usufruir de iluminação natural.

A tabela 4.14 seguinte resume a caracterização energética por zonas realizada ao sistema de iluminação. A checklist utilizada para efetuar a auditoria a este sistema encontra-se no anexo X.

Tabela 4.14 - Caracterização dos consumos de iluminação

Zona	Luminárias	Potência	Nº Lâmpadas	Funcionamento	Consumo energia	
	Qt.	W	Qt	h/dia	kWh/ano	%
Naves de Produção	452	49.892	852	17	226.399	41%
Dedicadas nas Naves de Pintura e Soldadura	116	5.888	160	24	35.187	6%
Dedicadas na Nave da Estampagem	92	5.830	146	20	32.135	6%
Escritórios e Refeitórios	373	24.459	798	33	89.806	16%
Nave da Logística	149	22.983	255	15	88.658	16%
Oficinas e Armazéns	153	12.760	335	15	51.492	9%
Iluminação Exterior	27	5.512	27	12	24.142	4%
Total	1362	127.323	2573	--	547.820	100%

A figura 4.21 e figura 4.22 caracterizam de forma sumária o tipo de lâmpadas e luminárias presentes na instalação.

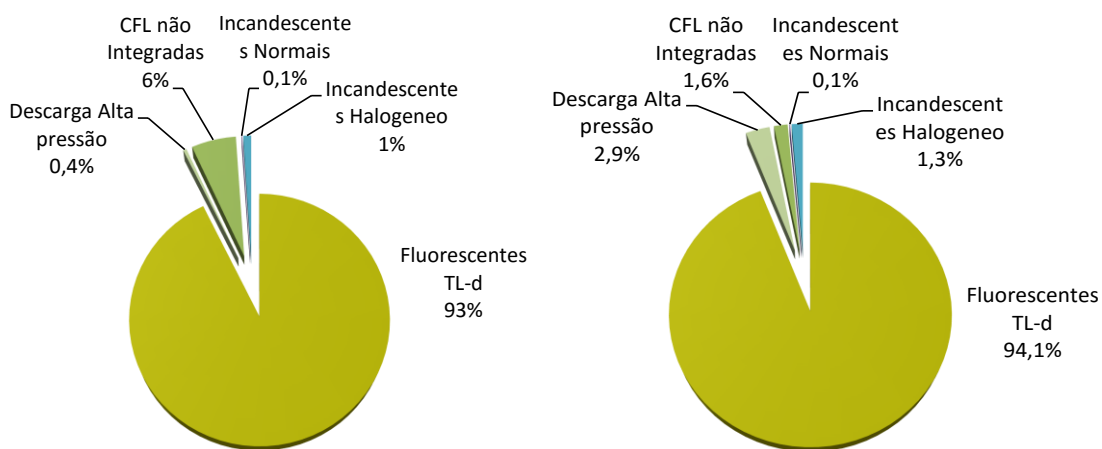


Figura 4.21 - Caracterização das lâmpadas existentes quanto à quantidade e potência instalada

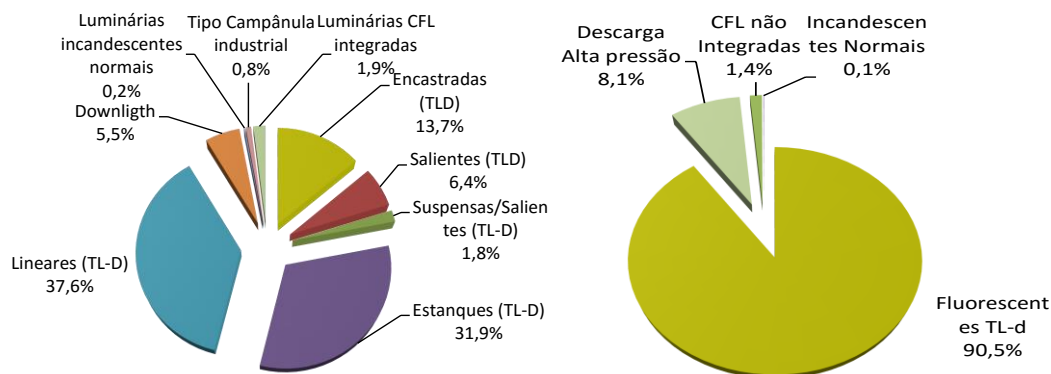


Figura 4.22 - Caracterização das luminárias existentes quanto ao tipo e potência absorvida

Medidas de eficiência para o sistema de Iluminação

Com base na caracterização efetuada no sector de iluminação, foi possível propor soluções que possam contribuir para a redução do consumo de energia, tais como a substituição de luminárias existentes por luminárias com melhor rendimento luminoso e equipadas com componentes mais eficientes.

As soluções propostas, visam a substituição de luminárias equipadas com lâmpadas fluorescentes tubulares TL-d, por luminárias de alto rendimento equipadas com lâmpadas fluorescentes tubulares T5, mantendo os níveis de iluminância dos espaços, apresentando uma densidade de potência mais reduzida com reflexo no consumo de energia, que chega a atingir 45 % nos escritórios.

Tabela 4.15 - Economia anual no sistema de iluminação

Medidas	Economia Anual			Investimento	PRI
	(kWh)	(%)	(€)	(€)	(anos)
1	44.460	0,57%	4.473	45.428	10,2

4.1.3.4.Frio Industrial

Esta secção que engloba os dois sistemas de refrigeração existentes na instalação representou no período da auditoria, cerca de 8 % do consumo total de energia elétrica da instalação, com um consumo médio horário de energia de 77 kWh e um consumo médio diário de 1.849 kWh.

Na tabela 4.16 e figura 4.23 é apresentado a distribuição dos consumos de energia elétrica dos sistemas de refrigeração.

Tabela 4.16 - Distribuição dos consumos da Secção de Sistemas de Refrigeração

Sector/Equipamento	Consumo de energia		%
	kWh	kWh / dia	
Secção de Sistemas Refrigeração	77	1.849	100%
Refrigerador 1	31	756	41%
Refrigerador 2	25	598	32%
Bomba circulação Refrigerador 1	11	262	14%
Bomba circulação Refrigerador 2	10	234	13%

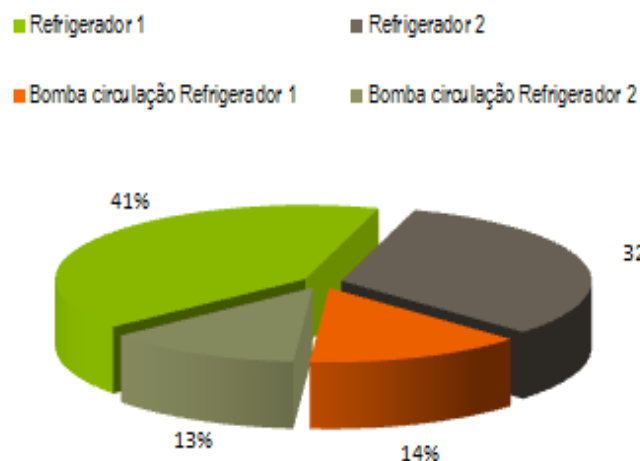


Figura 4.23– Distribuição dos consumos da Secção de Sistemas de Refrigeração (Fonte: CCenergia, 2014)

A partir dos dados acima podemos verificar que o sistema de refrigeração 1 é o maior consumidor, representado 41% do consumo total da refrigeração. A restante percentagem pertence ao sistema de refrigeração 2, assim como as respetivas bombas de recirculação.

O diagrama de carga elétrico geral do sistema de refrigeração encontra-se representado na figura 4.24.

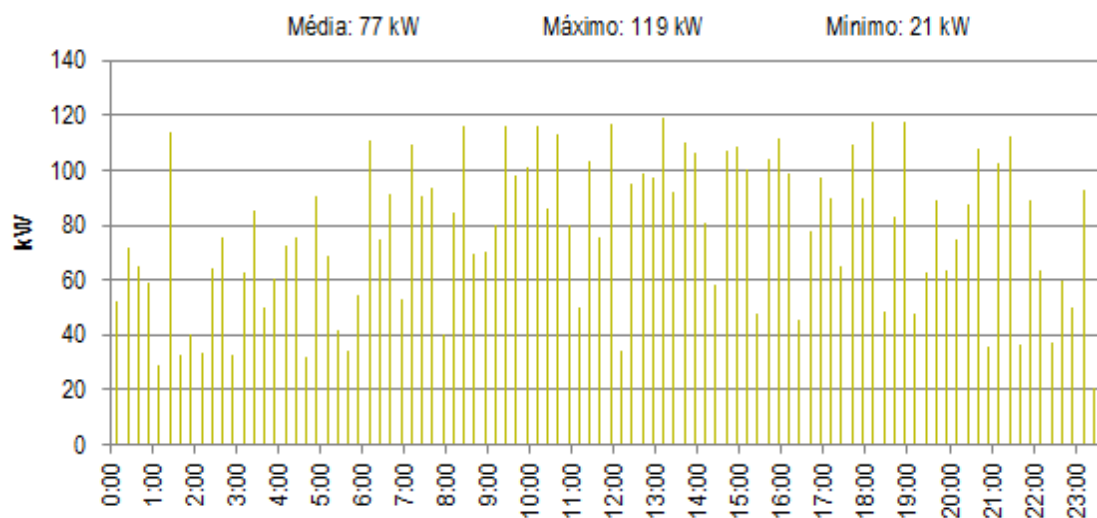


Figura 4.24– Diagrama de carga geral do Sistemas de Refrigeração (Fonte: CCenergia, 2014)

Através da análise do perfil de carga geral dos sistemas de refrigeração, verifica-se que o consumo de energia apresenta uma variação acentuada ao longo do período de medição, em virtude da simultaneidade de funcionamento dos diversos equipamentos da soldadura que são

arrefecidos pelos dois sistemas de refrigeração. O consumo médio horário é de 77 kWh durante o período de medição.

Na figura 4.25 podemos ver a distribuição de água arrefecida pelos respectivos sectores.

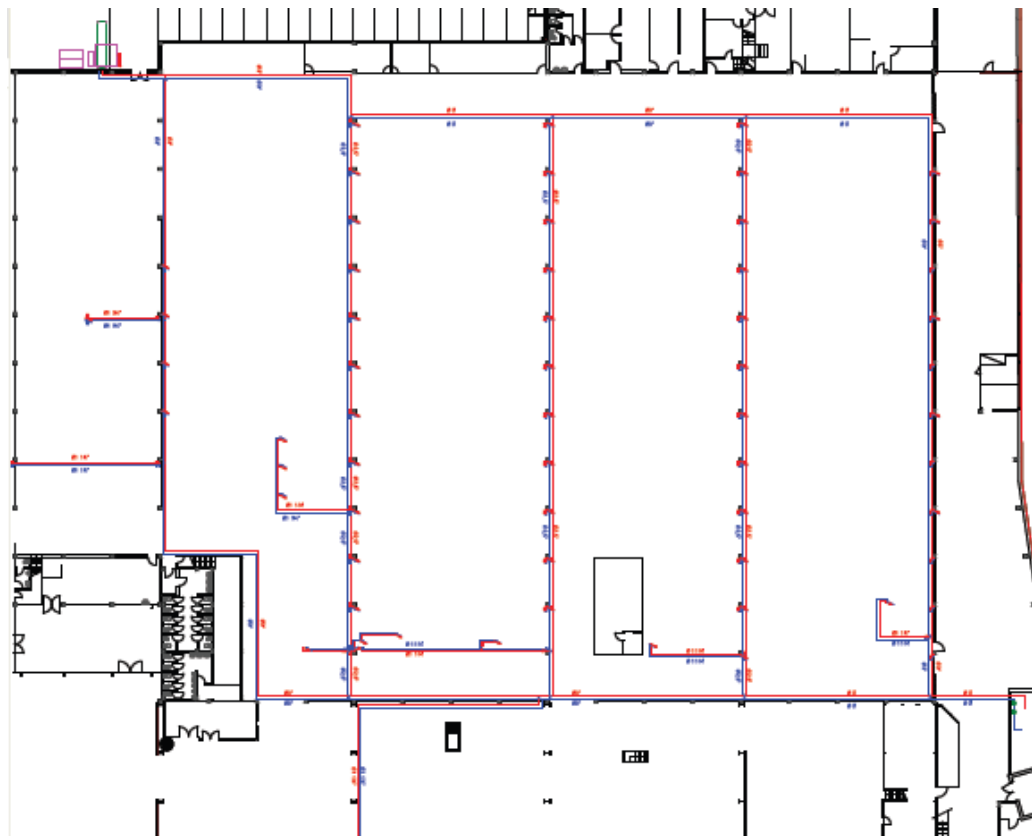


Figura 4.25– Esquema representativo de distribuição de água refrigerada (Fonte: CCenergia, 2014)

Sistema de Refrigeração nº1

Este sistema que engloba todos os equipamentos necessários para o arrefecimento de água utilizada na refrigeração das máquinas de soldadura, da secção de soldadura e pintura, representou no período da auditoria, cerca de 41% do consumo total de energia elétrica da secção de sistemas de refrigeração.

O consumo médio horário de energia registado para este sistema, foi de 31 kWh, e o consumo médio diário de 756 kWh.

Na figura 4.26 é representado o circuito hidráulico deste sistema de refrigeração.

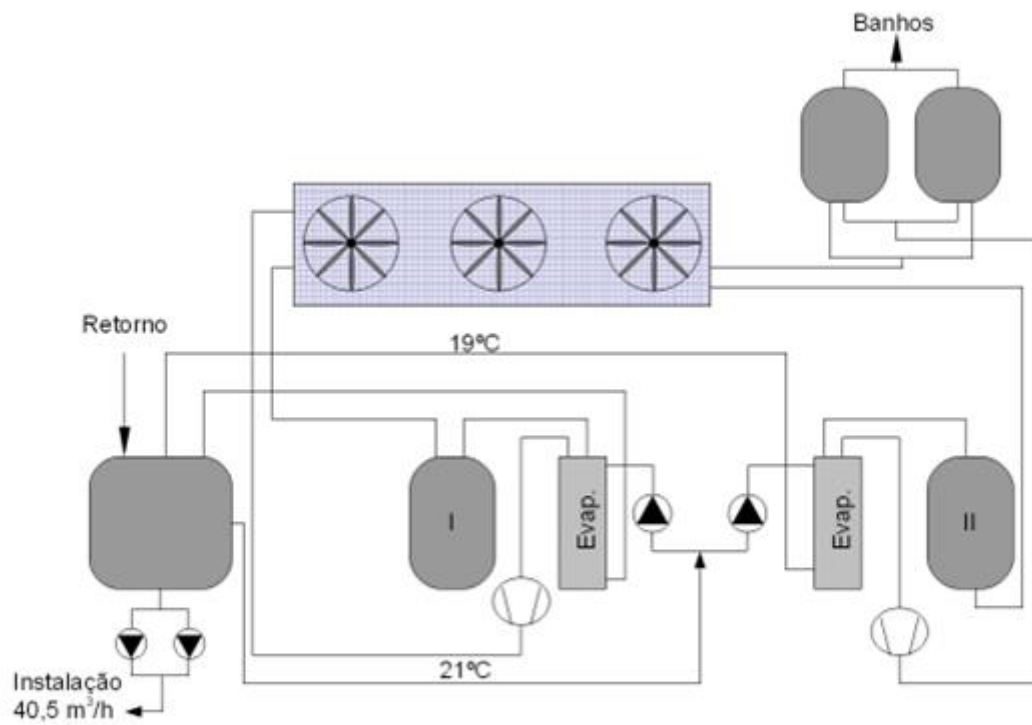


Figura 4.26– Circuito hidráulico do Sistema de Refrigeração nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)

O sistema de refrigeração em estudo é do tipo centralizado, ár-água e constituído pelos seguintes equipamentos: dois compressores, dois evaporadores, dois depósitos de líquido, um condensador, um depósito de água e pelas bombas de circulação de água.

Na figura 4.27 encontram-se imagens representativas do sistema de refrigeração nº 1.



Refrigerador nº1



Depósito nº1



Bomba circulação nº1

Figura 4.27– Imagens representativas do Sistema de refrigeração (Fonte: CCenergia, 2014)

No anexo XI encontram-se as características técnicas recolhidas da auditoria deste sistema.

Na figura 4.28 é representado o diagrama de carga elétrico do refrigerador nº 1.

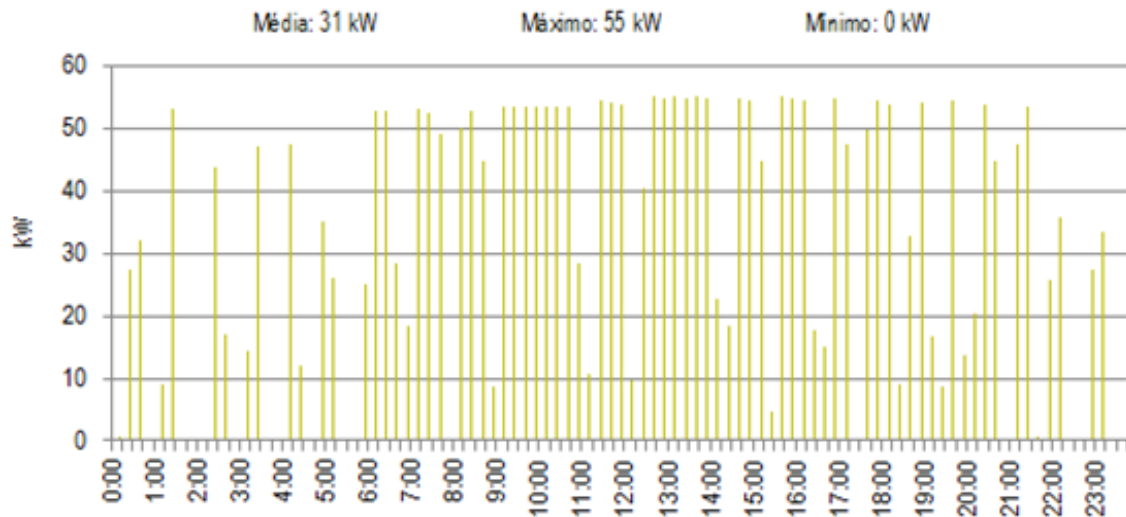


Figura 4.28– Diagrama de carga do Refrigerador nº1 (Fonte: CCenergia, 2014)

Através da análise do diagrama de carga do refrigerador nº 1 (figura 4.28), verifica-se que este equipamento funciona durante 24h, sendo o consumo médio horário de 31 kWh.

Com o objetivo de analisar a Eficiência Energética de Refrigeração (EER) deste chiller foi escolhido um período de pleno funcionamento do mesmo, registou-se a temperatura exterior e as temperaturas da água de ida e retorno ao evaporador e condensador, sendo os resultados apresentados no gráfico da figura 4.29.

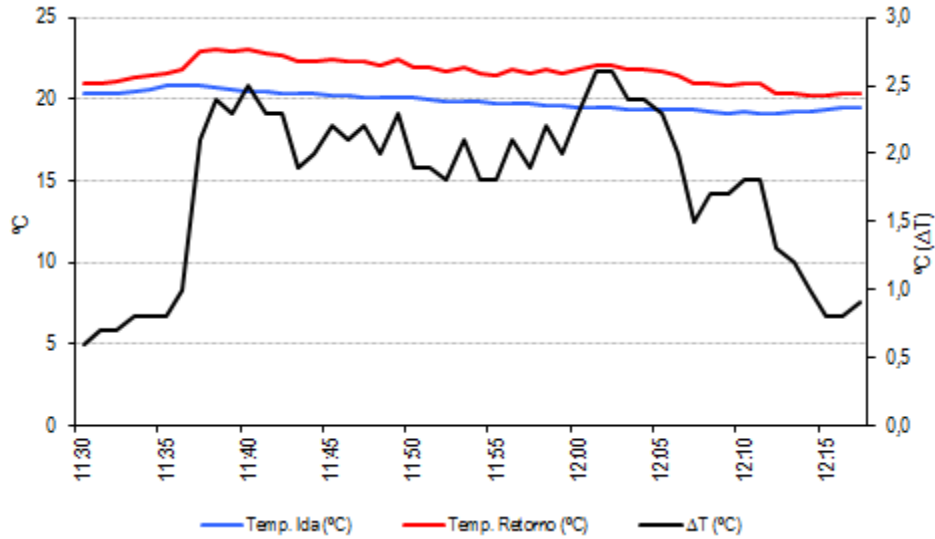


Figura 4.29– Evolução das temperaturas de ida, retorno e ΔT do condensador do Refrigerador nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)

Com base nos dados de caudal de água e respetivas temperaturas de entrada e saída no evaporador, bem como os consumos de energia elétrica do chiller, apresentados anteriormente, foi possível determinar o EER do equipamento, tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Eficiência Energética de Refrigeração (EER) do Refrigerador nº1

Pot. Absorvida (kW)	Pot. Térmica (kW _t)	EER
54,1	82,7	1,5

Na figura 4.30 encontra-se representada a evolução do EER do chiller, ao longo do período considerado.

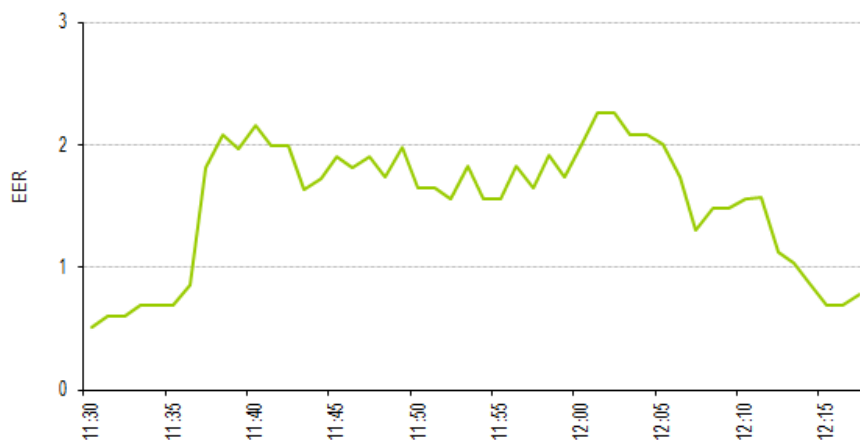


Figura 4.30– Evolução do EER do Refrigerador nº 1 (Fonte: CCenergia, 2014)

Pela análise dos resultados obtidos, verifica-se que o EER obtido para este equipamento é de 1,5 bastante abaixo do valor espectável (3,5) para este tipo de equipamentos, que poderá evidenciar algum desgaste no equipamento.

4.1.3.5. Motores Elétricos

Neste ponto são caracterizadas os motores elétricos, neste caso, aplicados às bombas de água representadas no circuito hidráulico do sistema de refrigeração nº 1. Embora o sistema tenha duas eletrobombas, apenas uma se encontrava em funcionamento, visto que a outra é de reserva. No entanto, ambas as eletrobombas apresentam as mesmas características.

No período da auditoria este sistema de bombagem registou um consumo médio horário de energia de 11 kWh e um consumo diário de energia, de 262 kWh, correspondendo este valor a 14 % do consumo total do sistema de refrigeração nº 1.

Na figura 4.31 encontram-se imagens representativas do sistema de bombagem em análise.



Figura 4.31– Bombas de água constituintes deste sistema de bombagem (Fonte: CCenergia, 2014)

O diagrama de carga elétrico geral deste sistema de bombagem é representado na figura 4.32.

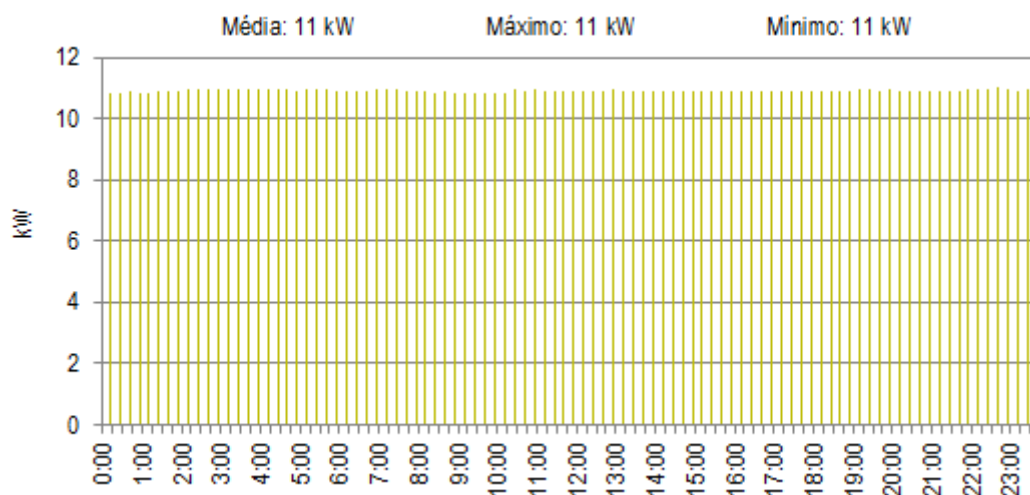


Figura 4.32– Diagrama de carga da central de bombagem 1 (Fonte: CCenergia, 2014)

Através da análise do perfil de carga do sistema de bombagem, figura 4.32, verifica-se que o consumo de energia é constante ao longo do período de medição, com um consumo médio horário de 11 kWh.

No anexo XII apresenta-se as características técnicas das eletrobombas e motores constituintes deste sistema de bombagem.

Na tabela 4.18 apresenta-se os resultados das medições que permitiram uma análise ao perfil de funcionamento da eletrobomba em funcionamento.

Tabela 4.18 - Medições instantâneas de caudal e pressão

Equipamento	Caudal	Pressão Total
	(m ³ /h)	(bar)
Electrobomba 1	40,5	4,74 (*)

*pressão total do sistema de acordo com a curva da bomba

Na figura 4.33 é representado as curvas teóricas de funcionamento destas eletrobombas, identificando o ponto em que elas se encontravam a funcionar.

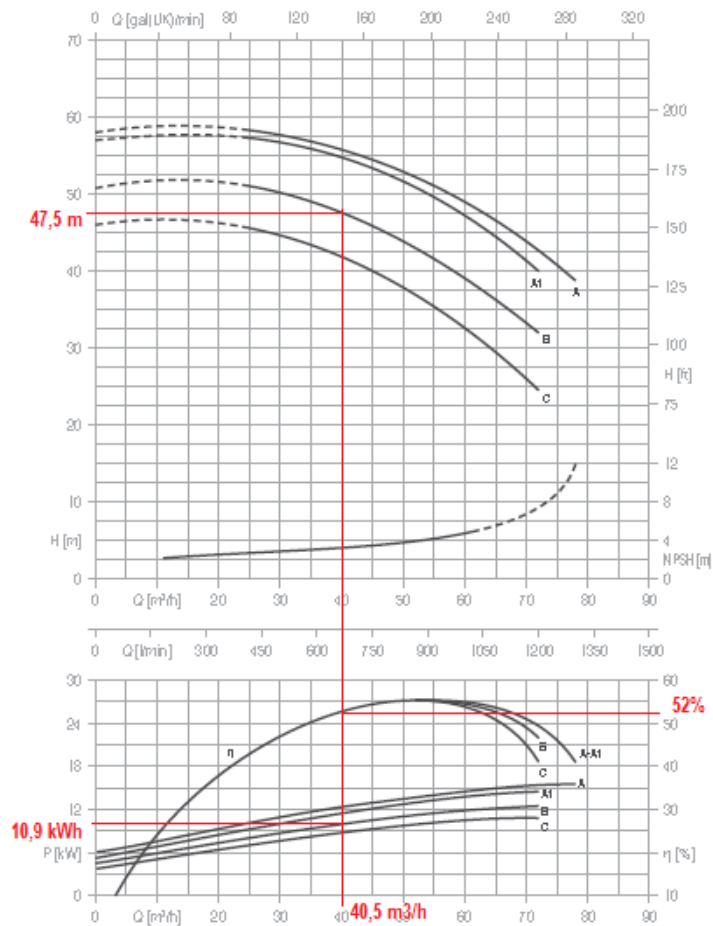


Figura 4.33– Curva teórica de funcionamento da bomba

Analisando as curvas teóricas da figura 4.33, verifica-se que o caudal registado para esta bomba é de $40,5 m^3/h$, correspondendo este valor a uma situação em que esta bomba se encontra a trabalhar a um rendimento hidráulico de 52% .

O rendimento hidráulico de uma bomba corresponde ao proveito que esta retira da potência mecânica que lhe é fornecida ao veio, pelo motor elétrico a ela associado. Então para esta bomba, o ideal seria que ela debitasse um caudal entre $45 m^3/h$ e $55 m^3/h$, dado que neste intervalo ela apresenta o seu ponto ótimo de funcionamento com um rendimento de 55% .

Medidas de eficiência para o sistema de energia térmica

1. **Melhoria de eficiência energética na bomba de água do circuito secundário do refrigerador 1** – A bomba de circulação do circuito secundário do sistema de refrigeração 1 da soldadura e pintura apresenta um regime de carga aproximadamente constante. Uma vez que as necessidades de refrigeração do processo não são constantes, propõe-se a implementação de um variador eletrónico de velocidade em função do

diferencial de temperatura (ΔT), com a definição de um valor de *setpoint* de temperatura. O método de controlo proposto permite modelar o caudal de água em função do ΔT , sendo que à medida que o ΔT aumenta, a velocidade de rotação do motor da bomba deverá também aumentar, incrementando o caudal de água em circulação e mantendo o *setpoint* dentro dos limites definidos. A implementação desta medida requer a instalação de duas sondas de temperatura.

Tabela 4.19 - Economia anual no sistema de bombagem do refrigerador nº1

Medidas	Economia Anual			Investimento	PRI
	(kWh)	(%)	(€)	(€)	(anos)
1	36.964	0,47%	3.362	4.630	1,4

5. Conclusões

O produto final desta dissertação foi criar um conjunto de checklists para facilitar os técnicos auditores na realização das auditorias da indústria automóvel e da indústria no geral. Permitindo que futuramente a análise energética aos vários sistemas presentes neste setor industrial seja efetuada de uma forma mais rápida, objetiva e precisa, sem grande margem para o esquecimento de pontos a verificar em cada sistema. Os pontos a analisar, enumerados nas checklists, acabam também por estar direcionados para a obtenção de medidas de economia para cada sistema, o que facilita a procura e análise dos parâmetros que permitem alcançar medidas de economia.

As várias checklists desenvolvidas foram aplicadas num caso real de uma instalação industrial do setor automóvel. Este estudo permitiu ainda identificar o uso global de energia em cada sistema e potenciais de eficiência energética. Com esta auditoria foi possível estimar o consumo de energia da instalação em termos anuais e recomendar várias medidas de eficiência energética com a respetiva poupança gerada e custo associado, fornecendo assim à administração da empresa o PRI de cada medida.

Das várias checklists desenvolvidas, a de iluminação será aquela que se poderá dizer que abrange toda a indústria e que acaba por se poder considerar praticamente concluída, uma vez que as diversidades possíveis de encontrar não são muitos e consistem essencialmente em diferentes tipos de luminárias, lâmpadas e necessidades de iluminação.

A checklist de motores elétricos também abrangerá uma grande diversidade de situações possíveis de encontrar na indústria, muito embora este tipo de equipamentos encontra-se associado a outros sistemas, como bombagem, ventilação e transporte, como o verificado no caso de estudo. O que obriga a perceber não só o funcionamento do motor como do sistema associado, nomeadamente parâmetros e requisitos de funcionamentos.

Em termos de complexidade de sistema e da própria análise ao mesmo, os sistemas térmicos e de climatização/refrigeração são talvez os mais complexos de abordar e por sua vez de elaborar uma checklist que abranja todas as variantes existentes na indústria.

A criação destas checklists veio ajudar a realização da auditoria energética, tal como comprovado no caso de estudo, não só pela otimização do tempo dos técnicos como pela organização da informação que a mesma permite, tentando eliminar ao máximo a dispersão da informação e eventual falhas na recolha de informação.

Como futuros trabalhos propõe-se a melhoria contínua das checklists e a aplicação da mesma metodologia para outros sistemas que se encontrem não só nas indústrias do setor automóvel

como na indústria em geral. Será também importante a transposição destas checklists para suporte informático, apesar das mesmas já terem sido criadas em *excel*, visando esse objetivo futuro. A utilização em suporte informático trará mais dinamismo à checklist com a possibilidade de adequar os campos de preenchimento de acordo com o tipo de equipamento a analisar, assim como a utilização no campo poderá ser feita através de *tablet pc's* em vez do recurso ao papel. Apesar destas checklists já o permitirem e terem sido criadas com esse intuito, de utilizar um *tablet* no campo, não estão completamente otimizadas para tal.

Referências Bibliográficas

- A.Ramalhão. (2010). Seminário Energia e Qualidade do Ar Interior, Aplicabilidade, Questões e Soluções. *Auditoria SGCIE*.
- ADENE. (2004). *Cursos de Utilização Racional de Energia - Eficiência Energética na Indústria*. Gaia.
- ADENE. (2010). *Relatório de Diagnóstico Energético - Central de Produção de Vapor e/ou Termofluido*. ADENE.
- Asian Productivity Organization. (2008). *Working Manual on Energy Auditing in Industries*.
- Atlas Copco. (2010). *Compressed Air Manual 7th edition*. Bélgica.
- Auditoria Energética SGCIE*. (s.d.). Obtido em 12 de 06 de 2014, de [www.auditoriaenergetica.blog.pt](http://auditoriaenergetica.blog.pt): <http://auditoriaenergetica.blog.pt/auditoria-energetica-sgcie/>
- CATIM; Carboneutral. (Novembro de 2012). Benchmarking internacional – Eficiência energética. IAPMEI.
- Certificações Energéticas*. (s.d.). Obtido em 27 de 06 de 2014, de www.edp.pt: <http://www.edp.pt/pt/empresas/certificacoesenergeticas/Pages/saibamaisobreascertificacoesenergeticasedp.aspx>
- Compressed Air Explained - The three types of compressors*. (2015). Obtido em 23 de 03 de 2015, de www.compair.pt: http://www.compair.pt/About_Us/Compressed_Air_Explained--03The_three_types_of_compressors.aspx
- Compressed Air Explained - Why do we need it*. (2015). Obtido em 24 de 03 de 2015, de www.compair.pt: http://www.compair.pt/About_Us/Compressed_Air_Explained--01Why_do_we_need_it-q-.aspx
- Costa, C. R. (23 de 03 de 2011). *Aplicações eficientes com motores eléctricos de Elevado rendimento*. Obtido em 12 de 09 de 2014, de Ordem dos Engenheiros: http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/aplcacoeseeficientesmotoreselctricoselevadorendimento_carlosribeirocosta15755722424da5b0a886962.pdf
- Dias, J. A. (2012). *Concepção de Instalações Frigoríficas em Expansão Directa versus Sistemas Inundados. Análise Energética das Soluções*. ISEL.
- Diretiva 2005/32/EC. (22 de Julho de 2009). *Commission Regulation (EC) Nº 640/2009*.
- DL nº 68-A/2015 de 30 de Abril. (30 de Abril de 2015). *D.R. 1ª Série Nº84*. Diário da República.

DL nº 71/2008 de 4 de Abril. (15 de Abril de 2008). *D.R. 1ª Série nº74*. Diário da República.

DL nº 78/2006 de 4 de Abril. (04 de Abril de 2006). *D.R. 1ª Série A*. Diário da República.

DL nº 79/2006 de 4 de Abril. (04 de Abril de 2006). *D.R. 1ª Série nº67*. Diário da República.

Dockrill, P., & Friedrich, F. (Agosto de 2001). *Boilers and Heaters: Improving Energy Efficiency*. Natural Resources Canada's Office (NRCan's OEE).

Energy Efficiency a key tool for boosting economic and social development. (Setembro de 2014). Obtido em 20 de 06 de 2015, de www.iea.org:
<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/september/energy-efficiency-a-key-tool-for-boosting-economic-and-social-development.html>

FprEN 16247-1:2012 (E). (Março de 2012). *Energy audits - Part 1*. CEN-CENELEC.

Global Energy Efficiency Market an Invisible Powerhouse at Least. (Outubro de 2014). Obtido de www.iea.org:
<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/october/global-energy-efficiency-market-an-invisible-powerhouse-at-least-usd-310byr.html>

Hasanbeigi, A., & Price, L. (2010). *Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities*. Ernest Orlando Lawrence Berkely National Laboratory.

IAPMEI; LNEG. (Novembro de 2012). Relatório de estudo dos diagnósticos flash nas empresas II. IAPMEI.

IAPMEI; LNEG; Carboneutral; ADENE. (Novembro de 2012). Estratégia de eficiência energética em PME. IAPMEI.

IEC, & Doppelbauer, M. (s.d). *Motor Efficiency Classes*. Obtido de www.iec.ch:
<http://www.iec.ch/>

Internacional Energy Agency. (2014). *Energy Technology Perspectives 2014*. Obtido de www.iea.org/etp2014

International Energy Agency. (2011). *25 Energy Efficiency Policy - Recommendations*. Obtido de www.iea.org

International Energy Agency. (2012). *Energy Technology Perspectives 2012*. Obtido de www.iea.org/etp

International Energy Agency. (2014). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*.

Kaeser Compressores. (2010). Tecnologia de ar comprimido - Noções básicas, dicas e sugestões.

Kaeser Compressores. (s.d.). *Compressed air treatment - Drying*. Obtido em 28 de 08 de 2015, de www.kaeser.pt: http://www.kaeser.pt/Products_and_Solutions/Compressed-air-treatment/Drying/default.asp

- Licht.de. (s.d.). *Guide to DIN EN 12464-1*. Obtido de www.licht.de.
- Licht.de. (s.d.). *Industry and Trade*. Obtido de www.licht.de.
- Licht.de. (s.d.). *Led: The Light of the Future*. Obtido de www.licht.de.
- Magueijo, V., Fernandes, M. C., Matos, H. A., Nunes, C. P., Calau, J. P., Carneiro, J., et al. (2010). *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*. ADENE.
- Modelo de Estrutura para relatório de Auditoria Energética*. (s.d.). Obtido em 02 de 04 de 2015, de www.portal-energia.com: <http://www.portal-energia.com/exemplo-modelo-de-estrutura-para-relatorio-de-auditoria-energetica/>
- Natural Resources Canada. (2011). *Energy Savings Toolbox - An Energy Audit Manual and Tool*. Canada.
- OECD; IEA. (2014). *Energy Efficiency Market Report 2014*.
- Oliveira, F. (2010). *Relatório Final de Acção de Promoção de Eficiência Energética em Caldeiras de Vapor e de Termofluido*. ADENE.
- Pais, A. M. (2011). *Condições de Iluminação em Ambiente de Escritório: Influência no conforto Visual. Dissertação de Mestrado em Ergonomia na Segurança no Trabalho*.
- Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética. (Fevereiro de 2008). *Portugal Eficiência 2015*.
- Siemens AG. (2011). *Low-voltage induction motors. A giant step towards an energy-efficient future*.
- Soluções para Melhorar os Sistemas acionados por motores elétricos. (s.d.). *Guia Técnico*. Universidade de Coimbra; ADENE.
- Venturini, O. J. (2005). *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*. ELETROBRÁS/PROCEL.
- www.dqa.pt. (s.d.). Obtido em 27 de 11 de 2014, de <http://www.dqa.pt/002.aspx?dqa=0:0:0:42:45:34;45:-1:0:0>

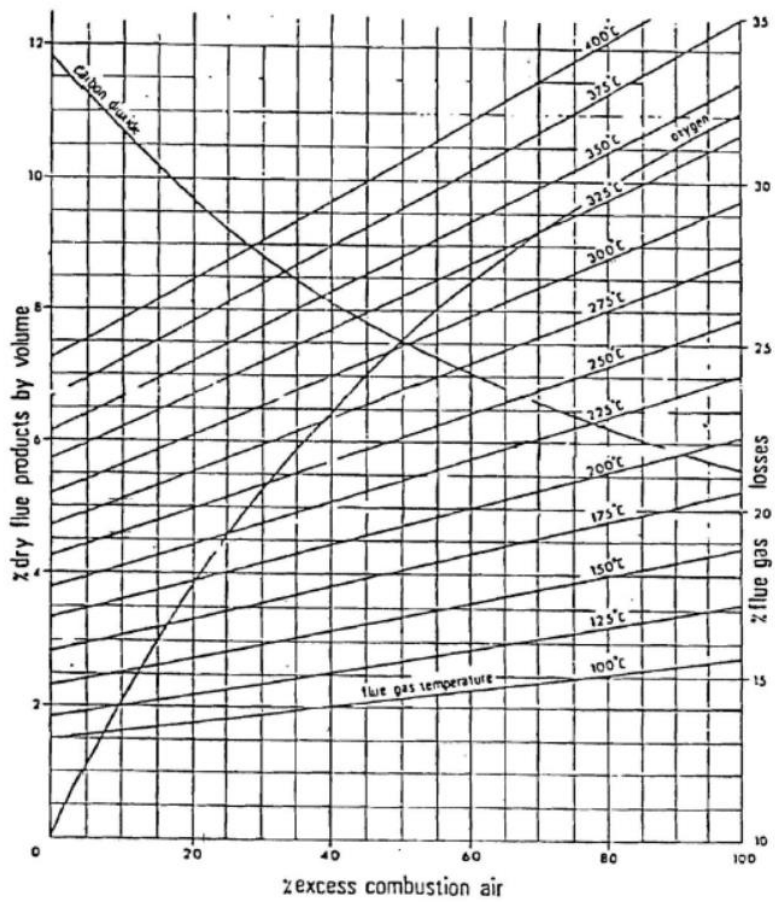
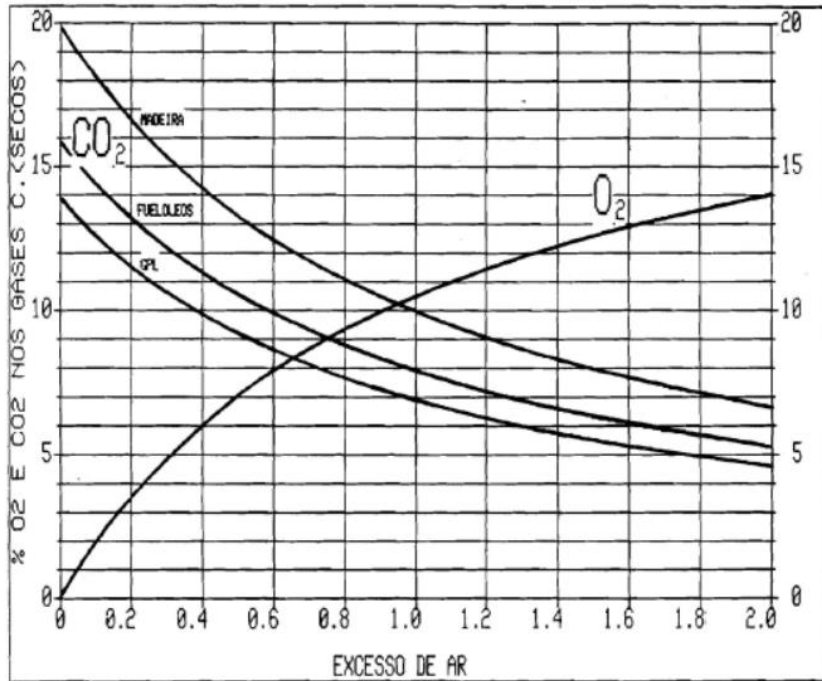
Anexos

Anexo I – Níveis iluminação da Norma EN 12464

Ref. no.	Type of area, task or activity	\bar{E}_m lx	UGRL –	U_o –	R_a –	Specific requirements
5.18.1	Open die forging	200	25	0,60	80	
5.18.2	Drop forging	300	25	0,60	80	
5.18.3	Welding	300	25	0,60	80	
5.18.4	Rough and average machining: tolerances $\geq 0,1$ mm	300	22	0,60	80	
5.18.5	Precision machining; grinding: tolerances $< 0,1$ mm	500	19	0,70	80	
5.18.6	Scribing; inspection	750	19	0,70	80	
5.18.7	Wire and pipe drawing shops; cold forming	300	25	0,60	80	
5.18.8	Plate machining: thickness ≥ 5 mm	200	25	0,60	80	
5.18.9	Sheet metalwork: thickness < 5 mm	300	22	0,60	80	
5.18.10	Tool making; cutting equipment manufacture	750	19	0,70	80	
5.18.11	Assembly: - rough - medium - fine - precision	200 300 500 750	25 25 22 19	0,60 0,60 0,60 0,70	80 80 80 80	
5.18.12	Galvanising	300	25	0,60	80	
5.18.13	Surface preparation and painting	750	25	0,70	80	
5.18.14	Tool, template and jig making, precision mechanics, micro-mechanics	1 000	19	0,70	80	

Ref. no.	Type of area, task or activity	\bar{E}_m lx	UGRL –	U_o –	R_a –	Specific requirements
5.24.1	Body work and assembly	500	22	0,60	80	
5.24.2	Painting, spraying chamber, polishing chamber	750	22	0,70	80	
5.24.3	Painting: touch-up, inspection	1 000	19	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$
5.24.4	Upholstery manufacture (manned)	1 000	19	0,70	80	
5.24.5	Final inspection	1 000	19	0,70	80	
5.24.6	General vehicle services, repair and testing	300	22	0,60	80	Consider local lighting.

Anexo II – Cálculo do excesso de ar de combustão



Anexo X – Checklist Iluminação (caso de estudo)

Zona		Dimensões do espaço (m)				Luminárias		Lâmpadas				Montagem				Iluminância (Lux)		Potência Absorvida (W)	Sensores	Funcionamento	
Identificação	Classificação	A	L	C	Área (m ²)	Qt.	Afastamento (m x m)	Qt./luminária	Pot. (W)	Tipo	Balastro	Altura (m)	Tipo	Tipo de teto	Cor das paredes	c/ artificial	s/ artificial	(W)		h/dia	dias/ano
Pavilhão Soldadura	Trabalhos Gerais	8	67,7	80	5416	29		2	49	T8	Eletrónico	6	Suspensas/Salientes	Metálico à Vista	Branca	186		54,5	Não	17	250
Pavilhão Soldadura	Trabalhos Gerais	8	67,7	80	5416	114		2	49	T8	Eletrónico	6	Suspensas/Salientes	Metálico à Vista	Branca	186		54,5	Não	17	250
Pavilhão Estampagem	Trabalhos Gerais	12	60	100	6000	13		2	49	T8	Eletrónico	11	Suspensas/Salientes	Metálico à Vista	Branca	228		54,5	Não	17	250
Pavilhão Estampagem	Trabalhos Gerais	12	60	100	6000	138		2	49	T8	Eletrónico	11	Suspensas/Salientes	Metálico à Vista	Branca	357		54,5	Não	17	250
Reforço (pavilhão Estampagem)	Trabalhos Gerais	12	60	100	6000	18		2	80	T8	Eletrónico	11	Suspensas/Salientes	Metálico à Vista	Branca	390		86	Não	17	250
Corredor lateral	Zona de passagem	5,5				4		2	49	T8	Eletrónico	6	Lineares	Metálico à Vista	Branca	70		54,5	Não	17	288
Corredor lateral	Zona de passagem	5,5				21		2	49	T8	Eletrónico	6	Lineares	Metálico à Vista	Branca	70		54,5	Não	17	288
Cais de Carga/Descarga	Zona de passagem	11,5				15		2	49	T8	Eletrónico	11	Lineares	Metálico à Vista	Branca	150		54,5	Não	17	288
ETARI	Trabalhos Gerais	5,5				5		1	250	Sódio	Eletrónico	5	Campânula industrial	Metálico à Vista	Branca	70		282	Não	17	288
ETARI	Trabalhos Gerais	5,5				3		1	250	Sódio	Eletrónico	5	Campânula industrial	Metálico à Vista	Branca	70		282	Não	17	288
pavilhao 6 lavagem.armazem	Trabalhos Gerais	12				21		2	49	T8	Eletrónico	11	Lineares	Metálico à Vista	Branca	186		54,5	Não	17	288
Pavilhão	Trabalhos Gerais	12				24		2	49	T8	Eletrónico	11	Lineares	Metálico à Vista	Branca	230		54,5	Não	17	288
tunel		2,5				43		1	58	T8	Eletrónico	2,5	Estanques	Betão	Cinzento	80		71	Não	24	288
tunel		2,5				1		1	36	T8	Eletrónico	2,5	Estanques	Betão	Cinzento	80		44	Não	24	288
tunel		2,5				3		2	18	T8	Eletrónico	2,5	Estanques	Betão	Cinzento	80		22	Não	24	288

