



## **Auditoria energética a uma fábrica de tintas**

**MÁRCIO JOSÉ GASPARGA**

Novembro de 2016

# AUDITORIA ENERGÉTICA A UMA FÁBRICA DE TINTAS

MÁRCIO FRAGA

**DATA:** NOVEMBRO DE 2016

**ORIENTAÇÃO ISEP:** Prof. Margarida Ribeiro

Prof. Teresa Esteves

**ORIENTAÇÃO DA EMPRESA:** Eng. Responsável



## AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial à empresa pelo facto de me proporcionar a possibilidade de ter o primeiro contacto com o ambiente industrial com a realização deste estágio na sua fábrica.

Ao meu orientador na empresa, por ter aceitado orientar-me neste estágio e pela sua disponibilidade para me ajudar.

Às Engenheiras Margarida Ribeiro e Teresa Esteves, orientadoras do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), por todo o tempo disponibilizado e por tudo que me ensinaram na realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Armando Ferreira pelo empréstimo do equipamento de medição e pela disponibilidade para transferir os dados para o meu computador e tirar dúvidas quando foi necessário.

Ao responsável pela manutenção da fábrica porque foi quem me acompanhou dentro da empresa e foi sempre muito prestável em tudo que precisei.

A todas as pessoas que trabalham na empresa porque sempre me acolheram bem e me ajudaram em tudo que precisei.

Por fim e não menos importante, um agradecimento especial para toda a minha família e amigos que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu conseguisse chegar até aqui e desenvolver este trabalho.



## RESUMO

O principal objetivo deste trabalho visa melhorar a eficiência energética da empresa, através da determinação do consumo energético de todos os equipamentos, descobrindo assim quais os maiores consumidores de energia e então proceder à otimização energética dos mesmos. Além disso foi proposto outro objetivo, o de calcular os gastos de energia por quantidade de produto.

Inicialmente fez-se uma análise à empresa utilizando as faturas de eletricidade e os dados de produção do ano 2015 de forma a determinar quais os meses em que se consome mais energia e também em que existe maior quantidade produzida.

De seguida deu-se início às medições utilizando o analisador de energia elétrica Janitza UMG 96S equipado com 4 cabos medidores de tensão e 3 pinças amperimétricas, o qual regista valores instantâneos de vários parâmetros elétricos (corrente, tensão, energia ativa, potência, fator de potência, etc.), em intervalos de 5 minutos. As medições foram realizadas por setores, começando pelo setor das tintas plásticas, passando pelo setor dos esmaltes e vernizes e no final nos ventiladores e num dos compressores.

No final analisaram-se os dados de forma a calcular os consumos por equipamento e por quantidade de produto fabricado procedendo-se a cálculos para possíveis melhorias.

Com este trabalho concluiu-se que devido à baixa utilização dos motores dos dispersores, o sobredimensionamento destes, ou até mesmo a instalação de variadores de frequência eletrónicos não é economicamente viável. Com o cálculo realizado para a viabilidade da instalação de um variador de frequência eletrónico num dos equipamentos, o período de recuperação foi de 24,7 anos, o que torna o investimento não viável em termos económicos. No entanto existem outras razões que justificam a necessidade de investimento num variador de frequência eletrónico para o dispersor 50. Estas razões são nomeadamente a falta de peças que possam ser utilizadas para substituir peças avariadas do variador atual. Esta situação tem-se verificado com frequência ultimamente.

Foram também analisados os investimentos em novos moinhos e num novo compressor, sendo o compressor um investimento de 35800€ recuperável ao fim de 4 anos.

Analisou-se a substituição de 4 moinhos já existentes por 2 tipos de moinhos diferentes (um moinho de cesto ou quatro moinhos horizontais semelhantes ao moinho 67), sendo que ambos traziam vantagens a respeito de segurança, de poupança da quantidade de corante utilizado devido à melhor moagem, e um menor tempo de resposta. Quanto ao período de

recuperação também é semelhante sendo de 25 anos para os moinhos horizontais semelhantes ao 67 e de 26 anos para o moinho de cesto. O que torna estes 2 investimentos diferentes é o valor inicial, sendo o investimento nos moinhos horizontais 4 vezes superior ao investimento no moinho de cesto.

Quanto à substituição da iluminação nomeadamente substituição de lâmpadas fluorescente e de halogénio por lâmpadas LED, há um investimento de cerca de 14.550 € que se traduz numa poupança anual de cerca de 7571,01 €/ano tornando este investimento recuperável em menos de 2 anos.

Concluiu-se também que os equipamentos medidos e estimados apenas correspondem a 50% do consumo de energia da empresa, e destes consumos medidos e estimados 50% são relativos aos equipamentos auxiliares.

**Palavras-chave:** Energia, auditoria energética, eficiência energética.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to improve the energy efficiency of the company, through the determination of the energy consumption of all the equipment, discovering which are the largest consumers of energy and then proceed to the energy optimization. Besides that, another objective was proposed: calculate the expenses of energy per amount of product.

Initially, a company analysis was done using the electricity bills and the production data of the year 2015 in order to determine in which months the consumption of energy is higher and also when the quantity produced is greater.

Then began the measurements using the power analyzer Janitza UMG 96S equipped with 4 meters and 3 cable clamp, which records instantaneous values of electrical parameters (voltage, current, active power, power, power factor, etc.) with 5 minutes breaks. The measurements were performed by sectors, starting with the sector of plastic paints, enamels and varnishes industry, and at the end in one of the compressors and fans.

At the end, the data was analyzed in order to calculate the consumption by equipment and amount of product manufactured, and calculations were made for possible improvements.

With this work it was concluded that due to the low use of dispersers' engines, the oversizing of these or even the installation of electronic frequency inverters isn't feasible economically. With the calculation performed for the feasibility of installing an electronic frequency variator in the equipment, the recovery period was 24.7 years, which makes the investment non-viable in economic terms. However there are other reasons to justify the necessity for the investment in an electronic frequency variator for the disperser 50. These reasons include the lack of parts that can be used to replace defective parts of the current inverter. That situation has been frequently verified lately.

Then it was also analyzed investments in a new mills system and a new compressor.

The investment in the compressor was €35800, recoverable at the end of 4 years.

It was reviewed the replacement of 4 mills by 2 different types, one basket mill or four horizontal mills similar to mill 67, both of them brought advantages regarding safety, saving amount of dye used due to better milling and a lower response time. The recovery period is also similar, with 25 years for the horizontal mills which is similar to the mill 67, and 26 years for the basket mill. What makes these two proposals different is the initial investment value, with an investment in the horizontal mills 4 times greater than in the basket mill.

As for the replacement of lighting, an investment around € 14.550 results in annual savings approximately 7571.01 €/year making the investment recoverable in less than 2 years.

It was concluded that the measured and estimated equipment only correspond to 50% of the company's energy consumption. These measured and estimated consumption (50%) are related to auxiliary equipment.

**Keywords:** Energy, energy audit, energy efficiency.

# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. A empresa.....	1
1.2. Organização do relatório .....	2
2. A ENERGIA .....	5
2.1. Consumo energético Mundial.....	5
2.2. Consumo energético em Portugal .....	8
2.3. Energia reativa .....	10
2.4. Auditorias energéticas.....	12
3. A FÁBRICA E RESPETIVA ANÁLISE .....	15
3.1. Processo produtivo e equipamento principal .....	15
3.2. Análise à produção .....	17
4. LEVANTAMENTO ENERGÉTICO .....	19
4.1. Análise dos consumos e custos de energia elétrica globais em 2015 .....	19
4.2. Consumos de energia elétrica por sector .....	24
4.2.1. Caracterização e análise dos consumos de energia no setor das tintas plásticas 27	
4.2.2. Caracterização e análise dos consumos de energia no setor dos esmaltes.....	35
4.2.3. Caracterização e análise dos consumos de energia no setor dos vernizes.....	43
4.3. Consumos de energia dos equipamentos de apoio à produção .....	44
4.4. Consumo de energia elétrica na Iluminação.....	46
4.5. Análise global dos consumos de energia elétrica .....	47
5. MEDIDAS DE MELHORIA .....	51
5.1. Iluminação.....	51
5.2. Dispersor 50.....	54
5.3. Moinhos 21, 22, 23 e 27 .....	54
5.4. Compressor .....	56
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	57

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
ANEXOS .....	63
Anexo A .....	63
Anexo B .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Consumo total de energia final no mundo segundo duas políticas diferentes. Adaptado de [4].	6
Figura 2.2 - Relação entre os vários tipos de obtenção de energia relativamente à energia final consumida no mundo, segundo as novas políticas. Adaptado de [4].	6
Figura 2.3 - Relação entre os vários sectores relativamente ao consumo total de energia final, segundo as novas políticas. Adaptado de [4].	7
Figura 2.4 - Evolução do consumo total de energia primária e de energia final em Portugal. Adaptado de [5].	8
Figura 2.5 – Relação entre os vários tipos de obtenção de energia relativamente à energia final consumida em Portugal no ano de 2014. Adaptado de [5].	9
Figura 2.6 - Relação entre os vários sectores relativamente ao consumo total de energia final em Portugal [6].	9
Figura 2.7 – Representação da relação entre a energia ativa e a energia reativa [1].	10
Figura 2.8 - Perdas na linha em função do fator de potência [1].	11
Figura 3.1 - Etapas do processo de produção de tintas.	16
Figura 3.2 - Produção da empresa ao longo do ano 2015, dos vários produtos.	17
Figura 4.1 - Períodos horários segundo o ciclo semanal opcional.	19
Figura 4.2 - Consumos de energia ativa nos vários períodos horários ao longo do ano 2015.	20
Figura 4.3 - Custos mensais s/IVA com a energia relativos ao ano de 2015.	21
Figura 4.4 - Repartição dos custos da energia do mês de julho do ano de 2015.	22
Figura 4.5 - Produção e consumo específico relativo ao ano 2015.	23
Figura 4.6 – Produção e custo específico relativo ao ano 2015.	24

Figura 4.7 – Variação da potência ativa ao longo do tempo para os fabricos do produto A. .	28
Figura 4.8 – Consumo de energia por tonelada relativo ao fabrico no setor das tintas plásticas. .....	32
Figura 4.9 – Consumo por tonelada relativo às afinações no setor das tintas plásticas.....	35
Figura 4.10 – Consumo por tonelada relativo ao fabrico no setor dos esmaltes. ....	38
Figura 4.11 – Consumo por tonelada relativo aos moinhos no setor dos esmaltes.....	42
Figura 4.12– Consumo por tonelada relativo ao fabrico no setor dos vernizes. ....	44
Figura 4.13 – Consumo mensal por equipamento medido.....	48
Figura 4.14 – Distribuição dos consumos da empresa pelos vários setores, iluminação e equipamentos auxiliares.....	49
Figura 4.15 – Frações dos consumos da empresa nos vários setores, iluminação e equipamentos auxiliares.....	50

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Equipamentos de produção de cada secção com as respetivas características. .....	25
Tabela 4.2 - Fabricos no dispersor 63 de dia 21 a 24 de Março. ....	27
Tabela 4.3 - Fabricos no dispersor 66 de dia 4 a 6 de Abril. ....	29
Tabela 4.4 - Fabricos no dispersor 56 de dia 9 e 11 de Abril. ....	30
Tabela 4.5 - Fabricos no dispersor 50 de dia 15, 16 e 18 de Abril. ....	31
Tabela 4.6 - Afições no dispersor 52 de dia 20 a 21 de Abril. ....	33
Tabela 4.7 - Afições do dispersor 51 de dia 22 e 26 de Abril. ....	34
Tabela 4.8 - Fabricos no dispersor 31 de dia 27 a 28 de Abril. ....	36
Tabela 4.9 - Fabricos no dispersor 32 de dia 4 a 5 de Maio. ....	37
Tabela 4.10 - Moagens no moinho 67 de dia 10 a 12 de Maio. ....	39
Tabela 4.11 - Moagens no moinho 27 no dia 18 de Maio e no moinho 23 de dia 31 Maio a dia 2 de Junho. ....	39
Tabela 4.12 - Moagens no equipamento 24 de dia 3 e 6 de Junho. ....	40
Tabela 4.13 – Moagens no moinho 37 de dia 28 a 30 de Junho. ....	41
Tabela 4.14 - Fabricos do dispersor 14 de dia 7 a 9 de Junho. ....	43
Tabela 4.15 – Fabricos no dispersor 8 de dia 20 a 22 de Junho. ....	43
Tabela 4.16 - Consumos do compressor de dia 23 a dia 30 de Maio. ....	45
Tabela 4.17 – Consumos dos ventiladores de dia 15 a dia 17 de Junho. ....	45
Tabela 4.18 – Iluminação instalada na empresa. ....	46
Tabela 4.19 – Dias de medição de cada equipamento e respetivos consumos. ....	47

Tabela 5.1 - Tabela de equivalências das lâmpadas instaladas para lâmpadas LED e respetivo custo destas.[8] .....	52
Tabela 5.2 – Iluminação a instalar com respetivo investimento de forma a diminuir o consumo energético. ....	52
Tabela 5.3 – Consumo atual da fábrica e após a substituição por lâmpadas LED.....	53
Tabela A.1 – Produção e poupança anual relativa ao investimento nos diferentes tipos de moinhos. ....	64

# 1. INTRODUÇÃO

Este projeto foi proposto no âmbito da disciplina Dissertação/Estágio do Mestrado de Otimização energética na indústria química do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), sendo realizado numa empresa de tintas.

O objetivo deste trabalho consistiu na determinação dos consumos dos equipamentos da fábrica e posterior proposta de medidas que promovessem a melhoria energética da empresa, de modo a reduzir os custos associados à energia consumida e às emissões de gases com efeito de estufa, através da realização de uma avaliação energética.

## 1.1. A empresa

Neste subcapítulo falava-se da empresa onde foi realizado o estágio, que por motivos de confidencialidade foi excluído.

## 1.2. Organização do relatório

O relatório encontra-se organizado em 6 capítulos.

Neste primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema onde se descrevem os objetivos e se dá a conhecer um pouco a empresa.

No segundo capítulo é analisado o panorama Mundial e de Portugal no que diz respeito ao consumo de energia elétrica, em que setores é principalmente consumida essa energia elétrica e de que fontes provém. Também é conhecida a evolução deste consumo ao longo dos anos. Também é dada uma pequena introdução relativa às auditorias energéticas e até da energia reativa e de que forma esta influencia os equipamentos e a instalação.

No terceiro capítulo é realizada uma análise à fábrica, onde se dá a conhecer um pouco a organização desta, o processo de produção das tintas e até uma análise mais detalhada à produção do ano 2015.

O quarto capítulo é iniciado com um estudo aos consumos e custos energéticos associados ao ano 2015 e até relacionando os consumos e custos ao longo do ano com a produção ao longo do ano de forma calcular o consumo e custo específico. Depois é feita uma descrição dos equipamentos presentes em cada setor assim como o seu consumo de energia

elétrica no fabrico de cada produto. Também se encontra neste capítulo o consumo de energia elétrica com a iluminação e com os equipamentos de apoio à produção (equipamentos auxiliares). No final deste capítulo encontra-se um resumo dos consumos por equipamento e por setor.

No capítulo 5 são abordadas as medidas de melhoria relativas à iluminação, à instalação de variadores de frequência nos dispersores, à substituição do compressor e à substituição dos moinhos (21, 22, 23 e 27).

O capítulo 6 como último capítulo aborda as principais conclusões acerca deste relatório e propostas para futuros trabalhos.



## 2. A ENERGIA

A energia é um bem importante para um desenvolvimento económico e social e contribui para uma melhor qualidade de vida das populações. Esta é fundamental, uma vez que é necessária para quase todos os processos de consumo e produção. O consumo não sustentável de energia é a principal causa da deterioração ambiental, incluindo exploração excessiva dos recursos renováveis e a poluição causada pelos recursos não renováveis (petróleo, gás natural, entre outros) [2].

Desta forma, um consumo eficiente de energia é então uma forma de reduzir o consumo de energia e a emissão de gases de efeito de estufa, estando ao mesmo tempo a reduzir o valor dos gastos com a energia. No caso dos edifícios tanto o consumo como as emissões de gases podem ser melhoradas através de uma melhor construção, um aumento da eficiência energética e também uma melhor conservação da energia [3].

### 2.1. Consumo energético Mundial

Em termos mundiais a situação energética está sempre em mudança, tanto devido à economia ligada ao aumento do consumo energético, como devido aos aspetos ambientais ligados à necessidade de diminuição de emissão dos gases de efeito de estufa. Neste tópico aborda-se como o consumo de energia no Mundo tem evoluído, como a energia é obtida e onde ela é preferencialmente consumida.

Como retratado no World Energy Outlook 2012 pela International Energy Agency (IEA), na figura 2.1 encontra-se uma previsão do consumo de energia final no mundo, em 2020 e em 2035 de duas formas diferentes, segundo as novas políticas (de forma a cumprir os objetivos de eficiência energética e emissão dos gases com efeito de estufa e iniciativas dadas pela G-20 e Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC)) e segundo uma perspetiva de um mundo eficiente (considerando que todos os investimentos economicamente viáveis na área da eficiência energética sejam realizados).

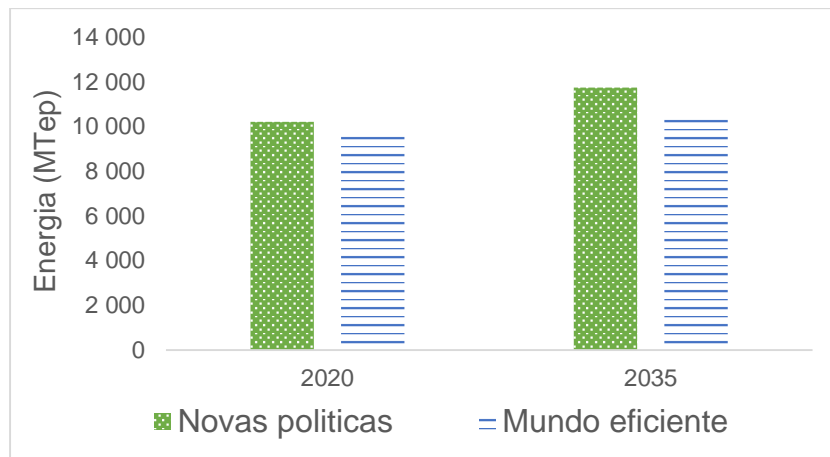


Figura 2.1 - Consumo total de energia final no mundo segundo duas políticas diferentes. Adaptado de [4].

Como se pode verificar pela figura 2.1 o consumo total de energia no mundo tende a aumentar, no entanto, se todos os investimentos economicamente viáveis no que diz respeito à eficiência energética fossem realizados o consumo de energia em 2035 reduziria de 11750 Mtep (considerando as novas políticas definidas para cumprir os objetivos de eficiência energética dadas pela G-20 e Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC)) para 10363 Mtep. Assim percebe-se que é necessário cada vez mais investir nos projetos economicamente viáveis na área da eficiência energética.

Na figura 2.2 encontra-se a distribuição das principais fontes de energia utilizadas mundialmente para os anos de 1990, 2010 e 2015 e faz-se uma projeção para os anos seguintes até 2035.

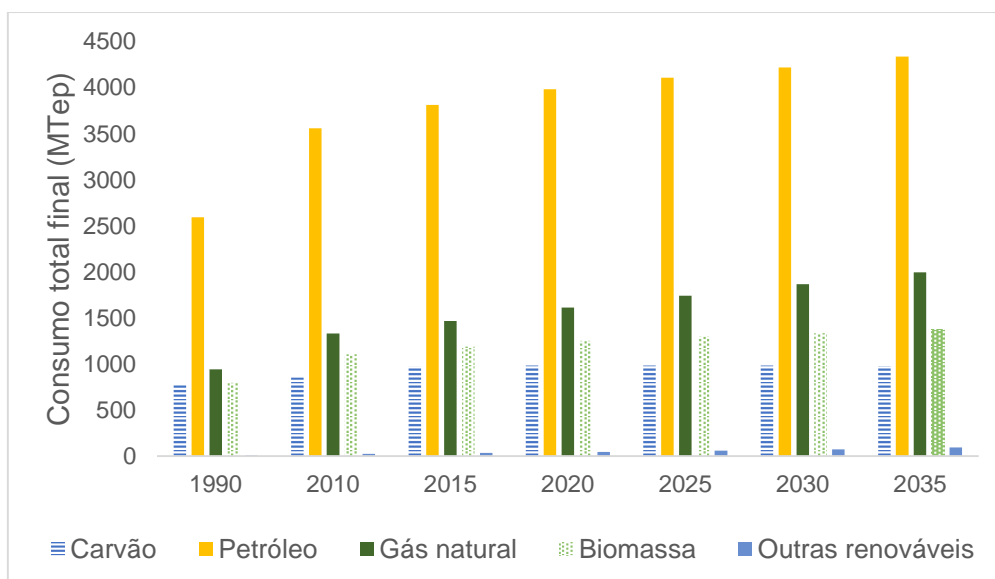


Figura 2.2 - Relação entre os vários tipos de obtenção de energia relativamente à energia final consumida no mundo, segundo as novas políticas. Adaptado de [4].

De acordo com a figura 2.2 a principal fonte de obtenção de energia é e continuará a ser o petróleo, uma vez que tende a aumentar com o aumento do consumo de energia. As fontes de energia renováveis (a energia solar, a eólica, a hídrica, entre outras, designada na figura por *outras renováveis*) têm aumentado o seu contributo e prevê-se que continue a aumentar, no entanto é ainda uma baixa percentagem quando comparado com os outros tipos de obtenção de energia, estimando-se representar cerca de 0,8 % do total em 2035. Já a obtenção de energia através do carvão mantém-se praticamente constante ao longo dos anos, enquanto a obtenção através do gás natural e da biomassa aumenta com o aumento do consumo de energia.

Na figura 2.3 está representada a distribuição do consumo de energia por setores para os anos de 1990, 2010 e 2015 e faz-se uma projeção para os anos seguintes até 2035.

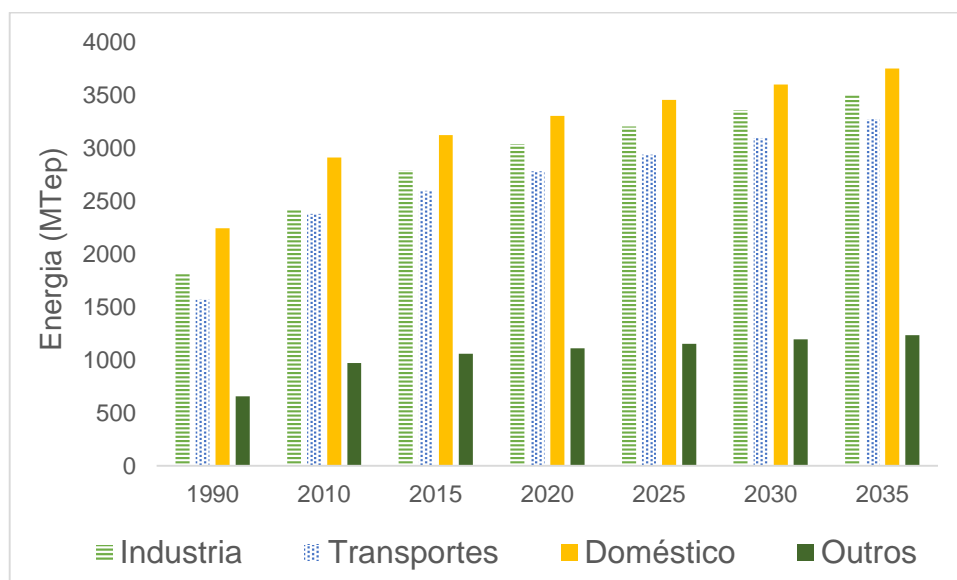


Figura 2.3 - Relação entre os vários sectores relativamente ao consumo total de energia final, segundo as novas políticas. Adaptado de [4].

Com a figura 2.3 conclui-se que o setor mais consumidor de energia é o doméstico seguindo-se o da indústria e o dos transportes, sendo que isto já acontece desde 1990 e prevê-se que o mesmo aconteça até 2035, estando nesse ano previsto atingir os valores de 32% para o setor doméstico, 29% para o setor da indústria e 27% para o setor dos transportes.

## 2.2. Consumo energético em Portugal

Neste subcapítulo são apresentados os consumos de energia, no entanto referentes a Portugal.

Na figura 2.4 estão apresentados o consumo de energia primária (petróleo, gás natural, carvão, urânio, lenha, etc.) e o consumo de energia final que engloba o consumo de energia primária de forma direta e o consumo de energia secundária (gasóleo, gasolina, eletricidade, etc.).

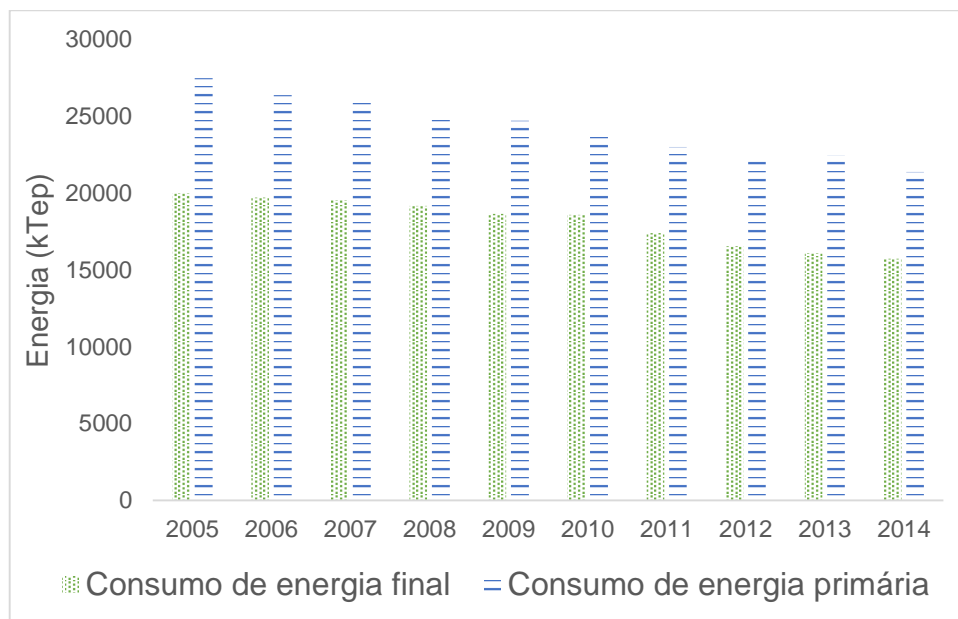


Figura 2.4 - Evolução do consumo total de energia primária e de energia final em Portugal. Adaptado de [5].

Como se observa na figura 2.4 os consumos têm vindo a diminuir em Portugal desde 2005 até 2014. Em percentagem o consumo de energia primária diminuiu cerca de 22 % e o consumo de energia final diminuiu cerca de 21 %, durante esse período (2005 a 2014).

Na figura 2.5 está representada a distribuição das várias fontes de obtenção de energia utilizadas na produção da energia final consumida no ano de 2014.

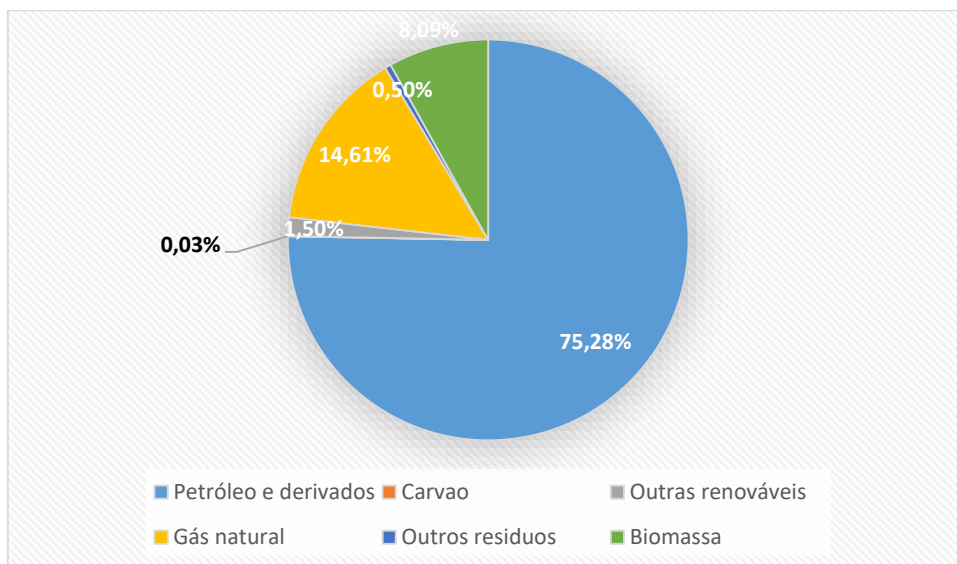


Figura 2.5 – Relação entre os vários tipos de obtenção de energia relativamente à energia final consumida em Portugal no ano de 2014. Adaptado de [5].

Como se verifica na figura 2.5, a principal fonte de obtenção de energia utilizada em 2014 foi o petróleo com 75,28 %. O gás natural e a biomassa representam cerca de 14,61 e 8,09 % respetivamente. As fontes renováveis (solar térmico, calor geotérmico e outros resíduos renováveis) estão na figura representadas como outras renováveis e representam 1,5 % do total. E existem duas fontes com valores muito baixos quando comparados com os valores das outras, sendo elas o carvão com 0,03 % e os outros resíduos com 0,5 %.

Na figura 2.6 está representada a relação do consumo de energia em Portugal nos vários setores.

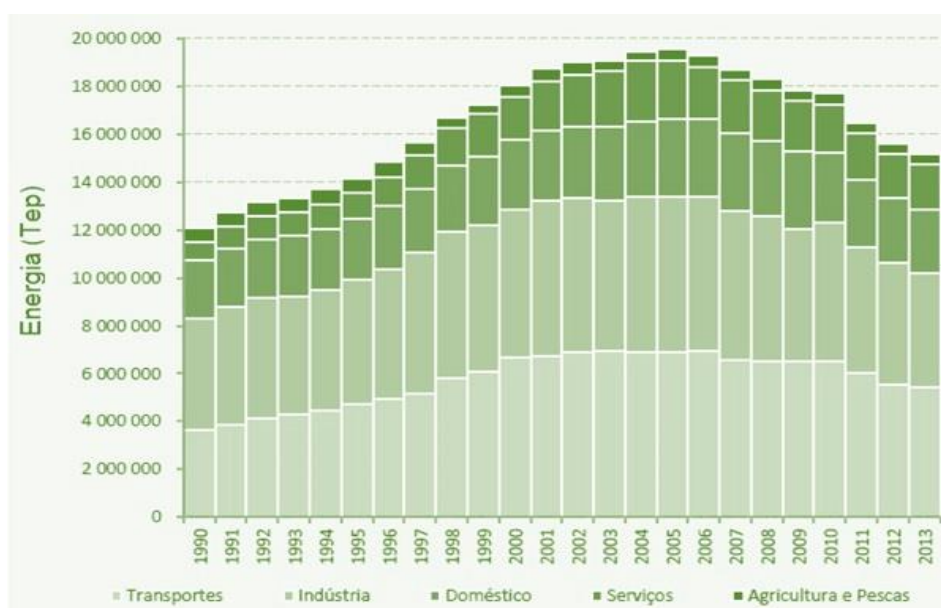


Figura 2.6 - Relação entre os vários sectores relativamente ao consumo total de energia final em Portugal [6].

Como se verifica na figura 2.6, o setor que mais energia final consome é o setor dos transportes, seguindo-se o da indústria, o doméstico e o dos serviços e por último o setor menos consumidor de energia que é o setor da agricultura e pescas. A distribuição do consumo de energia por setor (em termos de percentagem) tem-se mantido praticamente constante desde 1990 até 2013. Em termos totais o consumo aumentou até 2005, sendo que a partir daí o consumo diminuiu até 2013.

## 2.3. Energia reativa

Na indústria, alguns equipamentos elétricos necessitam, para poderem trabalhar, de uma forma de energia elétrica que não produz trabalho, a qual se dá o nome de energia reativa. Os equipamentos que mais necessitam deste tipo de energia são os motores elétricos, transformadores e máquinas para soldadura elétrica, balastros e fornos de indução. No caso dos motores elétricos quando este está em funcionamento sem carga consome quase exclusivamente energia reativa, quando aplicada carga inicia o consumo de energia ativa, mantendo-se aproximadamente constante o consumo de energia reativa [1].

Quanto à relação entre a energia ativa e a energia reativa, esta pode ser representada através dum triângulo retângulo como representado na figura 2.7. A energia ativa é a energia que é convertida em trabalho, sendo que a energia reativa é a energia que alguns equipamentos referidos anteriormente necessitam para que a energia ativa origine trabalho, sendo a hipotenusa do triângulo a potência aparente [1].

O ângulo desse triângulo será  $\phi$  e quanto menor for esse valor, mais próximo do ideal, ou seja, mais próximo de 1 será o fator de potência ( $\cos(\phi)$ ). De forma a diminuir o  $\phi$  utiliza-se condensadores para criar artificialmente uma potência reativa de sinal contrário, compensando assim esta energia anulando o seu efeito para fora da fábrica [1].

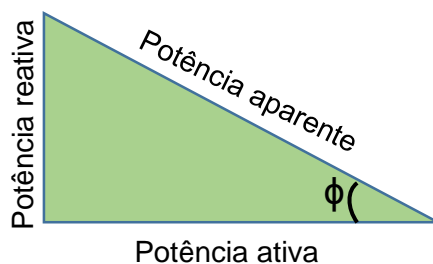


Figura 2.7 – Representação da relação entre a energia ativa e a energia reativa [1].

Os principais problemas que surgem devido ao consumo excessivo de energia reativa são [1]:

- **Aumento das perdas na rede**

Para uma potência ativa constante as perdas na linha variam em função do fator de potência conforme se representa na figura 2.8. Quando se varia o valor do  $\text{Cos}(\phi)=0,70$  para  $\text{Cos}(\phi)=0,93$  as perdas na linha reduzem-se para metade.

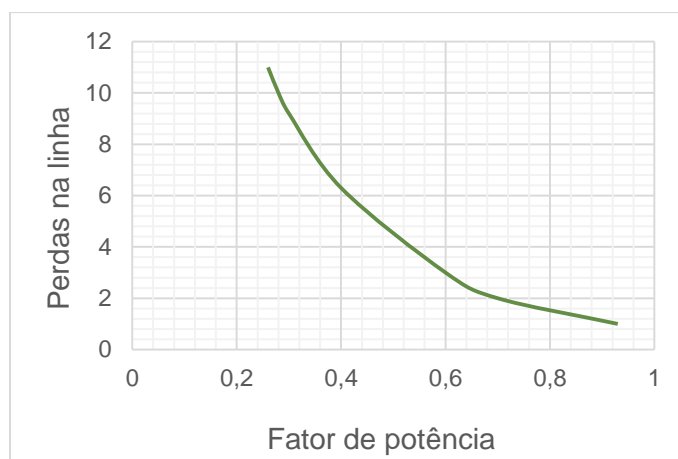


Figura 2.8 - Perdas na linha em função do fator de potência [1].

- **Redução da vida útil dos equipamentos**

Devido à energia reativa, os equipamentos vão sofrer frequentemente sobrecargas o que vai provocar o seu aquecimento excessivo, diminuindo a sua vida útil e até podendo interferir com a segurança das instalações.

- **Penalizações tarifárias**

A empresa produtora de energia necessita de um investimento adicional para a produção e distribuição da energia reativa de forma a satisfazer os pedidos dos clientes, criando assim tarifários mais elevados para os consumidores.

- **Substituição da capacidade instalada**

No caso de ser necessário adquirir outros equipamentos, ou seja, aumentar o número de equipamentos em funcionamento, a capacidade instalada terá de aumentar mais do que o necessário se o fator de potência for baixo, o que trará uns custos desnecessários com a potência contratada que não se teriam se o fator de potência fosse 1.

- **Cabos de maior secção**

De forma a transportar a potência ativa com o mínimo de perdas nos condutores é necessário utilizar cabos com uma secção tanto maior quanto menor for o fator de potência.

## 2.4. Auditorias energéticas

Auditoria energética é uma forma de descobrir onde é a energia realmente utilizada, quando ela é utilizada e como é utilizada, descobrindo assim onde estão a ocorrer desperdícios para posteriormente solucionar. Através duma auditoria energética diminui-se a energia utilizada sem afetar a produção, apenas atuando nos desperdícios de energia que não são necessários para o processo, utilizando assim a energia de uma forma mais eficaz. Para uma auditoria ser eficaz é preciso ser desenvolvida de uma forma sequencial, pela ordem correta [1].

Esta ordem consiste nas quatro fases seguintes [1]:

- **Planeamento**

Nesta fase deve-se começar por reunir alguma informação acerca da empresa, para tal é importante fazer uma visita prévia às instalações, conseguindo assim prever qual a duração da auditoria e o equipamento de medida necessário. Também será necessário reunir as faturas energéticas da empresa e identificar a existência ou não de pontos de medição.

- **Trabalho de campo**

Uma auditoria energética pressupõe um conhecimento detalhado dos consumos de energia da instalação auditada e de cada um dos equipamentos que a constituem. Então terá de se começar por fazer todas as medições necessárias, de forma a possibilitar a economia de energia através da análise dos equipamentos mais consumidores de energia. Será também necessário o auditor familiarizar-se com o processo de fabrico e a tecnologia envolvida.

Normalmente as empresas não apresentam instrumentação de medida adequada à realização de medições e registos necessários, tornando-se então obrigatório o uso de instrumentos de medida portáteis. Também se deve recolher toda a informação necessária para fazer o balanço de energia e massa aos equipamentos mais consumidores de energia.

- **Tratamento da informação**

Após o trabalho de campo deverá ser organizada toda a informação recolhida ao longo das duas fases anteriores, sendo aqui necessário calcular indicadores entre outros fatores para permitir uma avaliação rigorosa acerca do desempenho energético da instalação. Deverão também ser realizados os cálculos dos consumos específicos de energia por equipamento, por produto, por sector e o global da instalação.

O consumo específico de energia, se possível, deve ser comparado com valores de consumo específico de referência para a atividade em causa. Quando detetadas as situações de má utilização de energia, o auditor estudará as melhores formas possíveis para as corrigir. Deverá ser realizada uma análise técnico-económica a todas as soluções encontradas e respetiva poupança de energia com a sua implementação.

- **Elaboração do relatório final**

Com a conclusão das três etapas anteriores torna-se então necessário proceder à realização do relatório, onde estará organizada toda a informação recolhida, a análise à situação energética da empresa, as anomalias encontradas e as respetivas soluções encontradas para as diminuir ou mesmo eliminar. Este relatório deverá estar organizado e escrito de uma forma clara e concisa tudo que seja relevante quanto à situação energética da empresa, para os gestores da empresa obterem uma melhor compreensão da mesma. A auditoria energética é o primeiro passo para a implementação de um processo contínuo de gestão de energia.



### 3. A FÁBRICA E RESPECTIVA ANÁLISE

Neste capítulo serão abordados vários aspetos relacionados com a empresa, análise à produção, análise ao consumo e o processo de produção. Neste capítulo também vai ser apresentado o consumo e o custo específico médio relativo ao ano 2015, este é um valor médio uma vez que os consumos e os custos específicos variam consoante o produto e não havia dados necessários para o cálculo do custo específico por produto.

#### 3.1. Processo produtivo e equipamento principal

A fábrica tem como base a produção de quatro tipos de produtos: tintas plásticas, vernizes, esmaltes e diluentes.

A empresa labora 6 dias por semana. De segunda a sexta-feira produz durante as 24 horas do dia, estando dividida a produção em três turnos, das 8:30 até às 17:30 horas, das 14:00 até às 23:00 horas e das 23:00 até as 8:00 horas. Ao sábado apenas funciona das 8:30 até às 17:30 e apenas na produção de tintas plásticas. Os serviços administrativos estão em funcionamento entre as 9:00 e as 18:00 horas durante os dias da semana.

A zona de produção está dividida em 3 secções: a secção das tintas plásticas, a secção dos vernizes e a secção dos esmaltes. Os diluentes são produzidos na secção dos vernizes.

A instalação industrial consome basicamente energia elétrica, desde as zonas de produção até às zonas de apoio como a logística, os serviços e a manutenção

O processo de produção nas várias secções (tintas plásticas, vernizes, esmaltes e diluentes) passa por várias etapas conforme se mostra na figura 3.1, não sendo necessário por vezes a afinação da cor em todos os produtos.

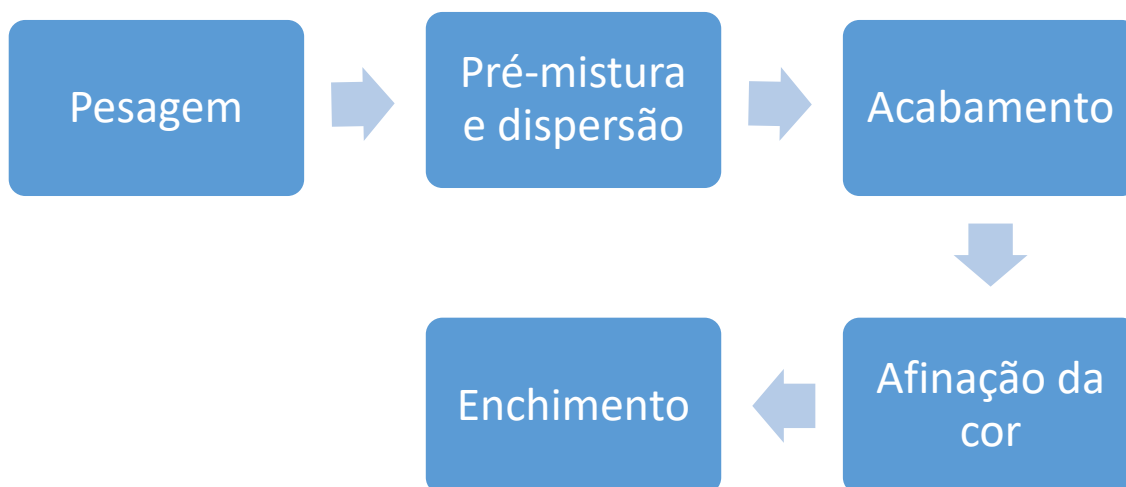


Figura 3.1 - Etapas do processo de produção de tintas.

Na etapa da pesagem são pesadas as matérias-primas para as cubas consoante o tipo e a quantidade de tinta/verniz/esmalte/diluyente a fabricar. Após esta pesagem, é iniciada a pré-mistura e a dispersão num sistema de agitação constituído por um veio acoplado a um (rotor de mistura) e a um motor eléctrico. No caso da produção de esmaltes e vernizes, alguns necessitam de passar por um moinho de microesferas para obter a moagem desejada. Seguidamente dá-se início ao acabamento, onde são adicionados os restantes solventes e aditivos em falta. Após um tempo de mistura é retirada uma amostra para o laboratório onde se controla a qualidade com a medição de vários parâmetros, tais como, a viscosidade, o pH, o grau de moagem, etc. Na etapa da afinação da cor ajusta-se a cor quando a cor obtida no fabrico é diferente da cor que o cliente procura. Assim, utilizando corantes e um dispersor obtém-se a cor desejada. Após aprovação do produto pelo laboratório dá-se início à filtração, seguida do processo de enchimento das embalagens.

Os equipamentos que maior quantidade de energia consomem, nestes processos, são os dispersores e os moinhos. Existem também dois ventiladores, que proporcionam a exatidão necessária junto aos diversos dispersores como forma de melhorarem a qualidade do ar interior da nave industrial, e dois compressores que servem de apoio aos vários equipamentos que necessitam de ar comprimido. Normalmente a energia consumida nos compressores representa uma grande fração da energia consumida nas empresas.

## 3.2. Análise à produção

A produção total da empresa no ano de 2015 foi de 6559 toneladas, estando divididas da forma representada na figura 3.2.

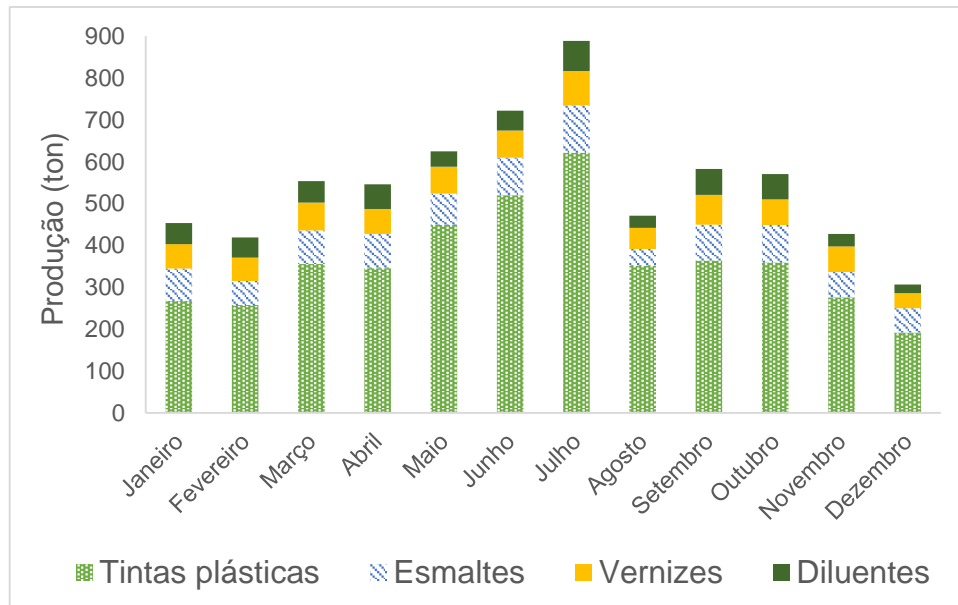


Figura 3.2 - Produção da empresa ao longo do ano 2015, dos vários produtos.

Como verificado na figura 3.2, a principal produção da fábrica são as tintas plásticas, sendo os diluentes os que se produzem em menor quantidade. Os meses com maior produção são os meses de Julho, Junho e Maio, e os que apresentam menor produção são os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro. Estas variações na produção justificam-se com o facto de as condições climatéricas serem mais favoráveis para a aplicação de tintas entre a primavera e o verão e serem menos favoráveis entre o outono e o inverno. O mês de Agosto apresenta valores de produção mais baixos pois a fábrica fecha durante quinze dias para férias.



## 4. LEVANTAMENTO ENERGÉTICO

Neste capítulo apresenta-se o levantamento dos dados das faturas relativas ao ano de 2015 e os consumos medidos no ano de 2016 nos vários equipamentos.

### 4.1. Análise dos consumos e custos de energia elétrica globais em 2015

Os consumos e custos representados neste tópico dizem respeito ao ano de 2015. A tarifa contratada em 2015 era uma tarifa indexada em que o preço da energia variava consoante o preço de venda de energia do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE). Esta tarifa apresentava também a divisão entre os períodos horários ponta, cheias, vazio e supervazio (ver figura 4.1). Em 2016 a empresa passou a contratar a energia com base numa tarifa fixa, sendo esta de média tensão com o ciclo semanal opcional, estando também os períodos horários relativos a esta tarifa representados na figura 4.1.

	horário de Inverno	horário de Verão
segunda a sexta		
ponta	das 17:00 às 22:00	das 14:00 às 17:00
cheias	das 00:00 às 00:30 das 07:30 às 17:00 das 22:00 às 24:00	das 00:00 às 00:30 das 07:30 às 14:00 das 17:00 às 24:00
vazio	das 00:30 às 02:00 das 06:00 às 07:30	das 00:30 às 02:00 das 06:00 às 07:30
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00
sábados		
cheias	das 10:30 às 12:30 das 17:30 às 22:30	das 10:00 às 13:30 das 19:30 às 23:00
vazio	das 00:00 às 03:00 das 07:00 às 10:30 das 12:30 às 17:30 das 22:30 às 24:00	das 00:00 às 03:30 das 07:30 às 10:00 das 13:30 às 19:30 das 23:00 às 24:00
supervazio	das 03:00 às 07:00	das 03:30 às 07:30
domingos		
vazio	das 00:00 às 04:00 das 08:00 às 24:00	das 00:00 às 04:00 das 08:00 às 24:00
supervazio	das 04:00 às 08:00	das 04:00 às 08:00

Figura 4.1 - Períodos horários segundo o ciclo semanal opcional.

Na figura 4.2 estão representados os consumos de energia ativa relativos aos diferentes horários verificados ao longo do ano de 2015. Estes valores foram obtidos com base nas faturas de energia elétrica da empresa fornecedora (IBERDROLA).

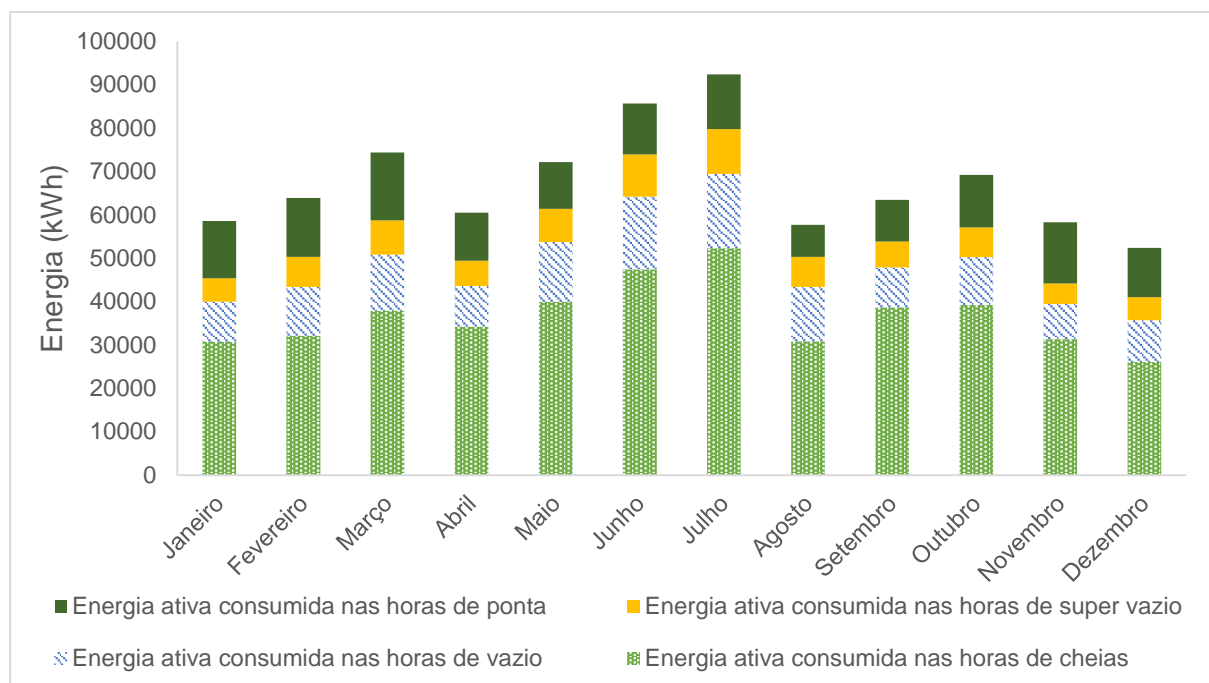


Figura 4.2 - Consumos de energia ativa nos vários períodos horários ao longo do ano 2015.

Como verificado na figura 4.2, a energia ativa consumida nas horas de cheia é a que apresenta a maior parte dos consumos de energia, também devido a esta dizer respeito a metade do dia como podemos verificar pela figura 4.1. Os meses que apresentam maior consumo de energia são junho e julho por serem os meses que apresentam maior produção. Quando possível a energia que é consumida nas horas de ponta, deve ser alterada para outro período horário, uma vez que os períodos de vazio, super vazio e cheias apresentam menores custos. Além de que a energia consumida nas horas de ponta também está diretamente relacionada ao valor da potência em horas de ponta devendo-se então ter este valor em conta quando comparado com os outros períodos horários.

Na figura 4.3 estão representados os custos com a energia elétrica consumida ao longo do ano de 2015. Estes custos foram calculados com base no tarifário contratado em 2015 (tarifário indexado).

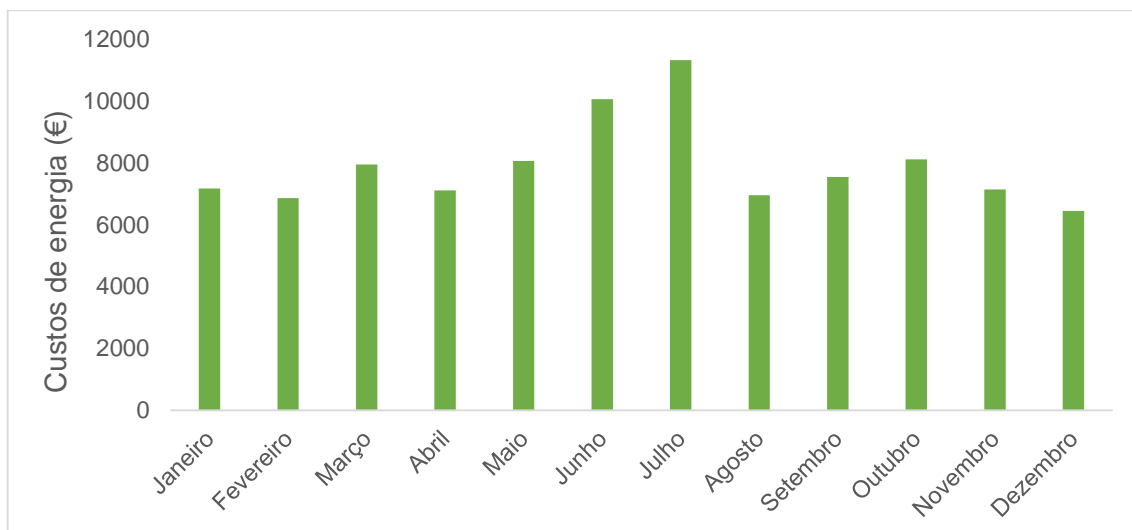


Figura 4.3 - Custos mensais s/IVA com a energia relativos ao ano de 2015.

Como se observa na figura 4.3 os meses de junho e julho são os que apresentam maiores custos para a empresa tal como nos consumos, sendo a elevada produção o principal responsável.

Normalmente com o aumento do consumo, há um aumento dos custos associados com a energia, no entanto os preços no ano 2015 variavam segundo um mercado, tornando-os muito inconstantes. Assim de janeiro para fevereiro observou-se um aumento do consumo de energia, mas ao mesmo tempo uma grande diminuição no preço da energia. Assim os consumos de energia aumentaram mas os custos relativamente a esta entre esses dois meses diminuíram.

Na figura 4.4 encontra-se a repartição dos custos com a energia elétrica (energia ativa, reativa, potencia contratada, potência em horas de ponta assim como taxa de audiovisuais e imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP) no mês de julho de 2015, de acordo com plano tarifário.

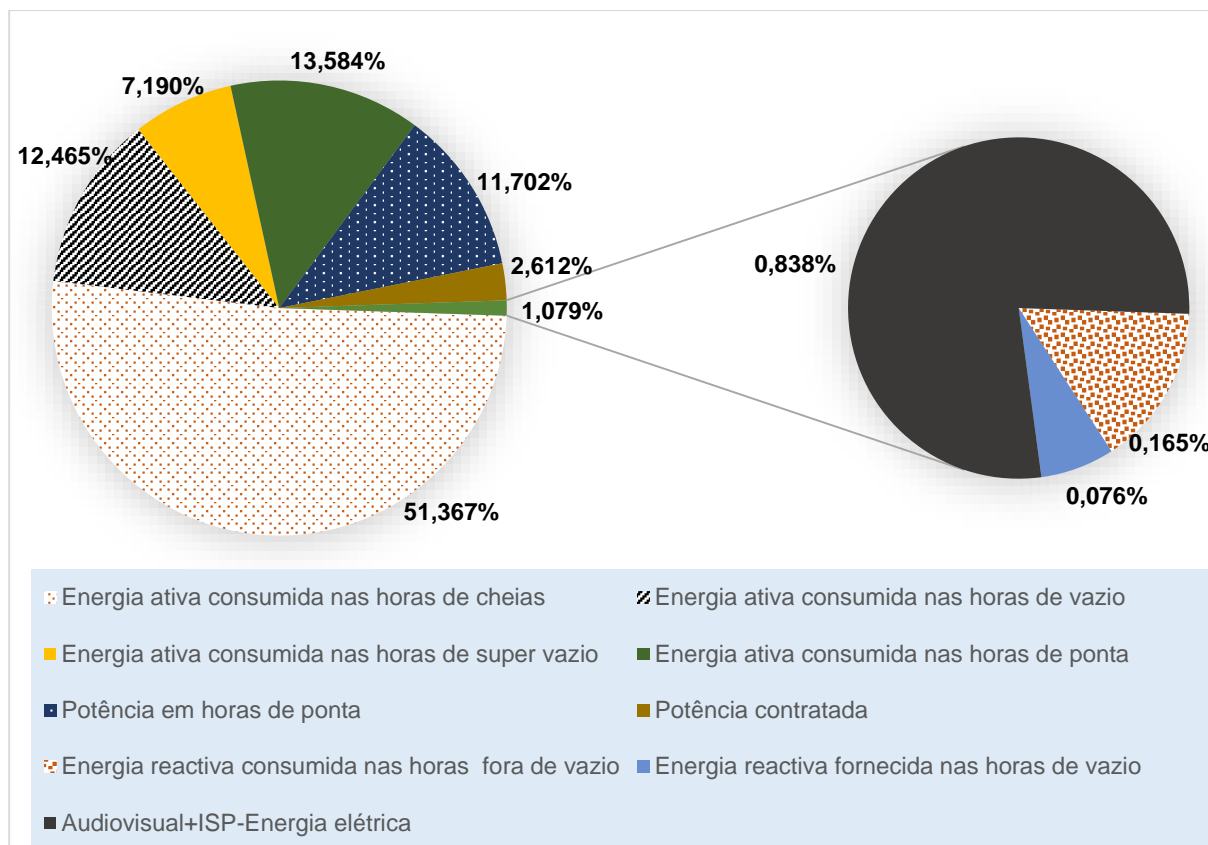


Figura 4.4 - Repartição dos custos da energia do mês de julho do ano de 2015.

A energia ativa consumida diz respeito à energia ativa consumida no mês de Julho, em cada período horário (horas de ponta, cheia, vazio e supervazio).

A potência em horas de ponta é calculada dividindo o consumo de energia ativa em horas de ponta pelo número de horas de ponta do mês (Julho). A potência contratada diz respeito à potência necessária para que os equipamentos possam funcionar em simultâneo, não podendo esta ser inferior a 50% da potência instalada, no caso de ser superior o valor é calculado com base no valor máximo da potência ativa média registada num intervalo de 15 minutos durante os 12 meses anteriores. Este valor não tem sido alterado desde agosto de 2015.

A energia reativa consumida nas horas fora de vazio (horas de ponta, cheia) e a energia reativa fornecida nas horas de vazio (vazio e supervazio) diz respeito à energia reativa consumida e fornecida pelos equipamentos, no entanto devido à empresa possuir uma bateria de condensadores que fornece aproximadamente toda a energia reativa necessária para a empresa, o consumo de energia reativa da rede é muito baixo.

O imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP) que está na mesma parcela do audiovisual é relativo à energia ativa total consumida nos quatro períodos horários.

Como se verifica na figura 4.4 a fração representativa de um maior custo para a empresa é a energia ativa em horas cheias, representando cerca de 51 %.

Relativamente à energia ativa consumida em horas de ponta (13,58%) deve-se ter em conta a potência em horas de ponta (11,70%) uma vez que este valor está relacionado com a energia ativa consumida em horas de ponta, sendo o valor do consumo em horas de ponta cerca de 25,3 % e não os 13,58 % da energia ativa consumida em horas de ponta.

Há três frações que representam cerca de 1 %, que são a energia reativa consumida nas horas fora de vazão, a energia reativa fornecida nas horas de vazão e a taxa audiovisual e imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP).

Na figura 4.5 representa-se a produção (toneladas de produto final fabricado) e o consumo específico de energia elétrica ao longo do ano de 2015.

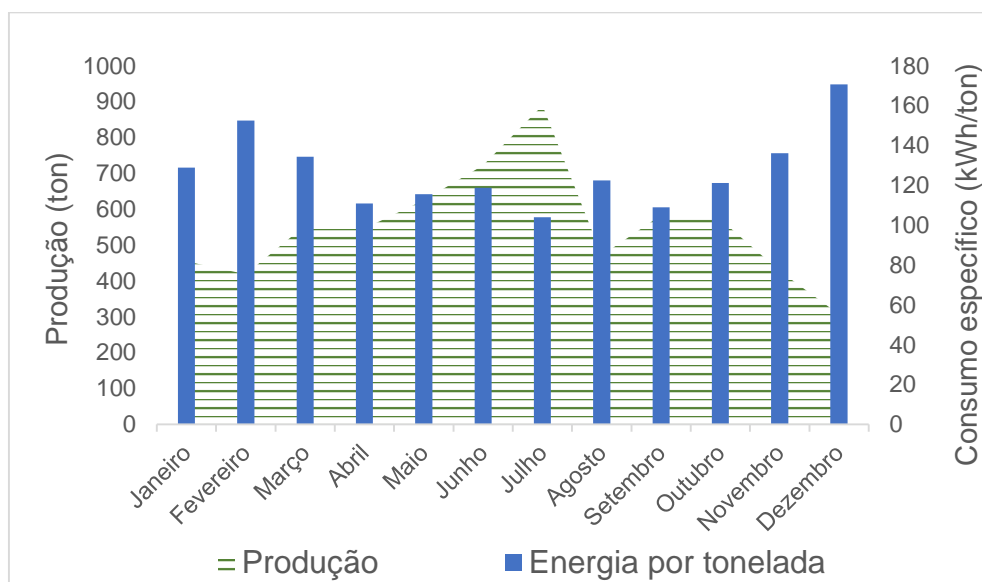


Figura 4.5 - Produção e consumo específico relativo ao ano 2015.

Pela análise da figura 4.5 observa-se que o consumo de energia elétrica tende a aumentar com a diminuição da produção, por exemplo no mês de julho a produção apresenta o valor mais elevado do ano de 2015, no entanto esse mesmo mês diz respeito ao valor mais baixo de consumo específico desse ano. Há algumas exceções, como a mudança de abril para maio em que tanto a produção como o consumo específico aumentaram, isto pode dever-se ao facto de alguns produtos consumirem mais energia do que outros, em que aumentando a produção desses produtos mais consumidores, irá aumentar o consumo específico médio.

Na figura 4.6 está representada a produção (toneladas de produto final fabricado) e o custo específico de energia elétrica ao longo do ano de 2015.

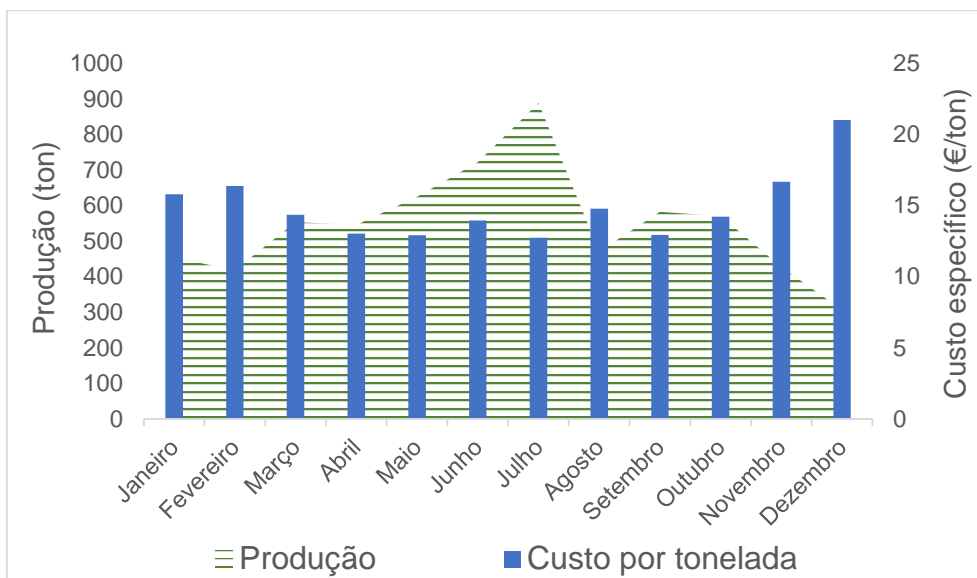


Figura 4.6 – Produção e custo específico relativo ao ano 2015.

Analisando a figura 4.6, pode-se tirar a conclusão que tal como no consumo específico quanto maior for a produção menor serão os custos específicos. No entanto aqui há algumas exceções tal como no consumo específico de setembro para outubro em que a produção é aproximadamente constante e o custo específico aumenta, estas diferenças podem dever-se ao facto dos preços da energia variarem de mês em mês ou até devido ao aumento da produção dos produtos mais consumidores tal como explicado na figura 4.5.

## 4.2. Consumos de energia elétrica por sector

Como já foi referido na empresa existem vários equipamentos, sendo este trabalho focado nos equipamentos mais consumidores de energia (dispersores de maior potência, moinhos, compressores e ventiladores), representados na tabela 4.1. Os equipamentos aos quais foram feitas medições estão realçados a negrito na mesma tabela. Em cada secção existem dispersores de fabrico (F) e dispersores de afinação (A), alguns deles são partilhados entre o fabrico e a afinação.

Tabela 4.1 - Equipamentos de produção de cada secção com as respetivas características.

Identificação	Localização	Tipo	Características principais
43,44	Esmaltes	Dispensor (f)	Motor:10Cv, 1425 rpm
38	Esmaltes	Dispensor (f)	Motor:10-13Cv, 725-1460 rpm
<b>30,31</b>	<b>Esmaltes</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:24Cv, 500-1500 rpm</b>
49	Esmaltes	Dispensor (a)	Motor:3,7-5,5Cv, 705-1405 rpm
42	Esmaltes	Dispensor (a)	Motor:5,5Cv, 980 rpm
45	Esmaltes	Dispensor (a)	Motor:5-5,5Cv, 730-1465 rpm
46	Esmaltes	Dispensor (a)	Motor:4-7,5Cv, 723-1435 rpm
<b>37</b>	<b>Esmaltes</b>	<b>Moinho de esferas vertical</b>	<b>Motor:180Cv, 1500rpm; Bomba:67,5Cv</b>
21,22,23,27	Esmaltes	Moinho de esferas vertical	Motor:10Cv, 1440 rpm; Bomba:1Cv
<b>67</b>	<b>Esmaltes</b>	<b>Moinho de esferas horizontal</b>	<b>Motor:32Cv, 1500 rpm; Bomba:1Cv</b>
34,35	Esmaltes	Moinho de esferas horizontal	Motor:25Cv, 1500 rpm; Bomba:1Cv
41	Esmaltes	Dispensor (a)	Motor:0,5Cv, 1500 rpm
<b>24</b>	<b>Esmaltes</b>	<b>Moinho de esferas horizontal</b>	<b>Motor:25Cv, 1500 rpm; Bomba:1Cv</b>
<b>32</b>	<b>Esmaltes</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:49Cv, 500-1500 rpm</b>
1	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:5,5-7,5Cv, 720-1415 rpm
2	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:3,7-7,5Cv, 705-1415 rpm
<b>14</b>	<b>Vernizes</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:50-75Cv; 740-990 rpm</b>
17	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:115Cv, 987 rpm
16	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:60Cv, 987 rpm
6,7,15	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:3-3,5Cv, 1430 rpm
5	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:2Cv, 720-1415 rpm
3,11	Vernizes	Moinho de esferas horizontal	Motor:25Cv; Bomba:1Cv
53	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:4-7,5Cv, 723-1435 rpm
<b>8</b>	<b>Vernizes</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:37-55Cv, 740-990 rpm</b>
4	Vernizes	Dispensor (f)	Motor:24Cv, 500-1500 rpm
<b>52</b>	<b>Plásticas</b>	<b>Dispensor (a,f)</b>	<b>Motor:24Cv, 500-1500 rpm</b>
62,55,66	Plásticas	Dispensor (f)	Motor:24Cv, 500-1500 rpm
<b>63</b>	<b>Plásticas</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:180Cv, 900 rpm</b>
<b>56</b>	<b>Plásticas</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:75Cv, 300-1000 rpm</b>
<b>50</b>	<b>Plásticas</b>	<b>Dispensor (f)</b>	<b>Motor:60-122Cv, 400-1200 rpm</b>
<b>51</b>	<b>Plásticas</b>	<b>Dispensor (a,f)</b>	<b>Motor:7,5-10Cv, 720-1465 rpm</b>
54	Plásticas	Dispensor (a)	Motor:0,5Cv, 1500 rpm
64	Plásticas	Dispensor (a)	Motor:4Cv, 1500 rpm
65	Plásticas	Dispensor (a)	Motor:2,5-4Cv, 1500 rpm

Equipamento Auxiliar	<b>Compressor1</b>	<b>Motor:100cv, P<sub>máxima</sub>:7,5bar, Capacidade: 226 l/s</b>
Equipamento Auxiliar	Compressor2	Motor:30cv, P <sub>máxima</sub> :10bar
Equipamento Auxiliar	<b>Ventilador1</b>	<b>Motor:20cv</b>
Equipamento Auxiliar	<b>Ventilador2</b>	<b>Motor:20cv</b>

Nesta seção serão abordados os consumos medidos nos setores. A fábrica possui uma bateria de condensadores sendo então esta bateria a que fornece a energia reativa necessária para a fábrica. O consumo de energia reativa da rede torna-se assim desprezável como se pode confirmar na figura 4.4 (energia reativa fora das horas de vazio corresponde a 0,165% e a energia reativa nas horas de vazio corresponde a 0,076%). Por este facto optou-se por analisar neste subcapítulo os consumos de energia ativa.

Para o preço da energia elétrica foi considerado 0,12 €/kWh para todos os equipamentos, devido a este valor ser o valor médio das faturas do ano de 2015 e início de 2016.

Para o cálculo do consumo médio de cada equipamento foi calculada a potência aparente para cada fase através da equação 4.1 e calculada a potência ativa utilizando a potência aparente como demonstrado na equação 4.2. Com a potência ativa para cada instante calculou-se a potência ativa média que corresponde à média de todos os valores de potência ativa. Esta média é representada como consumo médio nas tabelas deste capítulo.

$$P_{ap} = U \times I \quad (\text{equação 4.1})$$

Sendo as variáveis da equação 4.1:

$P_{ap}$  – Potência aparente (kVA)

$U$  – Tensão de fase (V)

$I$  – Corrente de fase (kA)

$$P = \Sigma P_{ap} \times \text{Cos } \phi \quad (\text{equação 4.2})$$

Sendo as variáveis da equação 4.2:

$P$  – Potência ativa (kW)

$\text{Cos } \phi$  – Fator de potência

## 4.2.1. Caracterização e análise dos consumos de energia no setor das tintas plásticas

Neste tópico serão apresentados os consumos dos equipamentos situados no setor das tintas plásticas aos quais foram feitas medições e a respetiva análise.

Na tabela 4.2 estão representados os fabricos que foram realizados no dispersor 63 (onde se produzem elevadas quantidades de tinta plástica) no período de 21 a 24 de Março de 2016.

Tabela 4.2 - Fabricos no dispersor 63 de dia 21 a 24 de Março.

Dispersor 63						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{kWh}{carga}$	$\frac{€}{carga}$	$\frac{€}{ton}$
A	9600,0	3,13	6,11	19,14	2,30	0,24
B	8400,0	25,93	5,93	153,78	18,45	2,20
C	8400,0	1,98	5,32	10,55	1,27	0,15
A	9600,0	2,23	7,82	17,46	2,10	0,22

Como se pode observar na tabela 4.2, foram fabricadas 2 cargas do produto A durante o tempo em que o medidor esteve instalado. O facto da segunda carga (tempo de funcionamento 2,23 h) apresentar um custo menor, quando comparado com o da primeira carga (tempo de funcionamento 3,13 h), deve-se à retirada do equipamento de medição (por razões de logística alheias ao processo) antes de se ter iniciado a fase de acabamento do produto. Se a medição fosse continuada até à fase final de produção os custos com a energia elétrica da segunda carga iriam ser superiores aos da primeira carga.

Relativamente ao produto B o equipamento esteve em funcionamento durante quase 26 horas, isto é explicado pelo facto de a produção ser iniciada com a falta de uma matéria-prima, implicando assim o funcionamento do dispersor até que essa matéria-prima chegasse. Devido ao começo do fabrico com a falta de uma matéria-prima o custo da energia por tonelada do produto B neste fabrico foi consideravelmente aumentado.

Verifica-se portanto que a produção da fábrica pode apresentar uma variabilidade no consumo de energia elétrica devido a problemas pontuais de produção que deverão ser evitados. Como foi o caso do que aconteceu com o produto B, assim em cada fabrico deve ser verificada a disponibilidade de todas as matérias-primas antes de este se iniciar.

O produto C apresenta um custo específico do consumo de energia baixo, de 0,15 €/ton.

Este dispersor (63) é um dos principais consumidores de energia relativamente aos equipamentos de produção (dispersores) uma vez que se trata do equipamento dedicado a produção de cargas mais elevadas (cerca de 10 toneladas) e com alta frequência de utilização. Apresentou em 4 dias de medição em contínuo um consumo de energia elétrica de 200,95 kWh que corresponde ao valor de 24,11 € (relativo às 4 cargas apresentadas na tabela 4.2). Este valor poderia ter sido bem menor caso não se tivesse verificado a ocorrência de uma anomalia esporádica (falta de uma matéria prima após inicio da produção).

No sentido de avaliar as diferenças existentes no consumo de energia elétrica de duas cargas do mesmo produto (trata-se de uma produção basicamente manual podendo haver diferenças pontuais de carga para carga) registaram-se e representaram-se graficamente na figura 4.7 os valores instantâneos da potência ativa ao longo do tempo de produção.

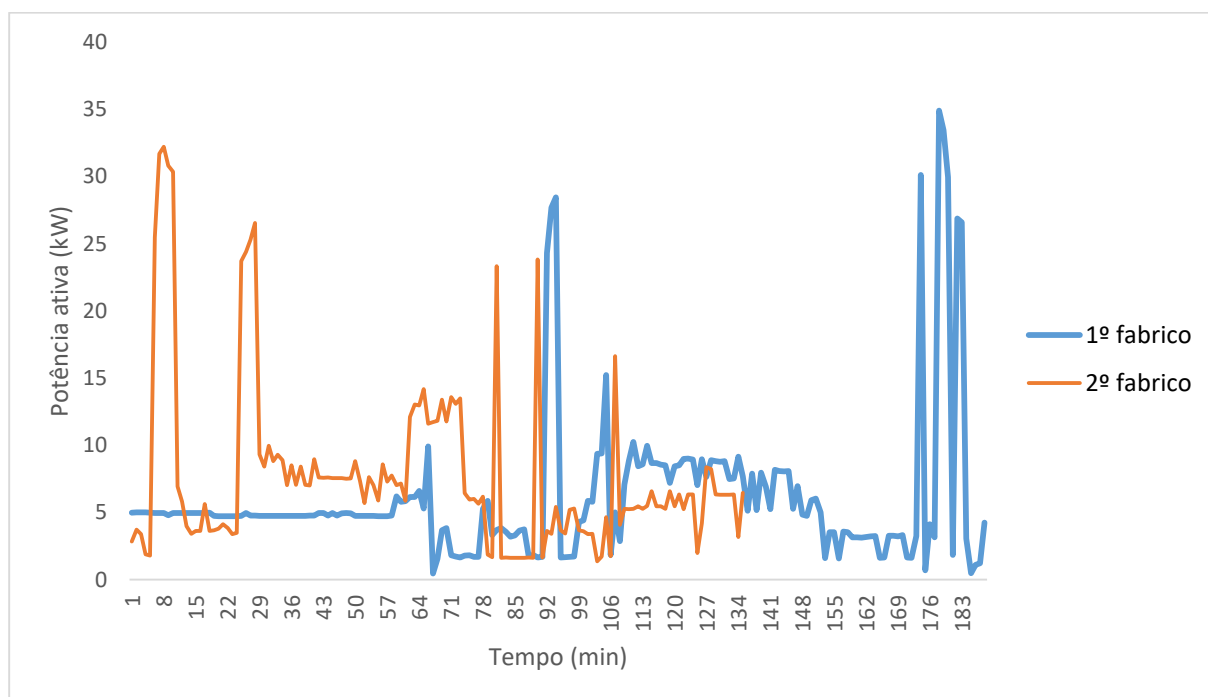


Figura 4.7 – Variação da potência ativa ao longo do tempo para os fabricos do produto A.

Relativamente a esta figura verifica-se que apesar de ser o fabrico do mesmo produto o seu comportamento apresenta algumas diferenças. Enquanto no 1º fabrico a potência é constante até cerca do minuto 60, no 2º fabrico esta apresenta uns picos no minuto 8 e no minuto 22 que representa o aumento da potência ativa. O 2º fabrico iniciou-se com uma

potência ativa mais baixa que o 1º fabrico até ao minuto 22 (excetuando o pico registado no minuto 8 para o 2º fabrico). Ao minuto 22 o 2º fabrico registou um aumento da potência ativa fazendo com que este se mantivesse superior ao do 1º fabrico até ao minuto 64. No minuto 64 ambos os fabricos apresentam um pico resultante da necessidade de aumentar a potência após a adição das cargas. As diferenças entre os dois fabricos podem ser explicadas pelo facto de não ser a mesma pessoa responsável pelo processo em cada caso. Este gráfico comprova que apesar das diferenças verificadas o comportamento é semelhante nos pontos essenciais do fabrico.

Na tabela 4.3 estão representados os fabricos que foram realizados no dispersor 66, (equipamento utilizado para o fabrico das quantidades mais pequenas) no período de 4 a 6 de Abril de 2016.

Tabela 4.3 - Fabricos no dispersor 66 de dia 4 a 6 de Abril.

Dispersor 66						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{kWh}{carga}$	$\frac{€}{carga}$	$\frac{€}{ton}$
D	150,0	1	5,31	5,31	0,64	4,25
E	600,0	0,75	5,79	4,34	0,52	0,87
F	1100,0	3,75	5,09	19,09	2,29	2,08
G	1400,0	1	7,47	7,47	0,90	0,64
H	800,0	1,5	6,28	9,42	1,13	1,41

Analisando a tabela 4.3 pode-se confirmar que os produtos fabricados por este dispersor apresentam um custo de energia consumida por tonelada mais elevado que os produtos fabricados no dispersor 63, chegando aos 4,25 €/ton no caso do produto *D*. O facto de se produzirem cargas menores (apenas 150 kg/carga, neste produto) impede a diluição do consumo de energia por quantidade produzida.

Observando o produto *F* e o produto *H*, verifica-se que o produto *F* apresenta um custo de energia consumida mais elevado que o produto *H*, sendo respetivamente de 2,08 e 1,41 €/ton. Estes apresentam um consumo médio semelhante no entanto o produto *H* está em funcionamento metade do tempo do produto *F*, isto deve-se ao produto *F* necessitar de mais tempo para dispersar totalmente as cargas.

O produto *E* apresenta um custo específico de energia consumida de 0,87 €/ton e o produto *G* apresenta um custo de 0,64 €/ton.

Este dispersor (66) apresentou um consumo de energia elétrica de 45,63 kWh que corresponde ao valor de 5,48 € de consumo de energia durante os 3 dias em que se procederam às medições em contínuo (relativo às 5 cargas apresentadas na tabela 4.3).

Na tabela 4.4 estão representados os fabricos realizados no dispersor 56 no dia 9 e 11 de Abril de 2016. Este dispersor é utilizado para produções entre 3000 e 4000 kg de carga, (quantidades não possíveis de fabricar no dispersor 66 e quantidades demasiado baixas para fabricar no dispersor 63).

Tabela 4.4 - Fabricos no dispersor 56 de dia 9 e 11 de Abril.

Dispersor 56						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	kWh/carga	€/carga	€/ton
I	3650,0	1,5	35,24	52,86	6,34	1,74
J	3400,0	2,25	21,46	48,29	5,79	1,70
K	3350,0	2,25	9,98	22,46	2,69	0,80

Observando a tabela 4.4, verifica-se que este dispersor apresentou para o produto *I* e para o produto *J* um custo específico relativo ao consumo de energia de cerca de 1,70 €/ton.

No entanto o produto *K* apresentou um custo inferior a metade, à volta de 0,80 €/ton. Isto deve-se a este produto necessitar de um consumo médio inferior a metade dos dois produtos mencionados anteriormente uma vez que necessita de uma moderada velocidade de rotação da hélice para a dispersão das suas cargas.

Este dispersor (56) apresentou um consumo de energia elétrica de 123,60 kWh que corresponde ao valor de 14,83 € durante os 2 dias em que se procedeu à medição contínua (relativo às 3 cargas apresentadas na tabela 4.4).

Na tabela 4.5 estão representados os fabricos realizados no dispersor 50 nos dias 15, 16 e 18 de Abril de 2016. Este dispersor está situado no setor das tintas plásticas, no entanto é partilhado com o setor dos esmaltes. Este é móvel e funciona em 4 cubas sendo 2 utilizadas para cada setor.

Tabela 4.5 - Fabricos no dispersor 50 de dia 15, 16 e 18 de Abril.

Dispersor 50						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
L	3500,0	2,92	9,66	28,18	3,38	0,97
M	3800,0	1,42	7,72	10,94	1,31	0,35
N	2700,0	1,42	8,39	11,89	1,43	0,53
O	3200,0	1,42	17,47	24,75	2,97	0,93

Verifica-se que o produto *L* (esmalte) fabricado neste dispersor apresentou um custo específico de energia consumida de 0,97 €/ton, valor este semelhante ao do produto *O* (tinta plástica) que apesar de funcionar apenas metade do tempo da anterior, apresenta um consumo médio superior.

Os outros 2 fabricos do produto *N* (esmalte) e do produto *M* (tinta plástica) apresentam custos específicos de energia consumida de 0,53 €/ton e 0,35 €/ton respetivamente.

Este dispersor (50) apresentou um consumo de energia elétrica de 75,75 kWh que corresponde ao valor de 9,09 € em 3 dias de medições em contínuo (relativo às 4 cargas apresentadas na tabela 4.5).

Na figura 4.8 está representado o consumo de energia por tonelada de cada produto produzido no setor das tintas plásticas.

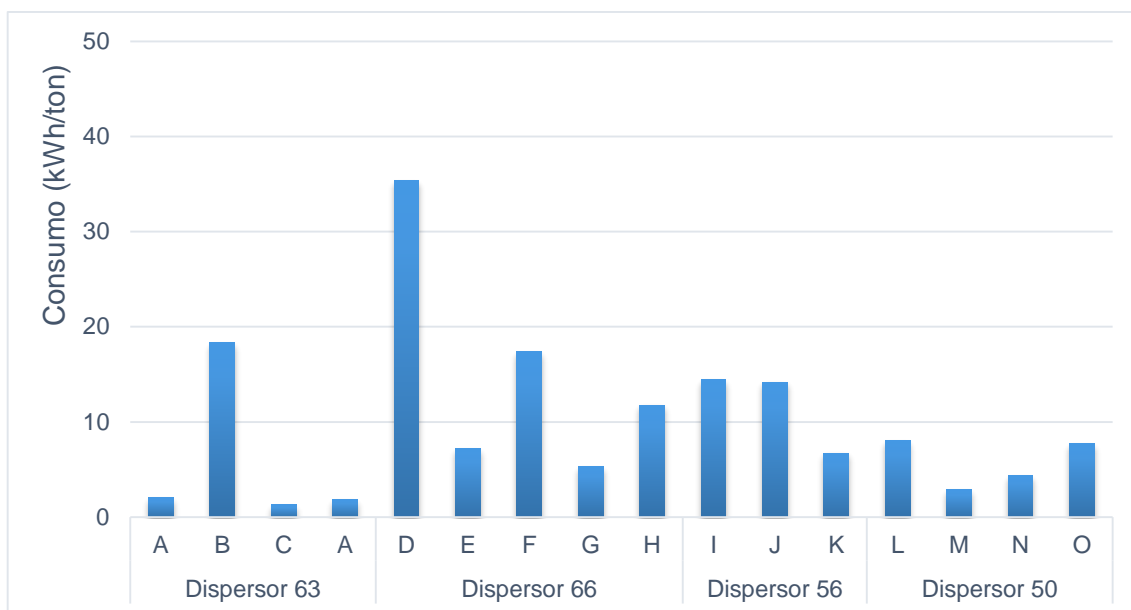


Figura 4.8 – Consumo de energia por tonelada relativo ao fabrico no setor das tintas plásticas.

Como foi constatado nas tabelas relativas a cada dispersor o dispersor que consome menos quantidade de energia por tonelada é o dispersor 63, à exceção do produto *B* ao qual faltou uma matéria-prima e foi necessário o dispersor estar em funcionamento muito mais tempo do que o necessário. Os dispersores mais consumidores são o dispersor 66 e o dispersor 56, dependendo do produto a fabricar. O dispersor 50 apresenta de forma geral uns consumos por tonelada mais baixos do que o dispersor 66 e o dispersor 56, e consumos mais elevados do que o dispersor 63. Os consumos elevados relativos ao dispersor 66 devem-se a este fabricar quantidades muito baixas quando comparado com os outros 3 dispersores (figura 4.8). Também se verifica que os produtos que mais energia consomem é o produto *D* e o produto *F*, sendo o produto menos consumidor de energia o produto *C*.

Na tabela 4.6 estão representadas as afinações das tintas plásticas realizadas no dispersor 52 no período de 20 a 21 de Abril de 2016. Este dispersor é utilizado para realizar afinações das tintas plásticas já produzidas. As tintas plásticas são produzidas com a cor branca, sempre que possível em grande escala, e de acordo com as solicitações do mercado são posteriormente afinadas para as características específicas, como por exemplo a cor.

Tabela 4.6 - Afições no dispersor 52 de dia 20 a 21 de Abril.

Dispersor 52						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
A Creme	1500,0	1,42	3,60	5,10	0,61	0,41
A Creme	1500,0	0,67	4,35	2,90	0,35	0,23
A Creme	1500,0	0,17	4,66	0,78	0,09	0,06
C Preta	800,0	0,42	3,91	1,63	0,20	0,24

Verifica-se pela tabela 4.6 que o custo da energia consumida associado à afinação do produto *A Creme* é de 0,41 €/ton. Este produto foi inicialmente fabricado como produto *A*, no dispersor 63, com um custo de consumo de energia de 0,24 €/ton (tabela 4.2). Estes valores indicam que os consumos de energia específica (por tonelada produto) no fabrico são geralmente inferiores aos consumos de energia específica na afinação. Estas diferenças podem ser justificadas apenas pelas diferenças na carga em cada uma das etapas (neste caso concreto 9600 kg no fabrico e 1500 kg na afinação) e não no valor de energia consumido por carga (que neste caso seria de 2,30 €/carga para o fabrico e um valor muito inferior para a afinação, 0,61€/carga). A fase de fabrico de tintas plásticas é composta normalmente na dispersão de diversos produtos em pó necessitando normalmente de mais tempo e maior potência de agitação quando comparada com a fase de afinação que só necessita de homogeneização. Relativamente à segunda e terceira afinação (do mesmo produto *A Creme*) constatou-se que já tinham sido iniciadas noutra dispersor e que as medidas registadas se referem apenas à fase em que estes produtos foram afinado com o dispersor 52 (correspondendo apenas a um período de 0,67h e de 0,17 h em vez das 1,42 h usadas na primeira afinação).

O produto *C Preta* que foi inicialmente fabricada como produto *C* no dispersor 63 (tabela 4.2), apresenta uns consumos específicos de energia na fase de fabrico menores aos consumos específicos de energia obtidos na fase de afinação, sendo de 0,15 €/ton para o fabrico e 0,24 €/ton para a afinação.

O consumo de energia elétrica em 2 dias de medição contínua para este dispersor (52) foi de 10,41 kWh que corresponde ao valor de 1,25 € (relativo às 4 cargas apresentadas na tabela 4.6).

Na tabela 4.7 estão representadas as afinações realizadas no dispersor 51 nos dias 22 e 26 de Abril de 2016. Nesta tabela apresentam-se também dois produtos (produto *P* e produto *Q*) que além de serem afinados são inicialmente fabricados neste dispersor.

Tabela 4.7 - Afições do dispensor 51 de dia 22 e 26 de Abril.

Dispensor 51						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
C Lilás	800,0	0,5	8,89	4,45	0,53	0,67
D Jade	230,0	0,83	6,29	5,24	0,63	2,73
C Creme	1500,0	0,17	6,79	1,13	0,14	0,09
P	176,0	0,33	8,20	2,73	0,33	1,86
Q	176,0	0,33	5,52	1,84	0,22	1,25

Comparativamente ao dispensor 52, este motor apresenta uma menor potência, apresentando no entanto a desvantagem de ser mais antigo e ter mais horas de funcionamento.

Observando o consumo da afinação do produto *C Preta* no dispensor 52 e do produto *C Lilás* no dispensor 51 (em ambos foram usadas cargas de 800 kg) confirma-se que apesar de o segundo dispensor (51) apresentar um motor com menor potência o custo por tonelada do produto *C Lilás* é superior ao dobro do custo por tonelada do produto *C Preta*. Não havendo razão nas diferenças de afinação do produto de ambas as tintas (incorporação de corante preto (0,42 h) ou lilás (0,5h) as diferenças no consumo de energia são basicamente atribuídas ao facto do dispensor ser mais antigo e com mais horas de funcionamento. A afinação do produto *C Creme* já tinha sido iniciada noutra dispensor.

O produto *D Jade* que foi afinada usando o produto *D* (tabela 4.3) como base (fabricada no dispensor 66) apresentou um consumo de energia específico no valor de 2,73 €/ton na fase de afinação de cor e de 4,25 €/ton na fase de fabrico. Verifica-se, neste caso, que a carga usada na fase de fabrico é menor que a carga usada na fase da afinação o que pode ser suficiente para justificar as diferenças verificadas no consumo específico de energia, aliás como se pode comprovar analisando o consumo de energia por carga, que é muito semelhante em ambas as fases (0,64 e 0,63 €/carga).

O produto *P* e o produto *Q* são fabricados e afinados no mesmo dispensor, no entanto a parte final do fabrico destes dois produtos (dispersão de areias) foi realizada noutra dispensor. Assim estes valores são inferiores aos consumos reais relativos a estes produtos.

O consumo de energia elétrica deste dispensor (51) em 2 dias de medição contínua foi de 15,39 kWh que corresponde ao valor de 1,85 € (relativo às 5 cargas apresentadas na tabela 4.7).

Na figura 4.9 está representado o consumo de energia por tonelada de cada produto respetivo à fase de afinação no setor das tintas plásticas. Neste gráfico foram excluídos os produtos em que não foram quantificados os consumos de energia totais usados pelo facto da fase de afinação ter iniciado noutra dispersor.

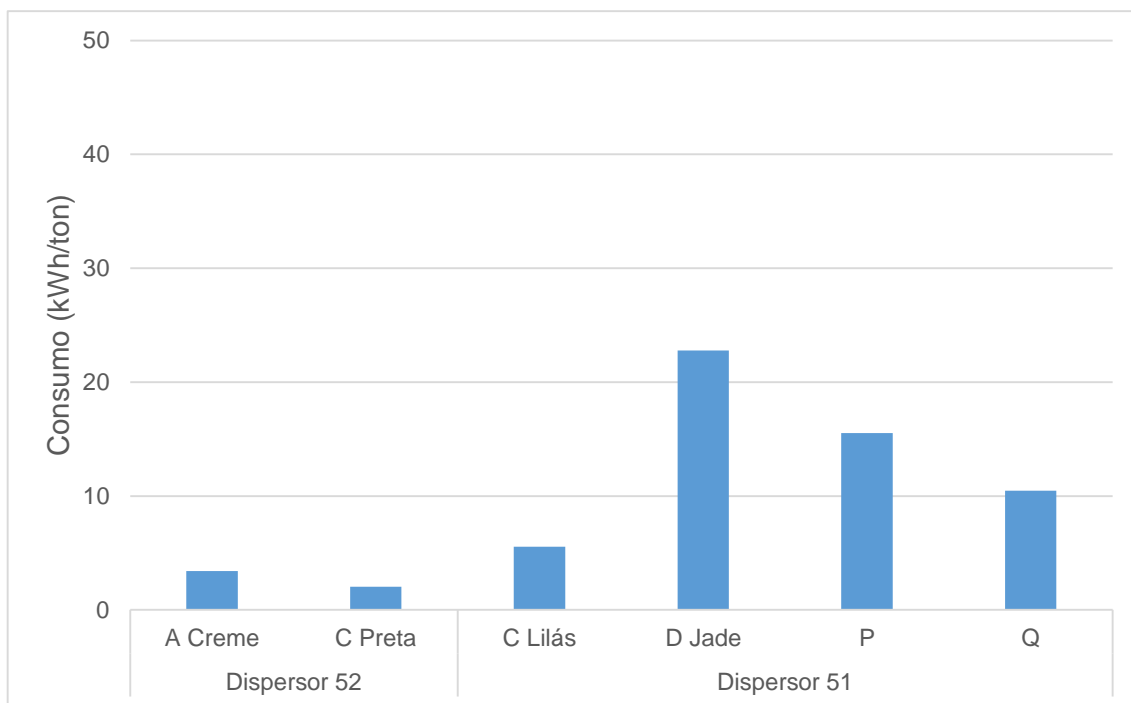


Figura 4.9 – Consumo por tonelada relativo às afinações no setor das tintas plásticas.

Como se pode verificar o dispersor 51 apresenta uns consumos mais elevados do que o dispersor 52 no que diz respeito às afinações. Relativamente ao produto mais consumidor em termos de afinações foi o produto *D Jade*, sendo o menos consumidor o produto *C Preta*.

#### 4.2.2. Caracterização e análise dos consumos de energia no setor dos esmaltes

Neste tópico serão apresentados os consumos de energia utilizada nos equipamentos situados no setor dos esmaltes aos quais foram feitas medições e respetiva análise.

Na tabela 4.8 estão representados os fabricos de esmaltes e alguns acertos de viscosidade realizados no dispersor 31 no período de 27 a 28 de Abril de 2016.

Tabela 4.8 - Fabricos no dispersor 31 de dia 27 a 28 de Abril.

Dispersor 31						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
R	1800,0	0,08	8,33	0,69	0,08	0,05
S	300,0	0,5	12,04	6,02	0,72	2,41
T Fosco Base Tr	300,0	0,25	6,92	1,73	0,21	0,69
U	1100,0	1,33	10,90	14,53	1,74	1,59
V	320,0	1,58	10,11	16,01	1,92	6,00
W	550,0	0,5	11,13	5,56	0,67	1,21
X	1100,0	2,08	10,66	22,21	2,66	2,42
T Base P	900,0	2,33	11,35	26,48	3,18	3,53

Alguns dos produtos apresentados na tabela 4.8 apenas se referem à etapa de acerto de viscosidade. Incluem-se neste grupo o produto *R* (duração de 0,08 h) e o produto *T Fosco Base TR* (duração de 0,25h).

O produto *S*, o produto *X* e o produto *T Base P* não necessitaram de passar pelo moinho pelo que os produtos foram considerados finalizados apenas com o uso do dispersor.

O produto *V* e o produto *W* foram dispersos passando de seguida pelo moinho e retornaram ao dispersor onde se adicionou 80 kg e 50 kg de aditivos respetivamente. Os valores apresentados na tabela não incluem a etapa de dispersão após a moagem.

O produto *U* também necessitou da etapa de moagem e de regressar ao dispersor. Os valores apresentados na tabela 4.8 para este produto apenas incluem a dispersão final após a etapa de moagem.

Os custos do consumo de energia por tonelada de produto são bastante elevados para o produto *V*, sendo os outros relativamente próximos entre eles.

O consumo de energia elétrica deste dispersor (31) em 2 dias de medição contínua foi de 93,23 kWh que corresponde ao valor de 11,19 € (relativo às 8 cargas apresentadas na tabela 4.8).

Na tabela 4.9 estão representados os fabricos dos esmaltes realizados no dispersor (32) no período de dia 4 a 5 de Maio de 2016. Este equipamento possui um motor de maior potência e é utilizado para produção de cargas maiores (cerca de 1500 kg).

Tabela 4.9 - Fabricos no dispersor 32 de dia 4 a 5 de Maio.

Dispersor 32						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
Y Cinzento	1300,0	2,08	7,03	14,65	1,76	1,35
Z	1100,0	1,92	6,45	12,36	1,48	1,35

Analisando a tabela 4.9 verifica-se que tanto o produto *Y Cinzento* como o produto *Z* apresentam um custo de energia consumida de 1,35 €/ton para a dispersão. No entanto o produto *Y Cinzento* necessita ainda de passar por um moinho de microesferas tornando o custo total da energia consumida na produção deste produto superior ao apresentado na tabela 4.9. Pelo contrário o produto *Z* é por fabrico direto, não necessitando de passagem pelo moinho, sendo o 1,35 €/ton o valor relativo ao custo da energia consumida no fabrico deste produto.

O consumo de energia elétrica deste dispersor (32) em 2 dias de medição contínua foi de 27,01 kWh que corresponde ao valor de 3,24 €. (relativo às 2 cargas apresentadas na tabela 4.9).

Na figura 4.10 está representado o consumo de energia por tonelada de cada produto respetivo ao fabrico no setor dos esmaltes. Neste gráfico foram excluídos os produtos em que apenas foram realizados acertos.

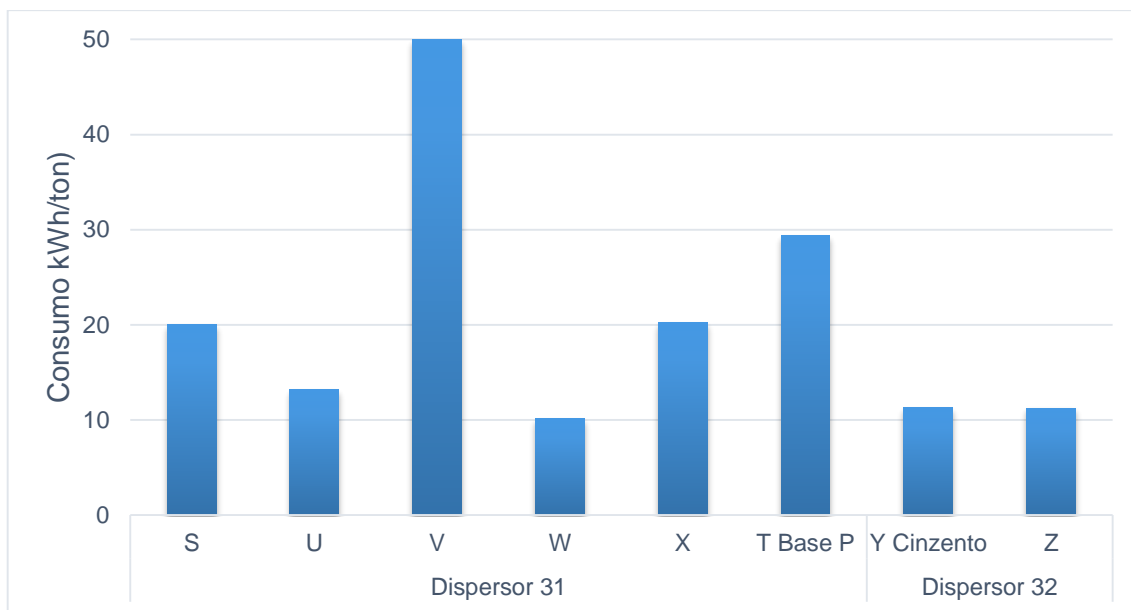


Figura 4.10 – Consumo por tonelada relativo ao fabrico no setor dos esmaltes.

Nesta figura pode se concluir que de forma geral o dispersor 32 é o menos consumidor. Este apresenta um consumo nos dois produtos fabricados à volta dos 10 kWh/ton, enquanto o dispersor 31 apresenta consumos entre os 10 kWh/ton e os 50 kWh/ton sendo apenas o produto *W* o único com consumo inferior aos produtos fabricados no dispersor 32. Estes menores consumos em alguns dos produtos devem-se ao facto de o dispersor 32 fabricar quantidades mais elevadas do que o dispersor 31, diluindo assim a energia consumida pela carga por mais toneladas fabricadas. Relativamente aos produtos, o produto *V* é o produto que mais energia consome por tonelada e pelo contrário, o *produto W* é o produto que menos energia consome por tonelada.

Na tabela 4.10 estão representadas as moagens dos esmaltes no moinho 67 (moinho dos brancos/incolores) no período de 10 a 12 de Maio de 2016. Este moinho é o mais recente que a empresa possui.

Nesta secção existem vários moinhos que podem ser agrupados em 4 tipos diferentes de moinhos.

Tabela 4.10 - Moagens no moinho 67 de dia 10 a 12 de Maio.

Moinho 67						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
U	700,0	2	6,27	12,54	1,50	2,15
W	440,0	1,17	6,61	7,71	0,93	2,10
AA	370,0	1,83	6,13	11,24	1,35	3,64
AB	50,0	0,42	5,85	2,44	0,29	5,85
AC	590,0	3,08	6,58	20,29	2,43	4,13
AD	450,0	1,33	6,32	8,43	1,01	2,25
AE	420,0	1,5	6,92	10,38	1,25	2,97

Para o moinho 67, o custo do consumo de energia mais elevado por tonelada é verificado para o produto *AB*, sendo que uma das principais causas do elevado custo é a baixa quantidade moída (50kg).

Este moinho (67) apresentou um consumo de energia elétrica de 73,02 kWh que corresponde ao valor de 8,76 € em 3 dias de medição contínua (relativo às 7 cargas apresentadas na tabela 4.10).

Na tabela 4.11 encontram-se as moagens dos esmaltes nos moinhos 27 e 23 no período em que foram realizadas as medições nesses equipamentos (dia 18 de Maio de 2016 para o moinho 27 e 31 de Maio a 2 de Junho de 2016 para o moinho 23). Estes dois equipamentos são praticamente iguais. O equipamento 23 é utilizado para moagem de esmaltes de cor vermelha e laranja e o moinho 27 é utilizado para moagem de esmaltes pretos.

Tabela 4.11 - Moagens no moinho 27 no dia 18 de Maio e no moinho 23 de dia 31 Maio a dia 2 de Junho.

Moinho 27/23						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
AF	130,0	5,08	8,72	44,33	5,32	40,92
AG	90,0	1,75	8,68	15,19	1,82	20,25
AH	90,0	1,83	7,93	14,53	1,74	19,38
AI	115,0	2,17	8,40	18,21	2,18	19,00

Verifica-se pela tabela 4.11 que ao contrário do moinho anterior estes são os moinhos que apresentam o custo mais elevado por tonelada.

O moinho 27 (moinho dos pretos) que moeu o produto *AF* apresentou um custo do consumo de energia de 40,92 €/ton.

O moinho 23 (moinho dos vermelhos/laranjas) moeu três produtos e verificou-se um custo aproximadamente igual para os 3 produtos. O Produto *A* é o que apresentou um menor custo por tonelada devido à maior quantidade moída.

Estes 2 equipamentos (moinho 27 e moinho 23) são praticamente iguais pelo que a diferença de consumo específico de energia só se pode explicar pela moagem necessária para o cinzento ser superior à moagem necessária para os vermelhos, tornando assim a moagem mais demorada e daí mais dispendiosa.

O consumo de energia elétrica destes moinhos (27/23) em 4 dias em que se procedeu à medição contínua foi de 92,26 kWh que corresponde ao valor de 11,07 € (relativo às 4 cargas apresentadas na tabela 4.11).

Na tabela 4.12 está representada uma moagem de um esmalte no moinho 24 (moinho dos castanhos), nos dias 3 e 6 de junho de 2016. Este moinho apresenta características diferentes do anterior pelo que pode ser considerado de outro tipo.

Tabela 4.12 - Moagens no equipamento 24 de dia 3 e 6 de Junho.

Equipamento 24						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
Y Castanho	1225,0	11,58	6,65	77,03	9,24	7,55

Este moinho apresentou um custo do consumo de energia por tonelada inferior aos moinhos 27 e 23 e superior ao do moinho 67. Como se pode ver na tabela utiliza um tempo de funcionamento do moinho de 11,58h e uma carga de 1225 kg. Pelo que quando comparado com o consumo específico dos moinhos 23 e 27 (cargas muito baixas) é bastante inferior porque o consumo específico fica diluído pela carga e quando comparado com o moinho 67 (cargas médias) apresenta valores de consumo específico mais elevado devido ao tempo em funcionamento do equipamento ser mais elevado.

Só foi possível obter dados de consumo de energia de um produto, uma vez que este moinho trabalha pouco e teria de o analisador estar instalado muito tempo até haver mais produtos a necessitarem de passar por esse moinho.

Este equipamento (moinho 24) apresentou um consumo de energia de 77,03 kWh que corresponde ao valor de 9,24 € nos 2 dias em que se procedeu à medição (relativo à carga apresentada na tabela 4.12).

Na tabela 4.13 encontra-se a moagem de um esmalte no moinho 37, sendo este outro tipo de moinhos existente nesta secção. Este esmalte foi o único que foi processado nesse equipamento no período de dia 28 a 30 de junho de 2016. Este é o que apresenta um motor com maior potência.

Tabela 4.13 – Moagens no moinho 37 de dia 28 a 30 de Junho.

Equipamento 37						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
AJ	1100,0	2,33	24,39	56,91	6,83	6,21

Comparando com o moinho anterior pela tabela 4.12 confirma-se que apesar de o moinho 37 apresentar um motor de maior potência, não significa que apresente um custo de energia consumida mais elevado por tonelada. Isto deve-se à diferença de tempo de funcionamento, enquanto o moinho 37 em 2,33 horas moeu 1.100 kg, o moinho 24 demorou 11,58 horas a moer 1225 kg, apresentando estes um custo do consumo específico de energia de 6,21 €/ton e 7,55 €/ton respetivamente.

Este equipamento (moinho 37) apresentou um consumo de energia de 56,91 kWh que corresponde ao valor de 6,83 € nos 3 dias em que se procedeu à medição (relativo à carga apresentada na tabela 4.13).

Na figura 4.11 está representado o consumo de energia por tonelada de cada produto respetivo aos moinhos no setor dos esmaltes.

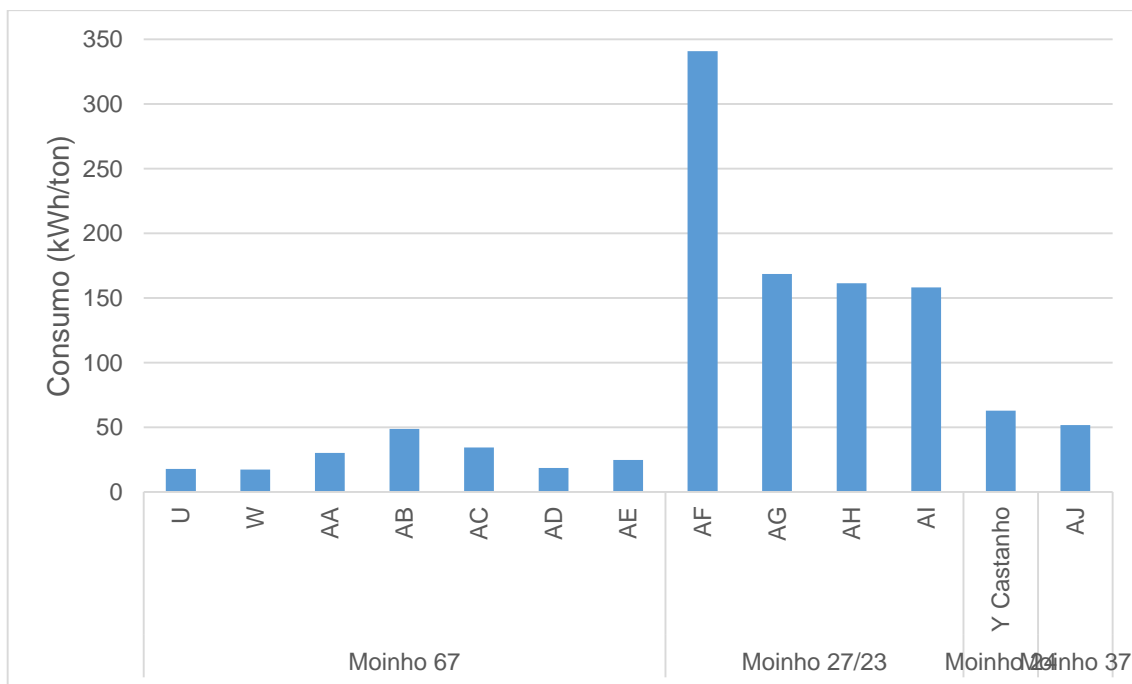


Figura 4.11 – Consumo por tonelada relativo aos moinhos no setor dos esmaltes.

Nesta figura verifica-se o que foi comentado nas tabelas dos moinhos, ou seja, o moinho 67 como é o mais recente e é utilizado no fabrico dos esmaltes de cor branca e esmaltes incolores é o que trabalha com mais frequência e que apresenta consumos de energia por tonelada mais baixos.

O moinho 37 e o moinho 24 apenas se fez a medição do consumo de energia elétrica à passagem dum produto durante o tempo em que o equipamento de medida esteve dedicado a esse equipamento, podendo-se dizer que estes equipamentos são usados com menor frequência. Estes dois moinhos 37 e 24 apresentam consumos muito próximos entre si, no entanto o 37 é menos consumidor de energia.

Os moinhos 27/23 são os que apresentam consumos mais elevados, cerca de 3 vezes superior aos consumos do moinho 24 o maior consumidor a seguir a estes.

O produto que mais energia consumiu foi o produto *AF* e os menos consumidores foram o produto *U*, o produto *W* e o produto *AD* que apresentaram consumos por tonelada muito semelhantes.

### 4.2.3. Caracterização e análise dos consumos de energia no setor dos vernizes

Neste tópico serão apresentados os consumos de energia utilizada nos equipamentos situados no setor dos vernizes aos quais foram feitas medições e respetiva análise.

Na tabela 4.14 encontra-se o fabrico realizado no dispersor 14. Este fabrico foi o único que foi processado nesse equipamento no período de dia 7 a 9 de junho de 2016.

Tabela 4.14 - Fabricos do dispersor 14 de dia 7 a 9 de Junho.

Dispersor 14						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
AK	3500,0	2,25	16,22	36,50	4,38	1,25

Na tabela 4.14, verifica-se que o custo da energia consumida no fabrico do produto AK foi de 1,25 €/ton. Este dispersor (14) é utilizado para fabricos inferiores a 5000 kg e apresentou um consumo de energia elétrica de 36,50 kWh que corresponde ao valor de 4,38 € nos 3 dias em que se procedeu à medição (relativo à carga apresentada na tabela 4.14).

Na tabela 4.15 encontram-se os produtos fabricados no dispersor 8 no período de dia 20 a 22 de Junho de 2016.

Tabela 4.15 – Fabricos no dispersor 8 de dia 20 a 22 de Junho.

Dispersor 8						
Produto	Quantidade (kg)	Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{carga}}$	$\frac{\text{€}}{\text{ton}}$
AL	1600,0	2	7,60	15,20	1,82	1,14

Consultando a tabela 4.15 verifica-se que o custo de energia necessária para a produção do produto AL é de 1,14 €/ton. Este dispersor (8) é utilizado para fabricos abaixo de 2000 kg, e apresentou um consumo de energia elétrica de 15,20 kWh correspondente a um custo de 1,82 € nos 3 dias em que se procedeu à medição (relativo à carga apresentada na tabela 4.15).

Na figura 4.12 está representado o consumo de energia por tonelada de cada produto respetivo ao fabrico no setor dos vernizes.

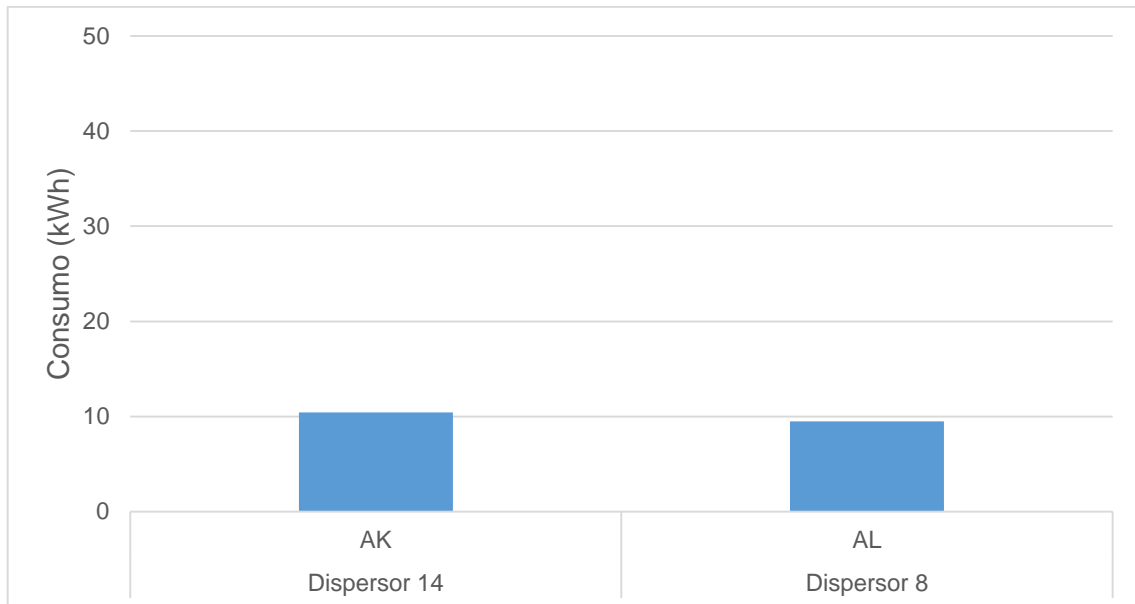


Figura 4.12– Consumo por tonelada relativo ao fabrico no setor dos vernizes.

Relativamente a este setor foram medidos apenas 2 dispersores, estando os consumos de energia por tonelada próximos em ambos os dispersores, no entanto o produto *AK* (fabricado no dispersor 14) foi o mais consumidor e o produto *AL* (fabricado no dispersor 8) foi o menos consumidor.

### 4.3. Consumos de energia dos equipamentos de apoio à produção

Neste tópico serão abordados os consumos do compressor e dos ventiladores, sendo estes equipamentos auxiliares à produção.

Na tabela 4.16 encontram-se os consumos de energia do compressor relativamente à semana de funcionamento em que foram registadas as medições (dia 23 a 30 de Maio de 2016).

Tabela 4.16 - Consumos do compressor de dia 23 a dia 30 de Maio.

Compressor1			
Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{\text{semana}}$	$\frac{\text{€}}{\text{semana}}$
162,58	19,19	3119,97	374,40

Este equipamento é o maior consumidor de energia da fábrica apresentando um consumo de energia elétrica de 3119,97 kWh que corresponde ao valor de 374,40 €/semana, na semana a que se procedeu à medição.

Na tabela 4.17 estão representados os consumos de energia dos 2 ventiladores presentes na fábrica no período em que se procederam às medições (dia 15 a 17 de junho de 2016).

Tabela 4.17 – Consumos dos ventiladores de dia 15 a dia 17 de Junho.

Ventilador1 e Ventilador2			
Tempo em funcionamento (h)	Consumo médio (kW)	$\frac{\text{kWh}}{3\text{dias}}$	$\frac{\text{€}}{3\text{dias}}$
41,92	5,77	241,86	29,02

Estes dois ventiladores foram medidos em conjunto de forma a facilitar as medições. Em conjunto, os ventiladores apresentam um consumo de energia elétrica de 241,86 kWh que corresponde ao valor de 29,02 € nos 3 dias em que foi realizada a medição. Este tipo de equipamento pode ser considerado o terceiro maior consumidor de energia, instalado na fábrica, uma vez que a iluminação é o segundo maior consumidor e está analisada de seguida no subtópico 4.4.

## 4.4. Consumo de energia elétrica na Iluminação

Neste tópico será abordado a iluminação existente na fábrica e o seu respetivo consumo. Na tabela 4.18 encontra-se o número de lâmpadas, a potência necessária, a utilização diária destas e o consumo relativo a cada local da fábrica.

Tabela 4.18 – Iluminação instalada na empresa.

Local	Potência por lâmpada instalada (W)	Lâmpadas (unidades)	Potência total (W)	Utilização diária (h)	Consumo ( $\frac{kWh}{dia}$ )
Refeitório	18	36	648	8	5,18
Posto médico	18	2	36	8	0,29
Área administrativa	18	39	702	8	5,62
Área administrativa	36	116	4176	8	33,41
Laboratório/direção técnica	18	11	198	8	1,58
Laboratório/direção técnica	36	66	2376	8	19,01
Laboratório/direção técnica	72	2	144	8	1,15
Produção	36	240	8640	8	69,12
Produção	58	6	348	8	2,78
Produção de diluentes	58	8	464	8	3,71
Exterior	500	6	3000	8	24,00
Exterior	350	2	700	8	5,60
Exterior	150	9	1350	8	10,80
Armazém/cave	58	110	6380	8	51,04
Armazém	18	8	144	8	1,15
Armazém	36	25	900	8	7,20
Armazém	58	126	7308	8	58,46
Vestiários	18	3	54	3	0,16
Vestiários	36	13	468	3	1,40
Armazém de matérias-primas	36	2	72	8	0,58
Armazém de matérias-primas	58	112	6496	8	51,97
Gabinetes	18	44	792	8	6,34
Gabinetes	36	4	144	8	1,15
Gabinetes	58	16	928	8	7,42
Outro	18	72	1296	8	10,37
Outro	36	4	144	8	1,15
Outro	58	114	6612	8	52,90
<b>Total</b>		1196	54520		433,55

## 4.5. Análise global dos consumos de energia elétrica

Neste tópico será relacionado o consumo dos equipamentos (dispersores, moinhos e equipamento auxiliar) medidos juntamente com a iluminação e calculada uma posterior fração deste consumo relativamente às faturas do ano de 2016.

Na tabela 4.19 encontram-se os dias de medição de cada equipamento, os consumos medidos nesses mesmos dias e esses valores convertidos para consumos mensais. Este valor teve de ser extrapolado considerando que a diversidade e quantidade de produtos produzidos e de equipamentos utilizados é proporcional aos dias em que se efetuaram as medições. Este procedimento foi necessário pois apenas se dispunha de um equipamento de medição.

Tabela 4.19 – Dias de medição de cada equipamento e respetivos consumos.

Equipamento	Tempo em medição (dias)	Consumos medidos (kWh)	Consumos mensais (kWh)
63	4	200,95	1046,59
66	3	45,63	316,88
56	2	123,60	1287,49
50	3	75,75	526,02
52	2	10,41	108,39
51	2	15,39	160,35
31	2	93,23	971,11
32	2	27,01	281,34
67	3	73,02	507,10
27/23	4	92,26	480,50
24	2	77,03	802,39
37	3	56,91	395,19
14	3	36,50	253,44
8	3	15,20	105,56
Compressor1	7	3119,97	12999,89
Iluminação	---	---	9032,29
Ventiladores	3	241,86	2015,49
<b>Total</b>	49	4304,70	31022,55

Pela tabela 4.19 verifica-se que a soma dos consumos mensais dos equipamentos medidos juntamente com o consumo da iluminação resulta em 31022,55 kWh.

Na figura 4.13 encontram-se os valores dos consumos mensais, da tabela 4.1, sob a forma gráfica. Uma breve análise desta figura permite concluir que o equipamento que mais energia consome é o compressor. A iluminação geral da empresa também apresenta um valor de consumo de energia muito elevado.

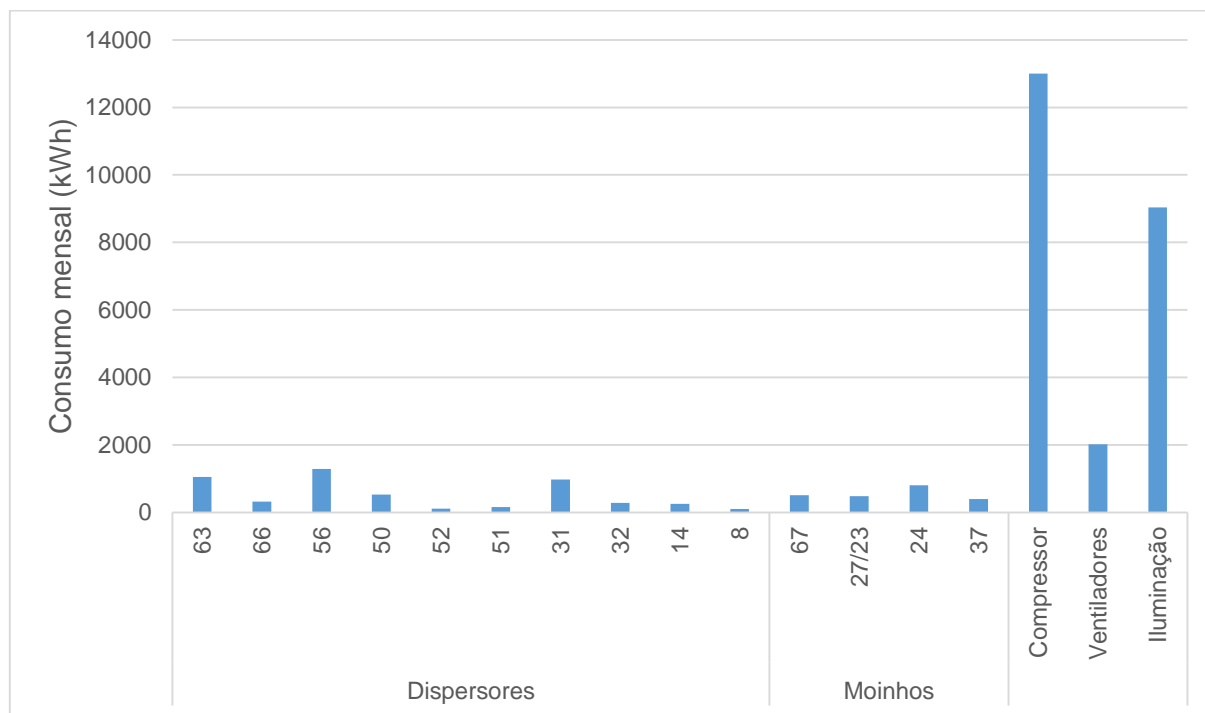


Figura 4.13 – Consumo mensal por equipamento medido.

Durante o tempo de realização do presente trabalho houve equipamentos cujo consumo de energia não foi possível medir. Se for considerado que nestes equipamentos o consumo de energia se assemelha ao consumo de energia e à frequência de utilização de outros equipamentos onde foram efetuadas medições, pode-se estimar o respetivo consumo de energia. Assim os dispersores 30 e 4 são semelhantes ao dispersor 31, os moinhos 21 e 22 são semelhantes aos moinhos 27 e 23, os moinhos 3, 11, 34, e 35 são semelhantes ao moinho 24 e os dispersores 62 e 55 são semelhantes ao dispersor 66. Pode-se estimar um consumo de energia elétrica de 6266,04 kWh para estes equipamentos não medidos.

Existem ainda outros dispersores e moinhos de menor potência cujos consumos não foram medidos e por não se assemelharem a nenhum dos motores medidos não podem ser estimados.

O total do consumo de energia dos equipamentos que fazem parte diretamente na produção (dispersores, moinhos, ventiladores, compressores e iluminação) que foram medidos ou estimados é de cerca de 37288,59 kWh.

O consumo de energia mensal para a empresa nos meses de Março, Abril e Maio foi em média cerca de 75392 kWh.

Com estes valores pode-se concluir que cerca de 49,5% da energia é consumida pelos equipamentos de produção mais consumidores (medidos e estimados) juntamente com a iluminação, compressores e ventiladores, sendo o restante consumo correspondente a equipamentos de produção menos consumidores (que não foram medidos nem estimados como balanças, dispersores, moinhos horizontais e linhas de enchimento), a diversos equipamentos existente nos laboratórios, ao equipamento de ar condicionado e aos gabinetes (computadores, servidor informático, ar condicionado, etc.).

Na figura 4.14 encontra-se representado a distribuição dos consumos de energia elétrica pelos vários setores, iluminação e equipamentos auxiliares e na figura 4.14 as respetivas percentagens considerando apenas o departamento de produção de industrial (exclui nesta análise os laboratórios, os gabinetes, o armazém, etc). No caso da iluminação a percentagem apresentada inclui a iluminação existente em toda a empresa.

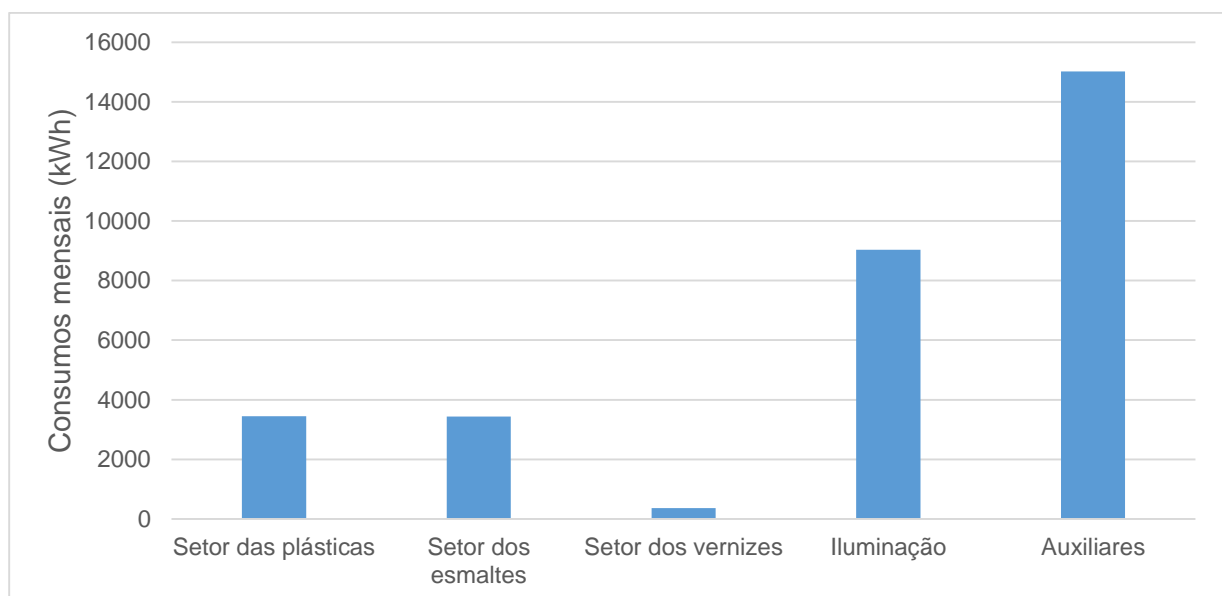


Figura 4.14 – Distribuição dos consumos da empresa pelos vários setores, iluminação e equipamentos auxiliares.

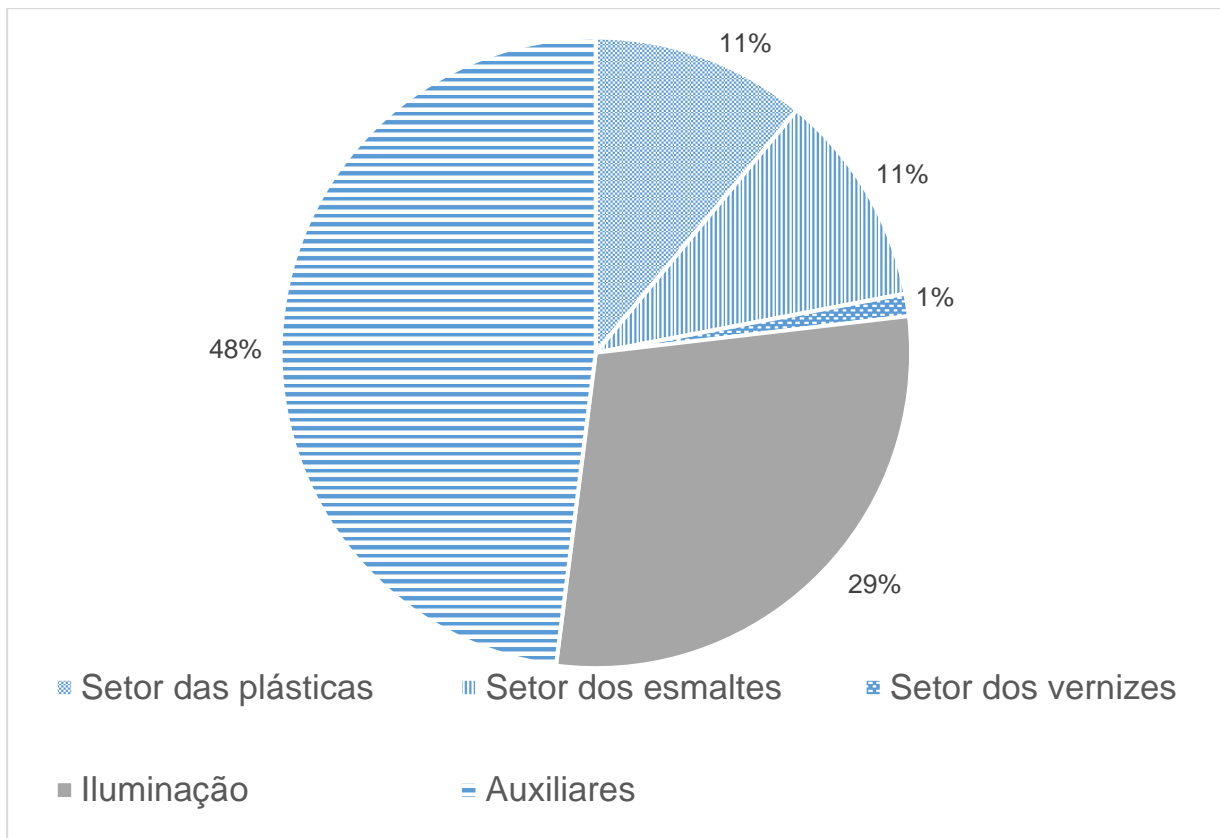


Figura 4.15 – Frações dos consumos da empresa nos vários setores, iluminação e equipamentos auxiliares.

Como se pode verificar pela figura 4.14 e 4.15, os maiores consumidores de energia no departamento de produção industrial são os equipamentos auxiliares (49%) estando de seguida a iluminação (29%). Relativamente aos setores o setor das tintas plásticas (11%) é o que apresenta um maior consumo de energia sendo este muito próximo do setor dos esmaltes (11%), ficando o setor dos vernizes (1%) como o setor menos consumidor de energia como já era previsto devido a não necessitar de tanta potência dos motores nem tempo de funcionamento para o fabrico destes.

## 5. MEDIDAS DE MELHORIA

Relativamente às medidas de melhoria de eficiência energética uma delas diz respeito à iluminação. Na secção 5.1 detalha-se as medidas de melhoria propostas para a iluminação da empresa.

Na secção 5.2 apresenta-se um cálculo da viabilidade económica da instalação de um variador de frequência no dispersor 50, no entanto este equipamento tem a necessidade da instalação do variador de frequência electrónico devido a causas mencionadas nessa secção.

Na secção 5.3 encontra-se a análise de um investimento como forma de substituir alguns moinhos existentes na fábrica.

Na secção 5.4 encontra-se a análise de um investimento num novo compressor como forma de substituir o compressor existente na fábrica, sendo este o principal consumidor de energia eléctrica.

### 5.1. Iluminação

Neste subtópico será analisada a substituição da iluminação da empresa através de um investimento em lâmpadas LED. A utilização de lâmpadas LED tem várias vantagens tais como: aumento do tempo de vida útil (as lâmpadas LED apresentam uma vida útil de 50.000 horas e as fluorescentes de 8.000 horas), consumo reduzido de electricidade, bom funcionamento a baixas temperaturas (até -40°C), é uma fonte de luz eficiente para curtas distâncias e pequenas áreas, elevada prova de choque ao contrário de outros tipos de lâmpadas, arranque instantâneo a 100% de luz, retorno de cores do ambiente com variadas combinações, não emitem calor pelo encapsulamento (infravermelho), permite uma direcionalidade da luz útil em algumas aplicações, como a redução da poluição luminosa, que é difusa em luzes de rua. [7]

Na tabela 5.1 apresenta-se a equivalência entre as lâmpadas instaladas e as lâmpadas a instalar, de forma a substituir as lâmpadas mantendo a mesma luminosidade.

Tabela 5.1 - Tabela de equivalências das lâmpadas instaladas para lâmpadas LED e respetivo custo destas.[8]

Lâmpadas Florescentes (W)	Lâmpadas LED (W)	Custo por lâmpada LED (c/ instalação) (€)
18	9	7,00
36	18	9,10
58	23	14,70
72	36	67,00
150 (halogéneo)	30	37,30
350 (halogéneo)	70	107,00
500 (halogéneo)	100	117,00

Na tabela 5.2 encontra-se o tipo de lâmpada LED (potência por lâmpada) o número de lâmpadas e a potência total a instalar em cada local da empresa. Pode-se ainda ver o tempo de utilização diária de cada lâmpada, o consumo de energia elétrica por cada dia de funcionamento para o conjunto de lâmpadas a instalar em cada local e o custo de investimento na aquisição e instalação.

Tabela 5.2 – Iluminação a instalar com respetivo investimento de forma a diminuir o consumo energético.

Local	Potência por lâmpada LED (W)	Lâmpadas (unidades)	Potência total LED (W)	Utilização diária (h)	Consumo LED ( $\frac{kWh}{dia}$ )	Preço total LED (€)
Refeitório	9	36	324	8	2,59	252,00
Posto médico	9	2	18	8	0,14	14,00
Área administrativa	9	39	351	8	2,81	273,00
Área administrativa	18	116	2088	8	16,70	1055,60
Laboratório/ Direção técnica	9	11	99	8	0,79	77,00
Laboratório/ Direção técnica	18	66	1188	8	9,50	600,60
Laboratório/ Direção técnica	36	2	72	8	0,58	134,00
Produção	18	240	4320	8	34,56	2316,00
Produção	23	6	138	8	1,10	88,20
Produção de diluentes	23	8	184	8	1,47	117,60
Exterior	100	6	600	8	4,80	702,00
Exterior	70	2	140	8	1,12	214,00
Exterior	30	9	270	8	2,16	335,70
Armazém/cave	23	110	2530	8	20,24	1617,00

Armazém	9	8	72	8	0,58	56,00
Armazém	18	25	450	8	3,60	241,25
Armazém	23	126	2898	8	23,18	1852,20
Vestiários	9	3	27	3	0,08	22,20
Vestiários	18	13	234	3	0,70	125,45
Armazém de matérias-primas	18	2	36	8	0,29	19,30
Armazém de matérias-primas	23	112	2576	8	20,61	1646,40
Gabinetes	9	44	396	8	3,17	308,00
Gabinetes	18	4	72	8	0,58	36,40
Gabinetes	23	16	368	8	2,94	227,20
Outro	9	72	648	8	5,18	504,00
Outro	18	4	72	8	0,58	38,60
Outro	23	114	2622	8	20,98	1675,80
<b>Total</b>		1196	22793		181,04	14549,50

A tabela 5.3 mostra o consumo de energia elétrica utilizado na iluminação total da empresa em dois possíveis cenários: atual (iluminação atual com lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de halogénio) e após substituição por iluminação com lâmpadas LED.

Tabela 5.3 – Consumo atual da fábrica e após a substituição por lâmpadas LED.

Consumo atual ( $\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$ )	Consumo Lâmpadas LED ( $\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$ )
433,55	181,18

Analisando a tabela 5.3, que é um resumo das tabelas 4.18 e 5.2, verifica-se que o consumo de energia elétrica com a instalação atual é de 433,55 kWh/dia e com a instalação de lâmpadas LED reduz-se para 181,04 kWh/dia. Com esta redução na energia elétrica consumida obtém-se uma poupança monetária de 30,30 €/dia sendo o preço por kWh o considerado no tópico 4.2. Convertendo esta poupança diária para anual o valor é cerca de 7575,30 €/ano. Considerando o investimento da substituição das lâmpadas igual a 14549,50 € (como representado na tabela 5.2) verifica-se que o investimento é recuperável em menos de 2 anos.

## 5.2. Dispersor 50

Neste equipamento calculou-se a viabilidade económica da instalação de um variador de frequência eletrónico cujo seu preço é de 9350 €. A escolha do estudo ser realizado neste equipamento deveu-se a este ser o motor com maior potência dos que não possuem variador de frequência eletrónico.

O consumo de energia eléctrica associado ao funcionamento do dispersor 50 durante os 3 dias em que o equipamento se encontrou em medição foi de 75,75 kWh, ou seja, 9,09 € (ver tabela 4.5) correspondendo a 63,12 €/mês.

Assumindo que o consumo do equipamento pode ser reduzido a 50% com a utilização de um variador de frequência (geralmente o valor máximo possível de redução do consumo de energia com a utilização de um variador de frequência) significaria uma poupança de 31,56 €/mês ou seja 378,72 €/ano. Se tivermos em conta o investimento de 9350 € e a poupança anual de 378,72 €, o variador de frequência seria recuperado em 24,7 anos[9].

No entanto, este equipamento apresenta um variador de frequência mecânico de polias variadoras que requer muita manutenção devido às correias que utiliza este tipo de variadores. As correias ultimamente não só têm de ser cada vez substituídas com uma maior frequência como estão a começar a desaparecer do mercado.

Assim o investimento no variador de frequência é uma forma de manter o equipamento em funcionamento, caso contrário o equipamento não conseguiria funcionar devido à falta das correias do variador de frequência mecânico.

## 5.3. Moinhos 21, 22, 23 e 27

Os moinhos 21, 22, 23 e 27 são os equipamentos de moagem que apresentam maior consumo de energia por tonelada, assim seria importante avaliar o investimento num moinho novo como forma de os substituir.

Para tal há a possibilidade da aquisição de um moinho de cesto que poderá substituir os 4 moinhos existentes. Também há a possibilidade de substituir cada um por um moinho semelhante ao moinho 67, como o último adquirido pela empresa que está a ser utilizado para os esmaltes brancos e incolores.

O moinho de cesto é um moinho que apresenta uma elevada flexibilidade, havendo a possibilidade de moer uma cor e com uma lavagem após essa moagem, moer outra cor

completamente diferente. No entanto a moagem não é em contínuo, sendo que a quantidade por carga estará condicionada às cubas existentes.

O moinho 67 é um moinho que funciona em contínuo, pelo que apresenta a desvantagem de não ser muito viável a passagem duma cor muito diferente da cor que passou anteriormente, devido à tinta ficar retida nas tubagens e assim alterar a qualidade da cor. Assim seria necessário a compra de 4 para substituir os 4 existentes.

De forma a analisar as 2 opções de investimento realizaram-se alguns cálculos presentes no anexo A, sendo os cálculos referentes aos moinhos semelhantes ao moinho 67 utilizando dados práticos e os cálculos referentes ao moinho de cesto cálculos teóricos, pelo que só testando na prática se teria uma melhor perceção dos consumos e tempos de moagem deste.

A capacidade de produção dos moinhos em estudo (21, 22, 23 e 27) é de 983,6 ton/ano. Com a substituição destes por um moinho de cesto esta capacidade passaria para 789,5 ton/ano. A produção anual foi de 188,9 toneladas em 2015 pelo que a capacidade de um moinho de cesto é normalmente suficiente para o objetivo da empresa. Caso se verifique um pico de produção poderá ocasionalmente utilizar-se um dos moinhos existentes. Já a substituição destes mesmos moinhos por 4 moinhos semelhantes ao 67 a capacidade de produção passaria para 6485,6 ton/ano, no entanto no caso dos 4 moinhos iria ser necessário mais espaço para a instalação destes.

O consumo de energia dos moinhos existentes passaria de 207 kWh/ton para 167,2 kWh/ton no caso do moinho de cesto e para 27,48kWh/ton no caso dos 4 moinhos semelhantes ao 67.

O investimento seria de 39700€ no caso do moinho de cesto e de 171240€ no caso dos 4 moinhos semelhantes ao 67, sendo a diferença do tempo de recuperação do investimento de cerca de 1 ano. O tempo de recuperação do moinho de cesto seria cerca de 26 anos e o dos 4 moinhos semelhantes ao 67 seria cerca de 25 anos.

Como tal o investimento em qualquer um dos casos não só vai trazer vantagens ao nível dos consumos energéticos como também vantagens relativas à segurança uma vez que os equipamentos existentes já têm muitos anos e começam a estar fora das normas de segurança. O tempo de resposta será menor o que diminui a possibilidade da desistência de clientes em alguma compra ou até mesmo a perda destes. No caso do tempo de resposta o investimento também irá ajudar uma vez que no caso de avaria atualmente a fabrica não possui qualquer tipo de substituição dos moinhos existentes, sendo que com a aquisição destes, os moinhos existentes passariam a poder ser substitutos num caso pontual. Os novos

moinhos irão também apresentar uma melhor moagem o que fará com que se poupe na quantidade de corante utilizada.

## 5.4. Compressor

Como se pode verificar na figura 4.13, o compressor é o maior consumidor de energia. Derivado disto é importante analisar o investimento num novo compressor, de forma a trazer benefícios no consumo de energia elétrica.

Para tal, devido ao compressor funcionar com um fator de potência de 0,28 em média estimou-se que este trabalha com um baixo rendimento por volta dos 50%, os cálculos encontram-se no anexo B.

O novo compressor funciona com uma eficiência superior a 92% a partir dos 35% da capacidade da carga.

Através da estimativa do rendimento do motor atual de 50%, a potência elétrica irá variar de 19,19 kW (potência média do compressor atual) para 10,43 kW (potência estimada do compressor novo).

Esta diferença de valores gerava uma poupança de 8830 €/ano, que tornava o investimento no compressor recuperado ao fim de 4 anos.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Relativamente ao objetivo primário de caracterização dos consumos de energia elétrica nos diversos setores do departamento industrial pode considerar-se que foi cumprido. As etapas definidas para a concretização deste objetivo foram as medições do consumo de energia elétrica, por um período (cerca de 3 dias, na maioria dos casos) que se considerou representativo da produção mensal, para os equipamentos mais utilizados.

Estas medições foram de seguida associadas aos consumos de energia elétrica de cada tipo de produto produzido na empresa.

Tendo em conta a especificidade da produção em que a variação da velocidade dos motores é realizada por um operador e não de forma automática pode haver algumas discrepâncias nos consumos de energia elétrica associado a cada produto. No entanto poderá ter-se uma estimativa da contribuição do custo de consumo de energia elétrica no custo de produção de dado produto.

Foram também medidos os consumos de energia elétrica dos equipamentos auxiliares (compressor e ventiladores) de utilização contínua e transversal a todos os setores da empresa.

Para a energia elétrica consumida na iluminação da empresa foi feito um cálculo usando o número de lâmpadas instaladas e respetiva potência.

Com estes dados foi feita uma análise da distribuição dos consumos energéticos por setor verificando-se que os setores das tintas plásticas (3446 kWh/mês) e setor dos esmaltes (3438 kWh/mês) são os setores industriais que mais energia consomem. O setor dos vernizes apresenta consumos de energia muito menores (359 kWh/mês). Estes 3 setores totalizam um consumo de energia elétrica de cerca de 7243 kWh/mês.

Foi também possível perceber que os equipamentos auxiliares (compressor e ventiladores) são os responsáveis por 50% do consumo de energia relativa aos consumos de energia associados aos equipamentos em que foram feitas medição (dispersores e moinhos) e à iluminação. O consumo de energia elétrica desses equipamentos auxiliares representa um valor de cerca de 15015 kWh/mês. A iluminação apresenta um consumo de 9032 kWh/mês, este valor é superior à soma do consumo dos três setores de produção industrial.

Relativamente ao objetivo secundário da análise do consumo energia elétrica específico para o ano de 2015 foram compilados os dados da fatura de energia elétrica

consumida em toda a empresa e da produção mensal por tipo de produto produzido. Através desta análise pode-se concluir que o consumo de energia elétrica específico esteve entre um valor mínimo de 103 kWh/ton e um valor máximo de 170 kWh/ton. Estes consumos equivalem a 12 €/ton e 21 €/ton, respetivamente.

Face à caracterização efetuada propuseram-se duas possíveis ações de melhoria. Uma relacionada com a colocação de variadores de frequência nos motores dos dispersores e a outra com a substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED.

No caso da primeira sugestão de melhoria concluiu-se que devido à baixa utilização dos motores dos dispersores, o sobredimensionamento destes, ou até mesmo a instalação de variadores de frequência eletrónicos não é economicamente viável. Com o cálculo realizado para a viabilidade da instalação de um variador de frequência eletrónico num dos equipamentos, o período de recuperação foi de 24,7 anos, o que torna o investimento não viável em termos económicos. No entanto existem outras razões que justificam a necessidade de investimento num variador de frequência eletrónico para o dispersor 50. Estas razões são nomeadamente a falta de peças que possam ser utilizadas para substituir peças avariadas do variador atual. Situação que se tem verificado com frequência ultimamente.

Quanto à iluminação, concluiu-se que seria necessário um investimento de cerca de 14550 € na aquisição e instalação de lâmpadas LED, o que se traduz numa poupança anual de cerca de 7571,01 €/ano tornando este investimento recuperável em menos de 2 anos.

Relativamente ao investimento para substituir os moinhos existentes (21, 22, 23 e 27), o investimento no moinho de cesto é um investimento quatro vezes menor comparado com os outros 4 moinhos (semelhantes ao moinho 67) e apresenta um período de recuperação de cerca de 26 anos. Este moinho irá trazer vantagens ao nível da segurança, ao nível da moagem e da quantidade de corante a utilizar e ao nível do tempo de resposta, para além dos menores consumos energia.

O compressor é o equipamento mais consumidor de energia e analisou-se a substituição deste por um novo. Através da estimativa (devido à falta de dados) do rendimento do compressor atual foi possível calcular um período de recuperação de 4 anos para o investimento de 35800€ no novo compressor.

Com este trabalho percebeu-se também que os equipamentos medidos e estimados apenas dizem respeito a cerca de 50% do consumo de energia da empresa, tornando importante uma análise aos consumos dos equipamentos que não foram medidos, tais como, computadores, ar condicionado, entre outros.

Para trabalhos futuros seria então interessante estudar o consumo dos equipamentos referenciados no parágrafo acima.

Como forma de validar os dados do presente trabalho seria interessante medir durante um algum tempo (considerado representativo) o consumo do departamento industrial englobando todos os equipamentos (dispersores e moinhos) utilizados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gaspar, C., Eficiência energética na indústria, ADENE, Editor. 2004.
2. Bilgen, S., Calculation and interpretation of the standard chemical exergies of elements using the chemical reference species. *Wuli Huaxue Xuebao/ Acta Physico - Chimica Sinica*, 2009. 25(8): p. 1645-1649.
3. Azhar Khan, M., et al., Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. 29: p. 336-344.
4. Janusz Cofala, I.B., Jens Borcken-Kleefeld,, et al., Emissions of Air Pollutants for the World Energy Outlook 2012 Energy Scenarios, I.I.f.A.S. Analysis, Editor. 2012.
5. Balanço energético, D.G.E. Geologia, Editor. 2014.
6. Energia em Portugal, D.G.E. Geologia, Editor. 2013.
7. Silva, N.F.V.D., Iluminação LED – Avaliação económica e ambiental. 2013.
8. LOW WATT - smart energy. 2016 [cited 2016 31 October]; Available from: <http://www.lowwatt.pt/>.
9. Filipe, R.A.C.C., Avaliação do Aumento da Eficiência Energética de uma Central de Frio. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.



# ANEXOS

## Anexo A

Neste anexo encontram-se os cálculos relativos ao investimento em novos moinhos.

No ano 2015 foram moídas 188,9 toneladas nos moinhos 21,22,23 e 27.

O setor dos esmaltes opera durante 24 horas por dia em 250 dias por ano.

### **Moinhos existentes:**

Consumo médio dos moinhos existentes (21, 22, 23 e 27): 207 kWh/ton

Tempo médio de moagem por tonelada=24,4 h/ton

Capacidade de produção atual= $250 \times 24 / 24,4 \times 4 = 245,9 \times 4 = 983,6$  ton/ano

### **Moinho semelhante ao 67:**

Custo de 1 moinho: 42810 €

Consumo médio do moinho 67: 27,48 kWh/ton

Tempo médio de moagem por tonelada=3,7 h/ton

Capacidade de produção dos 4 moinhos= $250 \times 24 / 3,7 \times 4 = 1621,6 \times 4 = 6485,6$  ton/ano

Investimento= $4 \times 42810 = 171240$ €

### **Moinho de cesto:**

Custo de 1 moinho: 39700 €

Consumo médio do moinho de cesto: 167,2 kWh/ton (Motor de 22kW)

Tempo médio de moagem por tonelada=7,6 h/ton (considerando cubas de 500 L)

Capacidade de produção do moinho de cesto= $250 \times 24 / 7,6 = 789,5$  ton/ano

A capacidade de produção poderá ocasionalmente ser aumentada com o funcionamento de um dos moinhos existentes de forma a diminuir o tempo de resposta ao cliente. Assim a capacidade de produção poderá ser a soma de ambas as capacidades (983,6+789,5) um total de 1773,1 ton/ano.

Investimento= $1 \times 39700 = 39700$ €

Prevendo um aumento na produção de 10% nos 5 primeiros anos e um aumento de 2 % após os primeiros 5 anos a recuperação dos moinhos seria cerca de 26 anos para o moinho de cesto e cerca de 25 anos para os 4 moinhos semelhantes ao 67. No entanto seria um investimento muito superior no caso dos 4 moinhos como podemos confirmar nos dados acima.

Tabela A.1 – Produção e poupança anual relativa ao investimento nos diferentes tipos de moinhos.

Ano	Produção (ton)	Poupança (moinho de cesto) (€)	Poupança (4 moinhos semelhantes ao 67) (€)
1	188,9	902,2	4069,4
2	207,8	992,4	4476,3
3	228,6	1091,6	4923,9
4	251,4	1200,8	5416,3
5	276,6	1320,9	5957,9
6	282,1	1347,3	6077,1
7	287,7	1374,3	6198,7
8	293,5	1401,7	6322,6
9	299,4	1429,8	6449,1
10	305,4	1458,4	6578,1
11	311,5	1487,5	6709,6
12	317,7	1517,3	6843,8
13	324,0	1547,6	6980,7
14	330,5	1578,6	7120,3
15	337,1	1610,2	7262,7
16	343,9	1642,4	7408,0
17	350,8	1675,2	7556,1
18	357,8	1708,7	7707,2
19	364,9	1742,9	7861,4
20	372,2	1777,7	8018,6
21	379,7	1813,3	8179,0
22	387,3	1849,6	8342,6
23	395,0	1886,6	8509,4
24	402,9	1924,3	8679,6
25	411,0	1962,8	8853,2
26	419,2	1456,0	-----
<b>Total</b>	<b>8426,7</b>	<b>40246,0</b>	<b>172501,6</b>

**Exemplo de cálculo da poupança anual do moinho de cesto:**

$$\text{Poupança} = \text{Produção} * (\text{Consumo}_{\text{moinhos existentes}} - \text{Consumo}_{\text{moinho de cesto}}) * \text{Preço da energia}$$

$$\text{Poupança} = 188,9 * (207 - 167,2) * 0,12 = 902,2 \text{ €/ano}$$

## Anexo B

Neste anexo encontram-se os cálculos relativos ao investimento num novo compressor.

Estimando um rendimento de 50% para o compressor atual e considerando o valor da sua potência média (19,19 kW) durante a semana em que os consumos estiveram a ser medidos é possível calcular a potência mecânica através da equação A.1.

$$\eta = \frac{P_{mecânica}}{P_{elétrica}} \quad (\text{equação B.1})$$

$$P_{mecânica} = \eta * P_{elétrica}$$

$$P_{mecânica} = 0,50 * 19,19$$

$$P_{mecânica} = 9,6 \text{ kW}$$

Para calcular a potência elétrica consumida no novo compressor utilizando a mesma equação e a mesma potência mecânica do compressor atual e um rendimento de 92% (valor fornecido pelo fabricante do compressor).

$$P_{elétrica} = \frac{P_{mecânica}}{\eta}$$

$$P_{elétrica} = \frac{9,6}{0,92}$$

$$P_{elétrica} = 10,43 \text{ kW}$$

Pelos cálculos e estimativas verifica-se que os consumos passariam de 19,19 kW para 10,43 kW.

O compressor trabalha os 7 dias da semana, considerando 50 semanas num ano devido às 2 semanas de férias em agosto.

$$\text{Poupança} = (P_{elétrica}(\text{atual}) - P_{elétrica}(\text{novo})) * \text{Horas/ano} * \text{Preço da energia}$$

$$\text{Poupança} = (19,19 - 10,43) * 24 * 7 * 50 * 0,12$$

$$\text{Poupança} = 8830 \text{ €/ano}$$

Com estes valores e com o custo do novo compressor de 35800 € é possível calcular o período de recuperação.

$$\text{Período de recuperação} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Poupança anual}} \quad (\text{equação B.2})$$

$$\text{Período de recuperação} = \frac{35800}{8830}$$

$$\text{Período de recuperação} = 4 \text{ anos}$$