



# **Análise energética do processo produtivo de embalagens flexíveis e da unidade de recuperação de solventes**

**SARA CAROLINA ALVES AMORIM**

novembro de 2020

# **Análise energética do processo produtivo de embalagens flexíveis e da unidade de recuperação de solventes**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Mestrado em Engenharia Química - Energia e Biorrefinaria

Sara Carolina Alves Amorim

Orientação Monteiro Ribas: Engenheiro Pontes Bento

Co-orientação Monteiro Ribas: Engenheiro Nuno Carvalho

Orientação ISEP: Prof. Doutora Teresa Sena Esteves

Co-orientação ISEP: Prof. Doutora Teresa Pimenta



## Sumário

A presente dissertação foi realizada em ambiente industrial, na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis S.A. Esta empresa dedica-se à impressão, por rotogravura e flexografia, e à complexagem de filmes poliméricos. A empresa também se dedica ao fabrico de embalagens que são na sua maioria para a indústria alimentar, exportando mais de 50% da sua produção. O produto final pode ser enviado ao cliente em forma de bobine ou em formato de embalagem.

Tanto a etapa da impressão como a de complexagem requerem a utilização de solventes de modo a diluir e baixar a viscosidade, respetivamente, das tintas e dos adesivos utilizados. Para tratar esses solventes existem as unidades auxiliares, *Solvent Recovery Unit* (SRU) e *Regenerative Thermal Oxidizer* (RTO).

O objetivo desta dissertação foi a análise energética da SRU e da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis (UPEF), no ano de 2019.

Tanto a SRU como a UPEF têm como fontes de energia, o gás natural, o vapor de aquecimento e a energia elétrica. Na SRU, o gás natural é a fonte de energia que representa uma menor percentagem de consumo, contribuindo com 25,8 %. A seguir, vem o vapor de aquecimento, com 26,3 %, e por fim surge a energia elétrica com 47,9 %. Por outro lado, na UPEF, a fonte de energia que tem menos peso no total dos consumos é o vapor de aquecimento, com 19 %, de seguida, vem o gás natural, com 33 %, e por último a energia elétrica com 48 %. Relativamente ao consumo de energia elétrica na UPEF, verificou-se que os equipamentos que têm maior peso são as máquinas de impressão, com 36 %, e as de complexagem, com 33 %. O consumo específico de energia para a produção de solventes na SRU é de 1,0 tep/t e para a produção vendável de embalagens flexíveis na UPEF é de 0,2703 tep/t.

Por fim, foi ainda acompanhado um trabalho realizado numa máquina de complexagem, com a utilização de solvente, tendo-se verificado que ao fim de uma hora esta consumiu 47,36 kWh de energia elétrica para a produção de cerca de 12808 m de filme, o que corresponde a 13257 m<sup>2</sup> e a um consumo específico de 0,003572 kWh/m<sup>2</sup>. Na estufa que esta máquina possui e que é aquecida através de vapor de aquecimento, chegou-se à conclusão que o caudal de vapor alimentado à estufa é de 509 kg/h. A taxa de evaporação de solvente na estufa foi de 89 %.

**Palavras-chave:** Consumos de energia, Embalagens Flexíveis, Recuperação de solventes, Queima de solventes.



## Abstract

This dissertation was carried out in an industrial environment, at the company Monteiro, Ribas - Embalagens Flexíveis S.A. This company is specialized in printing, by rotogravure and flexography, and in the complexation of polymeric films. The company also dedicates itself to the manufacture of packages that are mostly for the food industry, exporting more than 50% of its production. The final product can be sent to the customer in reel form or in packaging format.

Both the printing and the complexing stages require the use of solvents, in order to dilute and lower the viscosity, respectively, of the inks and adhesives used. To treat these solvents, there are auxiliary units, the Solvent Recovery Unit (SRU) and Regenerative Thermal Oxidizer (RTO). Depending on the nature of the solvent, it can be recovered in the SRU or burned in the RTO.

The objective of this dissertation was the energy analysis of the SRU and the Flexible Packaging Production Unit, during 2019.

Both the SRU and Flexible Packaging Production Unit have as sources of energy, natural gas, heating steam and electricity. At the SRU, natural gas is the energy source that represents a lower percentage of consumption, contributing with 25.8 %. Next, comes steam, with 26.3 %, and finally, comes electrical energy with 47.9 %. On the other hand, at the Flexible Packaging Production Unit, the energy source, which has less weight in the total consumption is the heating steam, with 19 %, then comes natural gas, with 33 %, and finally, comes the electric energy, with 48 %. When it comes to electrical energy consumption in the Flexible Packaging Production Unit, it was found that the equipment with the greatest weight is the printing machines, with 36 %, and the complexing ones, with 33 %. The specific energy consumption for solvent production in the SRU is 1.0 tep/t and for the saleable production of flexible packaging in the UPEF is 0.2703 tep/t.

Finally, it was also monitored a work carried out on a complexing machine, using solvent, which after one hour consumed 47.36 kWh of electrical energy to produce about 12808 m of film, corresponding to 13257 m<sup>2</sup> and a specific consumption of 0.003572 kWh/m<sup>2</sup>. The greenhouse of this machine is heated by heating steam, and is fed with a steam flow rate of 509 kg/h. The rate of solvent evaporation in the greenhouse was 89 %.

**Keywords:** Energy consumption, Flexible packaging, Solvent recovery, Solvent burning.



## Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos.....	1
1.1. Grupo Monteiro, Ribas .....	1
1.2. Organização da dissertação.....	4
2. Processo produtivo .....	5
2.1. Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis .....	5
2.2. Tecnologias de impressão .....	7
2.2.1. Impressão por flexografia.....	7
2.2.2. Impressão por rotogravura .....	9
2.3. Tecnologias de complexagem.....	10
2.3.1. Complexagem com solvente .....	11
2.3.2. Complexagem sem solvente.....	13
3. Recuperação e queima de solventes .....	15
3.1. Unidade SRU (Sistema de Recuperação de Solventes) .....	16
3.1.1. Regeneração dos leitos .....	17
3.1.2. Destilação fracionada .....	20
3.2. Unidade RTO (Regenerative Thermal Oxidizer).....	23
4. Gestão Energética.....	27
4.1. Auditoria Energética.....	28
4.2. Indicadores Energéticos.....	29
5. Análise energética da Unidade de Recuperação de Solventes .....	33
5.1. Produção de acetato de etilo e mistura de solventes .....	34
5.2. Distribuição dos consumos de energia na Unidade de Recuperação de Solventes.....	36
5.2.1. Gás natural consumido na Unidade de Recuperação de Solventes.....	36

5.2.2. Vapor de Aquecimento consumido na Unidade de Recuperação de Solventes.....	37
5.2.3. Energia Elétrica consumida na Unidade de Recuperação de Solventes.....	39
5.3. Consumo global de energia na Unidade de Recuperação de Solventes.....	40
5.3.1. Indicadores energéticos na Unidade de Recuperação de Solventes.....	44
6. Análise energética da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	51
6.1. Produção de embalagens flexíveis .....	52
6.2. Distribuição dos consumos de energia na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	55
6.2.1. Gás natural consumido na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	55
6.2.2. Vapor de Aquecimento consumido na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	57
6.2.3. Energia elétrica consumida na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	57
6.3. Consumo global de energia na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	59
6.3.1. Indicadores energéticos na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	63
6.4. Levantamento das potências instaladas nos equipamentos da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	69
6.5. Máquina de complexagem com solvente (C7) .....	74
6.5.1. Consumo de vapor de água na estufa .....	77
6.5.2. – Rendimento da evaporação de solvente na estufa .....	80
6.5.3. – Potência elétrica consumida na máquina C7 .....	80
7. Conclusões e Trabalho Futuro.....	83
Bibliografia.....	85
Anexos.....	89
Anexo A – Levantamento energético para a Unidade de Recuperação de Solventes	89

A.1 – Produção de acetato de etilo e mistura de solventes.....	89
A.2. – Consumos das diferentes formas de energia na Unidade de Recuperação de Solventes e exemplos de cálculo .....	90
A.3. – Indicadores energéticos na Unidade de Recuperação de Solventes .....	92
A.3.1 - Intensidade carbónica (IC) na Unidade de Recuperação de Solventes .....	92
A.3.2. - Consumo específico de energia (CEE) na Unidade de Recuperação de Solventes.....	94
Anexo B – Levantamento energético da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	96
B.1. – Consumo das diferentes formas de energia na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	96
B.2. – Indicadores energéticos na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	96
B.2.1. – Intensidade carbónica (IC) na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	97
B.2.2. – Consumo específico de energia (CEE) na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis .....	97
Anexo C – Potências instaladas nos equipamentos da UPEF .....	98
Anexo D - Máquina de complexagem com solvente (C7) .....	105
Anexo D.1. – Balanço de energia à estufa.....	105
Anexo D.2. – Rendimento da evaporação de solvente na estufa.....	108



## Índice de figuras

Figura 1.1 – Localização das instalações da Monteiro, Ribas S.A [2].	2
Figura 2.1 - Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis [3].	5
Figura 2.2 – Bobines e sacos idênticos aos produzidos na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis [25].	6
Figura 2.3 – Esquema representativo de uma impressora por flexografia de seis cores [1].	7
Figura 2.4 – Esquema representativo do funcionamento de uma unidade de impressão [3].	8
Figura 2.5 – Esquema representativo de uma impressora por rotogravura de cinco cores [1].	9
Figura 2.6 – Representação esquemática de uma unidade de impressão em máquinas de rotogravura. [7]	9
Figura 2.7 – Esquema representativo de uma máquina de complexagem com solvente [5].	11
Figura 2.8 – Esquema representativo de uma máquina de complexagem sem solventes [5].	13
Figura 3.1 – Representação do funcionamento da unidade de recuperação de solventes [1].	17
Figura 3.2 – Representação esquemática da primeira etapa, processo de inertização do leito [1].	18
Figura 3.3 – Representação esquemática da segunda etapa, condensação da água [1]. .....	19
Figura 3.4 – Representação esquemática da terceira etapa, condensação de solvente [1].	20
Figura 3.5 – Representação esquemática de uma coluna de destilação fracionada [10].	21
Figura 3.6 – Esquema do funcionamento das colunas de destilação fracionada presentes na SRU [1].	22
Figura 3.7 – Representação esquemática da unidade RTO [13].	24
Figura 3.8 – Exibição gráfica do sistema RTO, para consulta de diversos parâmetros em tempo real [13].	25
Figura 4.1 – Fases de uma auditoria energética [15].	29

Figura 5.1 - Evolução da produção de acetato de etilo e mistura de solventes, na SRU, ao longo do ano 2019.....	35
Figura 5.2 – Distribuição dos consumos de gás natural e produção de acetato de etilo, ao longo do ano 2019. ....	36
Figura 5.3 – Distribuição dos consumos de vapor de aquecimento e produção de acetato de etilo, ao longo do ano 2019. ....	38
Figura 5.4 – Distribuição dos consumos de energia elétrica e produção de acetato de etilo, ao longo do ano 2019. ....	39
Figura 5.5 – Distribuição dos consumos de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica e consumo global de energia, em tep, na SRU, ao longo do ano 2019. ....	41
Figura 5.6 – Representação da percentagem que cada fonte de energia assume no total de consumo de energia da SRU, no ano 2019.....	42
Figura 5.7 - Evolução do consumo global de energia e da produção de solventes (acetato de etilo e mistura de solventes), na SRU, ao longo do ano 2019.....	43
Figura 5.8 - Variação do consumo de energia com a produção de embalagens flexíveis, na unidade de produção de embalagens flexíveis.....	44
Figura 5.9 - Evolução do consumo global de energia, em tep, e das emissões de gases com efeito de estufa globais (GEE), na unidade de produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019. ....	46
Figura 5.10 – Evolução do CEE global e de cada fonte de energia, na SRU, ao longo do ano 2019. ....	48
Figura 5.11 – Consumo específico de energia global e produção total de acetato de etilo e mistura de solventes para cada mês do ano 2019. ....	49
Figura 5.12 - Variação do consumo específico de energia (CEE) global com a produção de solventes, na SRU. ....	50
Figura 6.1 - Evolução da produção de embalagens flexíveis, na UPEF, ao longo do ano 2019. ....	53
Figura 6.2 - Evolução da produção de embalagens flexíveis na UPEF e da produção de acetato de etilo e mistura de solventes recuperados na SRU, ao longo do ano 2019. ....	54
Figura 6.3 – Distribuição dos consumos de gás natural e produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.....	56

Figura 6.4 - Distribuição dos consumos de vapor de aquecimento e produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.....	57
Figura 6.5 - Distribuição dos consumos de energia elétrica e produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.....	58
Figura 6.6 – Distribuição do consumo de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica, e consumo global de energia, em tep, na UPEF, ao longo do ano 2019.....	60
Figura 6.7 – Representação da percentagem que cada fonte de energia assume no total do consumo de energia na UPEF, no ano 2019.....	61
Figura 6.8 – Evolução do consumo global de energia e da produção de embalagens flexíveis, na UPEF, ao longo do ano 2019. ....	62
Figura 6.9 – Variação do consumo de energia com a produção de embalagens flexíveis, na unidade de produção de embalagens flexíveis. ....	63
Figura 6.10 – Evolução do consumo total energia, em tep, e do total das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), na unidade de produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019. ....	65
Figura 6.11 – Evolução do CEE global e de cada fonte de energia, na UPEF, ao longo do ano 2019. ....	67
Figura 6.12- Consumo específico de energia global e produção total de embalagens flexíveis para cada mês do ano 2019. ....	68
Figura 6.13 – Variação do consumo específico de energia (CEE) global com a produção de embalagens flexíveis, na unidade de produção de embalagens flexíveis. ....	69
Figura 6.14 – Distribuição percentual do consumo de energia elétrica por parte dos equipamentos instalados na UPEF .....	74
Figura 6.15 – Esquema representativo da máquina de complexagem com solvente, C7, presente na UPEF [20]. ....	75
Figura 6.16 – Imagem real da máquina C7 [20]. ....	77
Figura 6.17 – Tabela retirada do software do analisador de rede, onde indica as potências ativa, não ativa/reactiva e aparente e o fator de potência.....	81
Figura C.1 – Uso da ferramenta Solver do Excel, para encontrar os consumos de energia diários de cada equipamento com correção, o fator de carga corrigido, e o fator de correção. ....	104



## Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Direção do fluxo de ar e processos pelos quais passam os três leitos compactos num ciclo completo [12].....	23
Tabela 5.1 – Dados relativos à produção mensal de solventes no ano de 2019, na SRU. ....	34
Tabela 5.2 - Consumos de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica e consumo global, em tep, na SRU, para cada mês do ano 2019. ....	40
Tabela 5.3 – Emissões de gases de efeito de estufa (GEE) para cada fonte de energia, e GEE global, na SRU, ao longo dos meses do ano 2019. ....	45
Tabela 5.4 – Intensidade carbónica para cada mês do ano 2019. ....	47
Tabela 6.1 – Dados relativos à produção mensal de filmes flexíveis no ano 2019, na UPEF. ....	52
Tabela 6.2 – Consumo de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica e consumo global, em tep, na UPEF, para cada mês do ano 2019. ....	59
Tabela 6.3 – Emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para cada fonte de energia, e GEE global, na UPEF, ao longo dos meses do ano de 2019.....	64
Tabela 6.4 – Intensidade carbónica, na UPEF, para cada mês do ano 2019. ....	66
Tabela 6.5 – Potência instalada em cada equipamento da UPEF e respetivas horas de trabalho estimadas por dia. ....	71
Tabela 6.6 – Potência instalada em cada equipamento da UPEF e respetivas horas de trabalho estimadas por dia (continuação). ....	73
Tabela 6.7 – Registo das medições feitas ao longo do trabalho na máquina de complexagem com solvente C7.....	78
Tabela 6.8 – Dados para substituir nos balanços.....	79
Tabela A.1 – Quantidade, em volume, de acetato de etilo e mistura de solventes produzido em cada mês no ano de 2019.....	87
Tabela A.2 – Massas volúmicas dos solventes.....	87
Tabela A.3 – Consumos de gás natural, de vapor de aquecimento e de energia elétrica, para a unidade SRU, nos vários meses do ano 2019.....	88
Tabela A.4 – Resultados para o consumo específico de energia global, e para cada uma das fontes de energia consumidas, para a unidade SRU, para cada mês do ano 2019.....	93

Tabela B.1.- Consumos de gás natural, vapor de aquecimento e energia elétrica, nos diferentes meses do ano 2019.....	96
Tabela C.1. -Apresentação da potência instalada em cada equipamento, horas de trabalho estimadas por dia, fator de carga presumido, e após a correção, e da energia consumida diariamente por cada equipamento.....	98
Tabela C.2 – Apresentação do consumo real de energia elétrica total anual, do consumo diário total, do consumo diário correspondente à iluminação e aos equipamentos.....	101
Tabela C.3 - Luminárias presentes na UPEF, respetiva potência instalada, nº de horas ligadas e consumo anual das mesmas.....	102
Tabela D.1. – Medições da velocidade de exaustão do ar na chaminé da máquina C7. .....	105
Tabela D.2. – Composição da mistura de cola. ....	108

## Nomenclatura

### Siglas

CEE	Consumo específico de energia
COT	Carbono orgânico total
COV	Compostos orgânicos voláteis
EDP	Energias de Portugal
EVOH	Copolímero etileno-álcool vinílico
FE	Fator de emissão
FID	Detetor de ionização por chama
GEE	Gases com efeito de estufa
IC	Intensidade carbónica
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PET	Polietileno tereftalato/poliéster
PNAEE	Plano nacional de ação para a eficiência energética
PP	Polipropileno
PREn	Plano de racionalização de consumos energéticos
PTN	Condições normais de pressão e temperatura (1 atm; 0 °C)
RTO	Regenerative thermal oxidizer
SGCIE	Sistema de gestão de consumos intensivos de energia
SRU	Solvent recovery unit
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
UPEF	Unidade de produção de embalagens flexíveis
URE	Utilização racional de energia
UTA	Unidade de tratamento de ar
VAB	Valor acrescentado bruto
VLE	Valor limite de emissão

### Variáveis

cp	Calor específico ( $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ )
----	---

Hv	Entalpia de vapor saturado ( $\frac{kJ}{kg}$ )
$\dot{m}$	Caudal mássico ( $\frac{kg}{h}$ )
Q	Potência térmica (kJ)
r	Coefficiente de correlação
T	Temperatura (°C)
$\rho$	Massa volúmica ( $\frac{kg}{m^3}$ )
$\eta$	Rendimento (%)

## 1. Introdução

Neste capítulo será feito um enquadramento ao tema da dissertação, identificando os principais objetivos da mesma. É apresentada, também, uma breve descrição do grupo Monteiro, Ribas e especificar-se-á a Monteiro Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.

### 1.1. Enquadramento e objetivos

Foi no âmbito da unidade curricular Dissertação/Estágio que o presente trabalho foi desenvolvido, com o objetivo de dar por concluído o Mestrado em Engenharia Química, do ramo de Energia e Biorrefinaria do Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O estágio decorreu na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A e teve como principal objetivo estudar em termos de consumo de energia, uma máquina representativa da tecnologia de impressão por flexografia, uma máquina representativa da tecnologia de impressão por rotogravura, outra que representasse a complexagem com solvente e por último uma que representasse a complexagem sem solvente. Contudo devido à pandemia SARSCOV-2 (COVID-19) isto não foi possível, acabando apenas por ser acompanhado um único trabalho numa máquina de complexagem com solvente.

Outro dos objetivos desta dissertação passou pelo levantamento e análise energética da Unidade de Recuperação de Solventes (*Solvent Recovery Unit* – SRU), e da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis (UPEF). Sendo que foi feito um levantamento de todas as máquinas da produção e equipamentos auxiliares que consumissem energia elétrica.

### 1.1. Grupo Monteiro, Ribas

A Monteiro, Ribas – Indústrias, S.A, iniciou a sua atividade no ano 1937, ano em que uma sociedade constituída por Manuel Alves Monteiro e António de Bessa Ribas adquire as instalações da Companhia Portuguesa de Curtumes, situada na estrada Exterior da Circunvalação, no Porto, que ainda é a sua atual localização, como se mostra na figura 1.1. Deu-se, então, a criação da denominada Fábrica Portuguesa de Curtumes Monteiro, Bessa Ribas & Ca Lda.

Com o surgimento de novos materiais alternativos ao couro, no início da década de 60 a empresa opta por dar início à produção de artigos de borracha. Com isto, para além do mercado do calçado, foi possível abranger outros mercados de elevada importância, como a indústria automóvel, civil ou ferroviária.

Em 1962 arranca a fábrica dos Plásticos, destinando-se à extrusão de polietileno e impressão em flexografia, produzindo embalagens flexíveis que tem como foco principal a indústria alimentar.

Mais tarde, em 1967 cria-se a fábrica de Revestimentos, visando satisfazer as indústrias de estofos, marroquinaria e calçado.

Em junho de 1992 surge nas instalações da Monteiro, Ribas um sistema de trieração, que resultou em significativas poupanças energéticas para a empresa. Esta unidade permitiu a produção de energia elétrica suficiente para cobrir as necessidades da fábrica, existindo ainda aproveitamento térmico da energia gerada. A energia elétrica produzida em excesso era então enviada para a rede da Energias de Portugal, EDP.

A área dos curtumes foi tendo uma quebra em comparação com os restantes bens produzidos pelo grupo, tendo esta parte do negócio sido vendida em 2010 [1,2].



Figura 1.1 – Localização das instalações da Monteiro, Ribas S.A [2].

Atualmente a Monteiro, Ribas encontra-se dividida em várias unidades fabris:

- Borracha
- CTB – Componentes Técnicos em Borracha

- Monteiro, Ribas – Revestimentos
- Monteiro, Ribas – Produção e Distribuição de energia
- Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis

### Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A

Esta unidade fabril iniciou a sua atividade em 1962, sendo que, como já referido, começou por produzir filmes plásticos a partir da extrusão de polietileno e por fazer apenas impressão por flexografia.

A partir da década de 90 iniciou o reforço da sua posição a nível de exportações, especializando-se no mercado agroalimentar. Em 2005, 50 % da receita da empresa era proveniente da exportação, e atualmente essa percentagem é de cerca de 90 %. A empresa iniciou atividade como uma divisão do grupo Monteiro, Ribas, tendo-se tornado legalmente independente a partir de 2004, mantendo o grupo Monteiro, Ribas como principal acionista. Assim criou-se, a ainda hoje denominada Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A [1,3].

A fábrica conta atualmente com cerca de 330 colaboradores, e por isso esta unidade assume uma importância crescente dentro do ramo de atividades do grupo Monteiro, Ribas [3].

A unidade das embalagens flexíveis, é uma empresa especializada na impressão e complexagem de filmes e na confeção de sacos de diferentes formatos, destinados, na sua maioria, à indústria alimentar. Atualmente, a tecnologia e equipamento existentes na unidade fabril da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis permitem a impressão de embalagens por rotogravura e flexografia até 10 cores. Os materiais mais utilizados nas embalagens produzidas na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis são o polietileno tereftalato/poliéster (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliamida (PA), alumínio e filme metalizado.

A empresa é certificada pela ISO 9001, ISO 22000 e pela Global Standard for Packaging and Packaging Materials.

Atualmente, existem 4 máquinas que permitem a impressão por flexografia e 5 por rotogravura, sendo o primeiro método de impressão mais económico, mas por outro lado pode implicar uma menor resolução das imagens impressas. Em relação à complexagem, existem 4 máquinas de complexagem com solvente e 2 sem solvente. Tanto a etapa da impressão, como a de complexagem requerem a utilização de

solventes de modo a diluir e baixar a viscosidade, respetivamente, das tintas e dos adesivos utilizados.

Para tratar estes solventes existem as unidades auxiliares, *Solvent Recovery Unit* (SRU) e *Regenerative Thermal Oxidizer* (RTO), estas trabalham de forma a reduzir as emissões de solvente para a atmosfera, sendo que dependendo da natureza do solvente, este pode ser recuperado na SRU ou então queimado no RTO.

A unidade de recuperação de solventes (SRU) foi instalada em 2011, e surgiu pela necessidade de satisfazer requisitos legais de emissões gasosas, estando a atividade da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis regulamentada pelos decretos-leis 78/2004; 127/2013, pela Portaria 80/2006 e pela Licença Ambiental no 386/0.0/2010. O valor limite de emissão (VLE) de compostos orgânicos voláteis (COV) para a atmosfera é de 100 mg/m<sup>3</sup> (PTN) em condições normais de pressão e temperatura (PTN).[1] Ao mesmo tempo que esta unidade diminui o impacto ambiental, permite uma poupança significativa na fatura anual da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, já que permite a recuperação e reutilização de uma alta percentagem de solventes.

## 1.2. Organização da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 7 capítulos.

O capítulo 2 detalha o processo produtivo de embalagens flexíveis na Monteiro, Ribas. No capítulo 3 apresenta-se detalhadamente o funcionamento da Unidade de Recuperação de Solventes (SRU) e do *Regenerative Thermal Oxidizer* (RTO). O capítulo 4 explica como é feita a gestão energética nas indústrias em Portugal. Já o capítulo 5 e 6 faz-se um estudo dos consumos de energia na SRU e na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis (UPEF), respetivamente, e também se apresentam os dados relativos à produção de solventes na SRU e de embalagens flexíveis na UPEF.

Por último, o capítulo 7 refere-se às conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## 2. Processo produtivo

Neste capítulo apresenta-se uma descrição de cada tecnologia associada à produção de embalagens flexíveis, dando ênfase à impressão por rotogravura e flexografia e também à complexagem com e sem solvente.

### 2.1. Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis

A unidade fabril encontra-se subdividida em várias secções distintas. Estas encontram-se representadas no fluxograma geral de fabrico da figura 2.1.

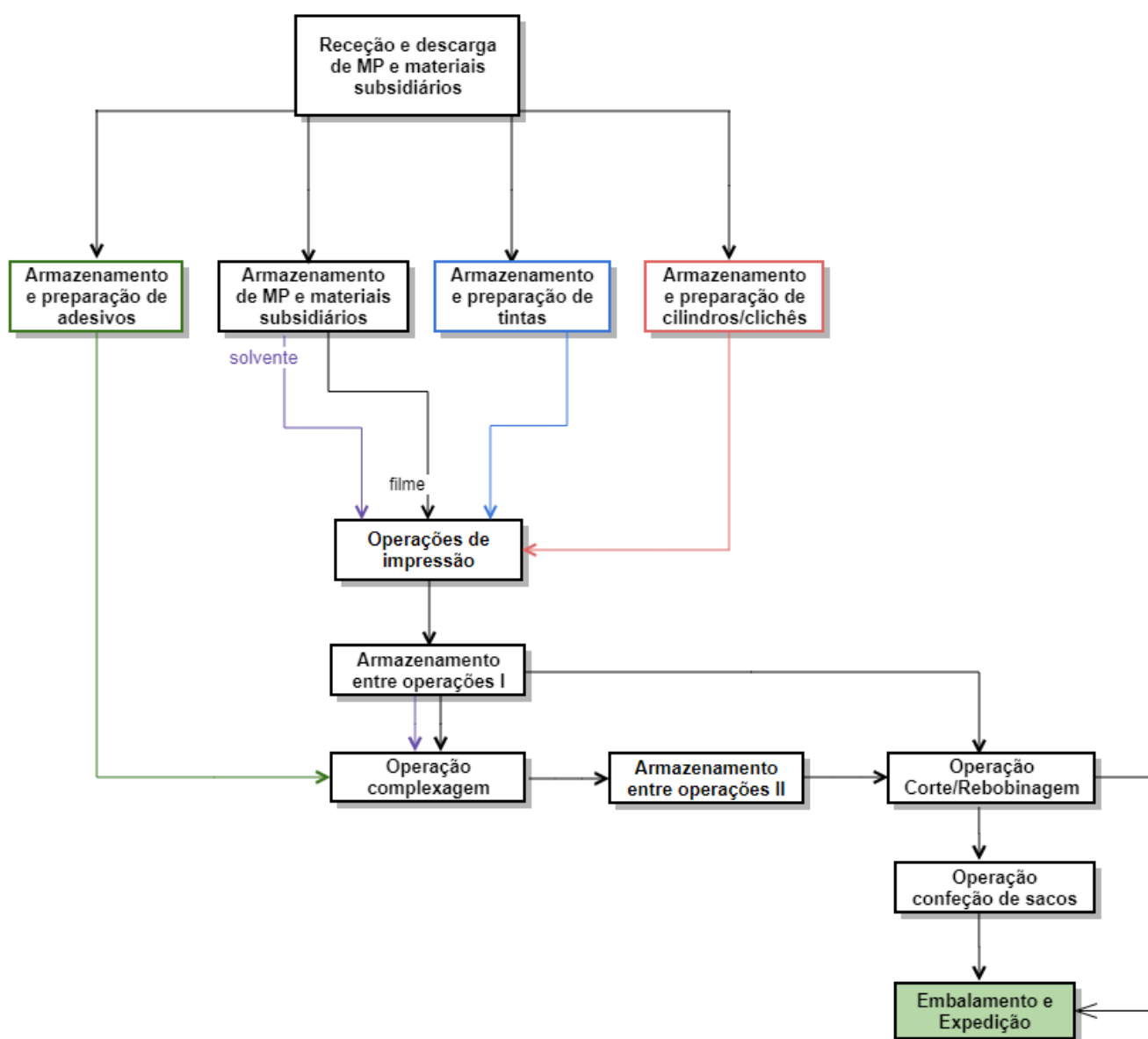


Figura 2.1 - Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis [3].

O funcionamento da unidade fabril compreende inicialmente a fase de recepção e descarga das matérias-primas que são os filmes, tintas, adesivos, aditivos e solventes, assim como, materiais subsidiários como os mandris, etiquetas, embalagens primárias, paletes, cilindros, entre outros.

As matérias primas são enviadas para a operação onde os filmes serão impressos. Aqui existem máquinas distintas, que funcionam por Rotogravura ou por Flexografia.

No que toca à complexagem, esta operação consiste na junção de dois ou mais filmes diferentes, por aplicação de adesivo. Normalmente o filme impresso vai ser unido a outro filme sem qualquer impressão.

Depois efetua-se o corte longitudinal das margens das bobinas de filme resultantes da impressão e/ou complexagem (bobine mãe) para obter bobines mais pequenas de acordo com as especificações do cliente. As bobines finais podem ser diretamente enviadas para o cliente, ou então a Monteiro, Ribas pode produzir os sacos.

Relativamente à confeção de sacos, é nas saqueiras que eles são produzidos de acordo com as especificações do cliente, sendo que podem ser de diferentes tipos e tamanhos, idênticos aos da figura 2.2.



Figura 2.2 – Bobines e sacos idênticos aos produzidos na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis [25].

## 2.2. Tecnologias de impressão

A nível industrial, existem atualmente, diferentes tipos de tecnologia de impressão, como por exemplo a serigrafia, tipografia, tampografia, *offset* e digital. A Monteiro, Ribas, como mencionado anteriormente, aplica a impressão por flexografia e por rotogravura [4].

### 2.2.1. Impressão por flexografia

A técnica de impressão por flexografia surgiu no início do século XX, de forma a substituir a tipografia, pois permitia uma impressão mais simples de materiais mais pesados, como o papel *kraft*. Mais tarde, com o surgimento dos filmes plásticos, e usando o conceito de impressão por tambor central, conseguiu-se realizar grandes progressos a nível da qualidade de impressão de filmes. Foi nesta altura, que se deu o nome de flexografia, de forma a marcar as diferenças desta técnica, para as anteriores já existentes. Na figura 2.3, encontra-se representado um esquema de uma impressora de seis cores de tambor central, tais como as existentes na Monteiro, Ribas [5].

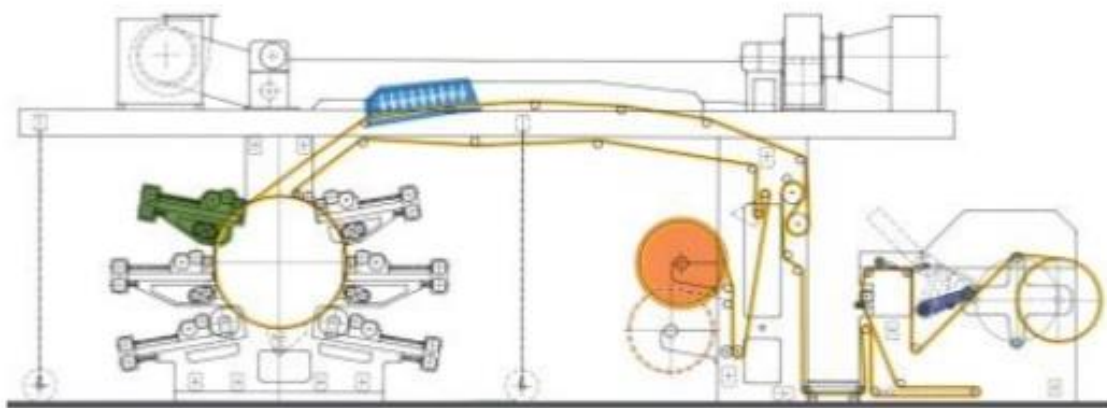


Figura 2.3 – Esquema representativo de uma impressora por flexografia de seis cores [1].

A zona representada a verde na figura acima, corresponde a uma unidade de impressão, que contém apenas uma cor. Neste tipo de máquinas as unidades de impressão estão todas em volta de um motor, designado tambor central, onde entra ar quente que vai secando o filme. É este motor que impulsiona o movimento do filme flexível pelas várias unidades de impressão, sendo este um percurso circular.

De modo a realizar a impressão, em cada unidade é utilizado um cliché de alto relevo, normalmente feito de borracha ou plástico, que possui as imagens que se pretende gravar no filme. Este, por sua vez, encontra-se acoplado a um cilindro, chamado cilindro porta-cliché. Para além deste, cada unidade de impressão possui ainda mais três cilindros, como se pode verificar na figura 2.4 [5].

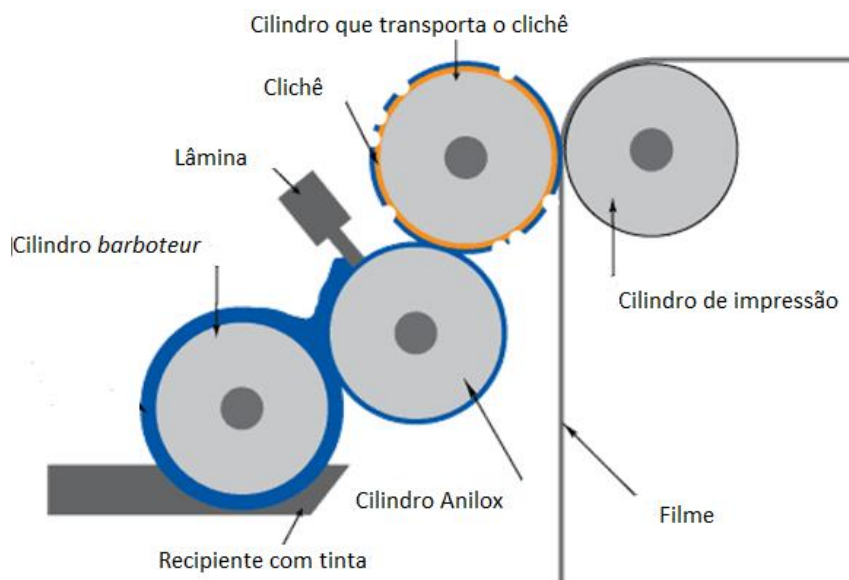


Figura 2.4 – Esquema representativo do funcionamento de uma unidade de impressão [3].

Inicialmente, a tinta presente no recipiente é transferida para o cilindro *barboteur*, que é um cilindro opcional, no caso das máquinas existentes na Monteiro, Ribas este não se usa. A tinta é transferida diretamente para o cilindro anilox, onde o excesso desta é retirado através de uma lâmina, de forma a garantir que a quantidade de tinta é uniforme ao longo de todo o cilindro. Do cilindro anilox a tinta é transferida para as zonas de relevo do cliché, e daí passa para o filme, com a ajuda do cilindro de impressão, que faz pressão no filme. De seguida passa para a próxima unidade de impressão e o processo repete-se. No final, o filme passa na estufa para secar [5].

O acetato de etilo danifica o material dos clichês, mas por outro lado é o composto com maior afinidade para dissolver as resinas e os restantes componentes das tintas, por isso na flexografia utiliza-se uma mistura de 90% de etanol e 10% de acetato de etilo para baixar a viscosidade das tintas. O metoxipropanol é um retardador de secagem das tintas usado também nesta tecnologia de impressão [3].

### 2.2.2. Impressão por rotogravura

As primeiras referências de utilização da técnica de impressão por rotogravura datam de 1910, na Alemanha. As máquinas de impressão por rotogravura, existentes na Monteiro, Ribas são semelhantes à representada na figura 2.5. Neste caso, a máquina é dividida em diferentes secções, sendo que cada uma delas confere uma cor ao filme, neste exemplo a máquina é de cinco cores, mas na UPEF pode ir até dez cores [5].

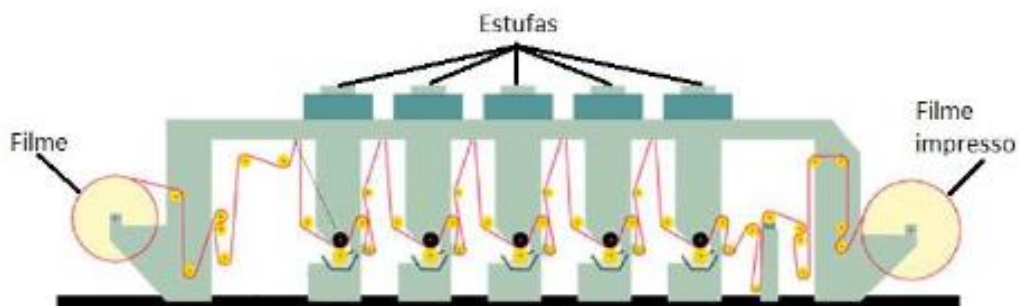


Figura 2.5 – Esquema representativo de uma impressora por rotogravura de cinco cores [1].

Na figura 2.6, encontra-se representado o funcionamento de cada secção.

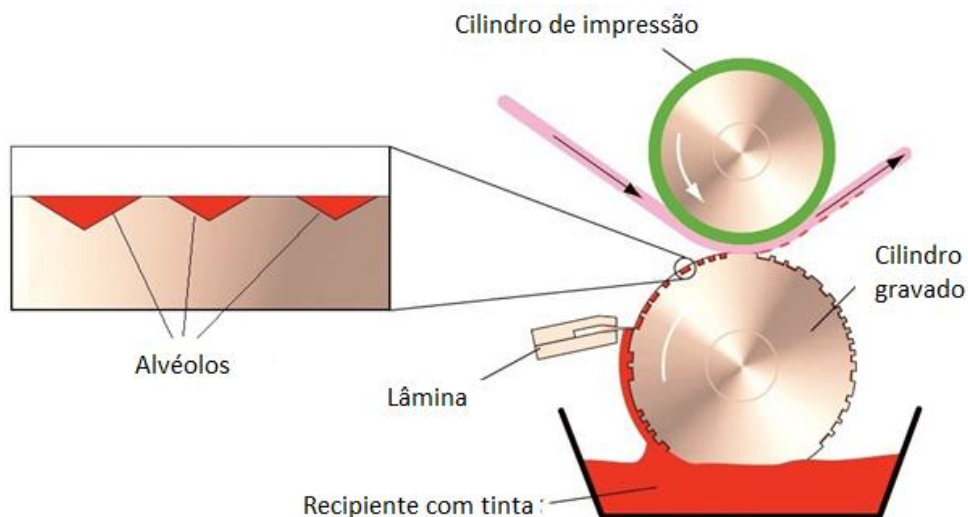


Figura 2.6 – Representação esquemática de uma unidade de impressão em máquinas de rotogravura. [7]

Neste caso, o cilindro que contém as gravuras que se pretende imprimir, está em contacto direto com a tinta, a tinta fica aprisionada nos alvéolos gravadas e com a ajuda de um raspador retira-se o seu excesso. Estes alvéolos podem ainda ter diferentes tamanhos e profundidade, permitindo criar um efeito *degradé*. O número de alvéolos por  $\text{cm}^2$  chama-se de trama [1].

A tinta, pela pressão exercida pelo cilindro de impressão, transfere-se para o filme. Esta pressão, para filmes poliméricos é cerca de 2 a 5 kg/cm<sup>2</sup> de filme [5].

A tinta encontra-se em constante circulação, sendo a sua viscosidade ajustada pelo operador, de acordo com a leitura num viscosímetro. Nas unidades de rotogravura as tintas são diluídas utilizando, normalmente, acetato de etilo como solvente. Nestas máquinas aproveita-se a mistura de solventes proveniente da SRU, onde se adiciona mais acetato de etilo para diluir as tintas.

O filme, depois de passar numa secção de cor, passa por uma estufa e segue para a próxima unidade de impressão, repetindo-se o mesmo processo da secção anterior.

Uma secagem eficiente é fundamental, uma vez que, é disso que estará dependente uma boa adesão da tinta ao filme e uma baixa quantidade de solventes residuais. A temperatura do ar alimentado à estufa é de 60 a 80 °C, que aumenta consoante a área da mancha de tinta.

É fundamental definir um limite de concentração de solventes no ar abaixo do limite de explosão, LEL, Low Explosion Level. O ar é renovado quando se encontra saturado de solvente, e este é enviado para a recuperação de solventes. Este controlo é feito automaticamente, através de um medidor de concentração que envia informação para ser feita a renovação do ar [5].

### 2.3. Tecnologias de complexagem

As embalagens flexíveis têm de possuir determinadas propriedades de forma a proteger o produto, para isso é necessário seleccionar os materiais mais adequados. Já que um só material não permite satisfazer todos os requisitos, a complexagem surge como forma de “adicionar” propriedades às embalagens.

Os filmes flexíveis devem possuir boas propriedades barreira, uma vez que se destinam maioritariamente à indústria agroalimentar. As propriedades barreira mais importantes são a impermeabilidade ao oxigénio, azoto e vapor de água, assim como a aromas. Outras propriedades importantes são a barreira à luz e a resistência a variações de temperatura [8].

Por exemplo, se o filme utilizado na impressão possuir uma elevada capacidade de barreira ao O<sub>2</sub>, mas possuir alta permeabilidade à água poderá ser necessário proceder à sua união com um material com reduzida permeabilidade à água,

melhorando as propriedades do produto final. Esse processo de união é conhecido por complexagem ou laminagem.

Dependendo do que se pretende obter como produto final e da natureza das matérias primas, a complexagem pode ser efetuada em máquinas que requerem ou não a utilização de solventes adicionados ao adesivo. Nos casos em que é necessário utilizar solvente, este é o acetato de etilo e os efluentes aqui produzidos são enviados para a SRU à semelhança dos efluentes provenientes das unidades de impressão. Os adesivos utilizados na Monteiro, Ribas –Embalagens Flexíveis são adesivos de poliuretano [3].

### 2.3.1. Complexagem com solvente

Na complexagem com solvente, é necessário utilizar uma proporção correta entre a cola, os aditivos e o solvente. Na figura 2.7 encontra-se um esquema representativo de uma máquina de complexagem com solvente, que é idêntico às máquinas C2, C5, C6 e C7 presentes na UPEF.

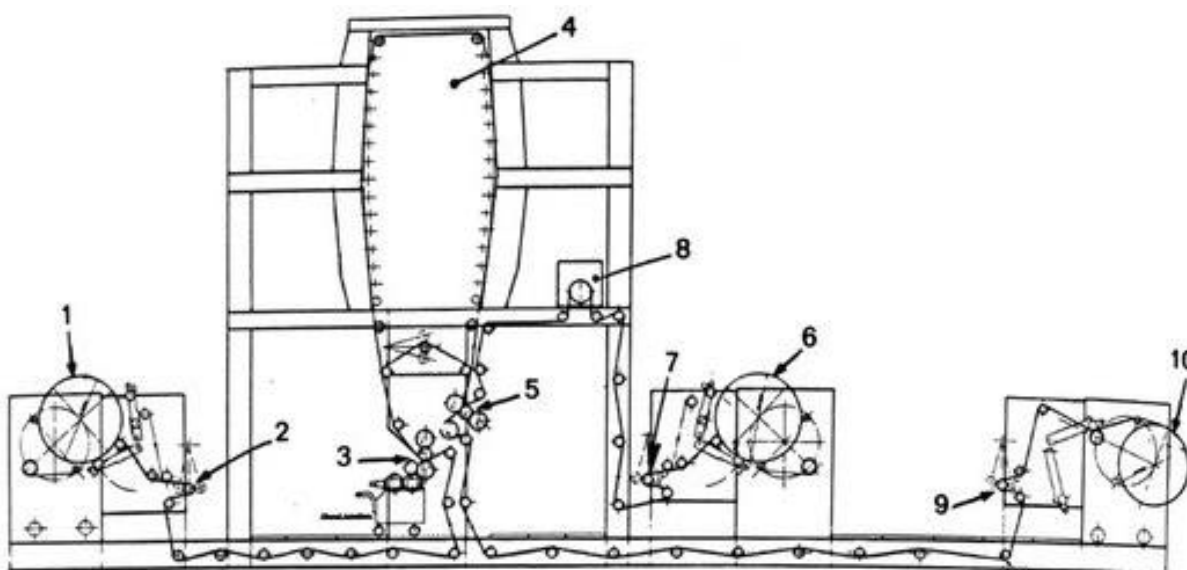


Figura 2.7 – Esquema representativo de uma máquina de complexagem com solvente [5].

No ponto 1 encontra-se o desbobinador primário, que contém o filme impresso que se pretende complexar, este filme é transportado até ao ponto 3 onde é mergulhado num recipiente que contém a mistura de cola, solvente e aditivos. A proporção dos componentes do adesivo é feita automaticamente por um doseador de acordo com o pretendido para cada trabalho Esta mistura adere ao filme com a ajuda de um rolo

pressor, e ainda com a lâmina que retira o excesso de mistura, tal como acontecia nas máquinas de impressão. Posteriormente, dá-se a evaporação de solvente na estufa, ponto 4. O solvente usado é o acetato de etilo, e serve para diluir a mistura de cola, para que a sua aplicação seja mais fácil e uniforme no filme, contudo é necessário este evaporar pois é a partir daí que a mistura aplicada ganha as suas propriedades adesivas e se dá a reticulação do adesivo.

No ponto 5 encontra-se a calandra, que é o conjunto de dois cilindros, um cromado que é aquecido, normalmente com água quente, sendo este o cilindro pressor, e outro de borracha. No meio destes cilindros, o filme impresso é unido com outro filme não impresso proveniente da bobine secundária, ponto 6. Utiliza-se o cilindro aquecido, pois a temperatura acelera a reação de reticulação.

Antes do filme não impresso chegar ao ponto 5, recebe o tratamento de corona, ponto 8. O tratamento de corona, consiste numa descarga electrostática contínua de alta voltagem e alta frequência que faz aumentar a tensão superficial dos filmes poliméricos. Este procedimento tem o objetivo de transformar os polímeros, tornando-os mais aderentes a outros materiais, como as tintas, vernizes e adesivos, com é o caso. A Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, compra aos seus fornecedores filme já com tratamento de corona, e por isso nas máquinas de complexagem só se recorre a este tratamento muito esporadicamente.

É a face tratada do filme não impresso que irá ser pressionada contra o filme impresso. Depois de unidos os filmes num só, seguem para o bobinador, ponto 10, obtendo-se assim a bobine mãe, que será posteriormente cortada em bobines mais pequenas.

Tratando-se de uma complexagem com solventes, após um período de 24 h, é que se finaliza a reticulação, e só então se poderá manipular a bobine novamente [3].

De salientar que os pontos, 2, 7 e 9, são rolos que servem apenas para os filmes seguirem direitos e esticados, chamados extensores de regulação, que fazem acelerar ou desacelerar a velocidade. Antes do filme ser enrolado na bobine mãe, normalmente existe um rolo onde passa água fria, proveniente de *chillers*, que serve para arrefecer o filme e este não deformar ao ser enrolado.

Nas complexadoras deste tipo, que são 4, existentes na Monteiro, Ribas – Embalagens flexíveis são produzidos filmes duplex ou triplex [3].

### 2.3.2. Complexagem sem solvente

Na figura 2.8 encontra-se um esquema representativo de uma complexadora sem solvente, como é o caso das máquinas C3 e C4 existentes na Monteiro, Ribas.

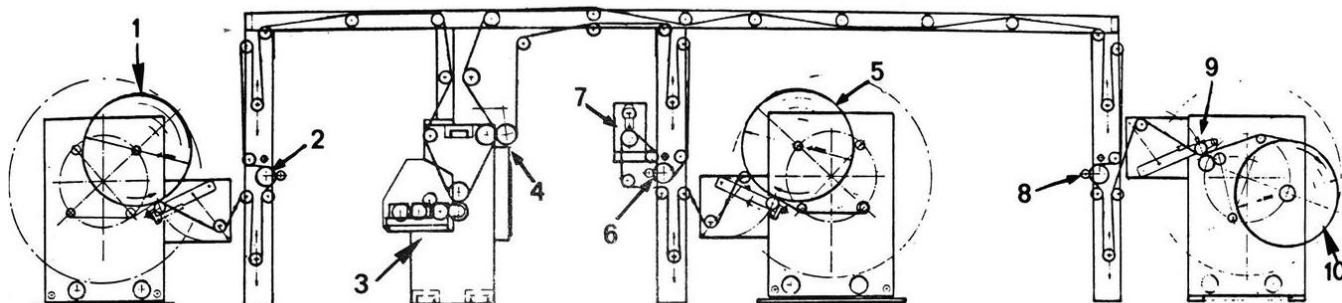


Figura 2.8 – Esquema representativo de uma máquina de complexagem sem solventes [5].

O funcionamento destas máquinas é bastante idêntico ao da figura 2.6, com a principal diferença que neste caso não existe a estufa, pois como não há adição de solvente não existe a necessidade de haver uma secagem antes da junção dos dois filmes, no ponto 4 da figura.

No ponto 1 encontra-se o desbobinador do filme impresso, e no ponto 5 o desbobinador do filme não impresso, que vai ser unido ao primeiro.

Neste caso, os componentes do adesivo são bombeados separadamente para duas panelas (não representadas na Figura 2.8). Estas estão isoladas termicamente e estão a uma determinada temperatura (30 °C a 60 °C) para a viscosidade dos componentes baixar e permitir a sua aplicação [8].

Esses só podem misturar-se pouco antes de serem utilizados, pois caso contrário começariam a reagir antes de serem aplicados no filme impresso [8]. A proporção dos componentes do adesivo é feita automaticamente por um doseador de acordo com o pretendido para cada trabalho.

Na zona de aplicação da cola, ponto 3, os rolos são aquecidos a uma temperatura entre 35 °C e 50 °C. Esta temperatura é atingida através do uso de água quente que irá circular no interior dos rolos.

A máquina C3, tal como nas complexadoras com solvente, possui um sistema de tratamento de corona, ponto 7. No entanto, na máquina C4 existe essa possibilidade, mas dado o pouco uso do tratamento de corona a empresa não fez essa instalação [3].

Depois de unidos os filmes num só, seguem para o bobinador, ponto 10, obtendo-se assim a bobine mãe, que será posteriormente cortada em bobines mais pequenas.

Os pontos 2, 6, 8 e 9, são rolos que servem apenas para que os filmes sigam direitos e esticados. Tal como anteriormente, antes do filme ser enrolado na bobine mãe, normalmente existe um rolo onde passa água fria, proveniente de *chillers*, que serve para arrefecer o filme e este não deformar ao ser enrolado.

### 3. Recuperação e queima de solventes

Na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis existe a produção de compostos orgânicos voláteis (COV), que derivam da utilização de solventes no processo de impressão e de complexagem. Em termos de regulamentação a empresa encontra-se abrangida pelos decretos-leis 78/2004; 127/2013, Portaria 80/2006 e Licença Ambiental nº 386/0.0/2010, estando sujeita a um valor limite de emissão de COV de 100 mg/m<sup>3</sup> (PTN) [1].

O investimento em unidades de recuperação de solventes na indústria tem vindo a aumentar nos últimos anos, porque para além de permitir a resolução de um problema ambiental, pode igualmente ser uma solução economicamente interessante, uma vez que, promove a reutilização de solvente.

Surgiu, então em 2011, na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis a Unidade de Recuperação de Solventes. Como o próprio nome indica a SRU é uma unidade que permite recuperar os solventes contidos numa corrente de efluentes gasosos produzidos na UPEF e ao mesmo tempo purificar o efluente gasoso para que possa ser enviado para atmosfera.

A incineração total dos COV era outra opção para a necessidade do tratamento dos efluentes gasosos produzidos, contudo pensou-se que a criação da SRU seria mais interessante a nível económico, uma vez que, permite a reutilização dos solventes. Apesar de ser uma tecnologia cara, é vantajosa em unidades que consumam elevadas quantidades de solventes e onde a maioria é evaporada durante o processo. Este é o caso da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, em que diariamente são consumidos cerca de 5000 L de acetato de etilo, com tendência para aumentar este valor ao serem instaladas novas máquinas de impressão e complexagem [3].

Contudo, nem todos os solventes utilizados conseguem ser recuperados na SRU. Os solventes tratados são provenientes essencialmente das unidades de impressão por rotogravura e das unidades de complexagem de filmes flexíveis. Como nas unidades de impressão por flexografia são utilizados retardantes como o metoxipropanol o ar contaminado é enviado para o sistema RTO, onde são incinerados, uma vez que este composto possui um ponto de ebulição elevado, cerca de 120 °C, tornando difícil e a sua separação, por destilação [9].

### 3.1. Unidade SRU (Sistema de Recuperação de Solventes)

A corrente gasosa, proveniente da unidade fabril, é conduzida desde as estufas das máquinas de impressão e complexagem até à unidade de recuperação de solventes, através de dois ventiladores que constituem o sistema de aspiração.

As estufas possuem aberturas na zona inferior, para permitir a circulação do filme impresso, existindo algumas perdas de solvente por esta zona. Por outro lado, como o solvente é misturado com as tintas e colas em recipientes abertos, perde-se também algum solvente por esta zona. Por essas, e por razões relacionadas com o rendimento da SRU, é impossível recuperar todo o solvente utilizado. A corrente aspirada contém maioritariamente acetato de etilo e etanol, podendo ainda conter concentrações variáveis de isopropanol, acetato isopropílico, etoxipropanol, propanol, entre outros.

A temperatura dessa corrente vai diminuindo devido a perdas de calor por convecção e radiação, baixando desde os 60 °C (temperatura média do interior das estufas) até aproximadamente 45 °C.

À entrada da unidade de recuperação de solventes existe um filtro de ar, de forma a que algumas partículas sólidas fiquem retidas no mesmo. Para que a corrente arrefeça até temperaturas entre 30 e 35 °C, a instalação possui duas serpentinas nas quais circula água de refrigeração.

A corrente arrefecida dirige-se para os leitos de adsorção. A tecnologia adotada na SRU é a adsorção física. Na instalação em questão existem 5 leitos fixos posicionados em paralelo com 9000 kg de adsorvente cada, onde 4 deles encontram-se a adsorver e 1 a regenerar. Os leitos são regenerados um de cada vez, sendo que o responsável pela SRU gere a ordem em que cada leito é colocado a regenerar de forma a que nenhum atinga a saturação.

O carvão ativado é o adsorvente escolhido, e é nele que ficam retidos os diferentes compostos presentes na corrente proveniente da produção, os adsorvatos. A concentração de solvente contida na corrente gasosa, alimentada à unidade de adsorção é em média de 3,7 g/m<sup>3</sup> (PTN) (expressa como Carbono Orgânico Total – COT). O ar purificado, que deve ter um teor máximo de 100 mg/m<sup>3</sup> (PTN), expresso em COT, é encaminhado para uma chaminé, sendo libertado para a atmosfera. A análise dos compostos orgânicos totais é feita por cromatografia gasosa contínua, com um detetor

de ionização com chama (Flame Ionization Detector - FID). A descrição feita acima pode ser visualizada esquematicamente na figura 3.1.

Existe, ainda, um leito adicional, de peneiros moleculares, que serve para reter a água que possa existir na corrente de solventes recuperados durante a fase de regeneração.

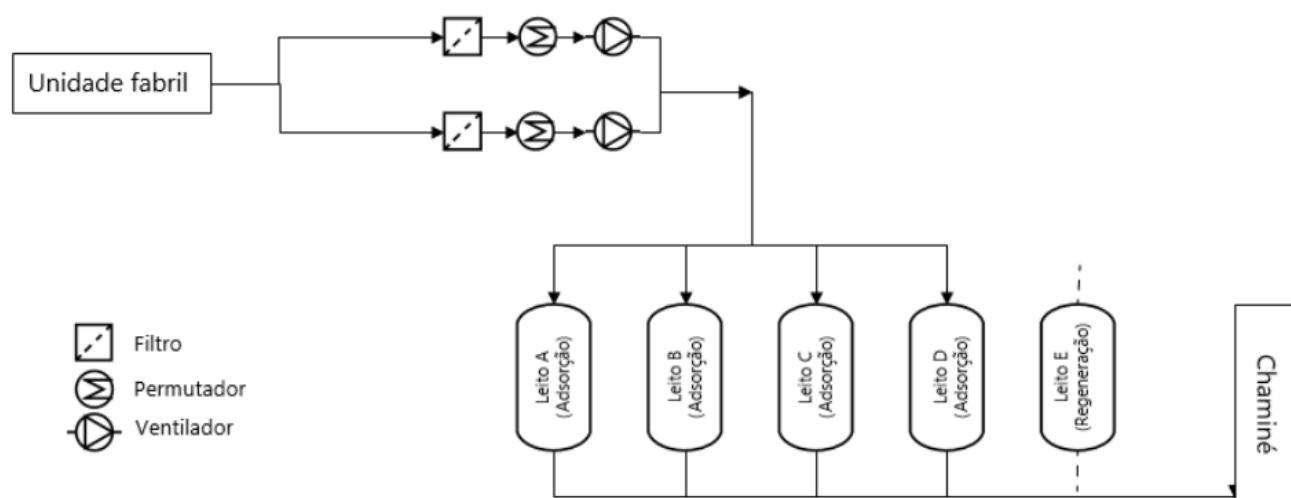


Figura 3.1 – Representação do funcionamento da unidade de recuperação de solventes [1].

### 3.1.1. Regeneração dos leitos

A regeneração dos leitos de carvão ativado é um processo muito importante, pois permite que se recuperem os solventes adsorvidos.

A regeneração de cada leito de adsorção pode ser iniciada automaticamente quando a concentração da sua corrente de saída atinge  $100 \text{ mg/m}^3$  (PTN), mas normalmente nunca se deixa chegar a este valor, sendo que assim nenhum leito fica saturado.

A primeira etapa da regeneração é a inertização do leito, que é conseguida através da passagem de azoto, a uma temperatura de cerca de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , pelo carvão ativado durante aproximadamente 5 minutos, de modo a remover a maior parte do oxigénio que possa estar presente. O nível de oxigénio deve ser reduzido até 2 a 3 %. Esta é uma etapa importante do processo uma vez que a mistura de solventes, no estado gasoso, com o ar é considerada uma mistura inflamável.

Na figura 3.2 encontra-se o processo de inertização esquematizado.

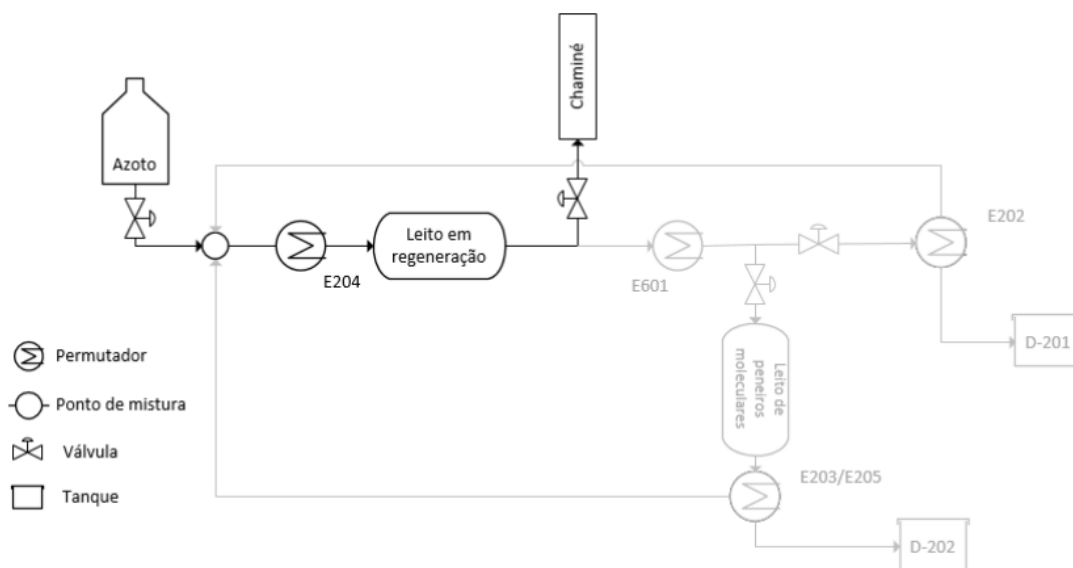


Figura 3.2 – Representação esquemática da primeira etapa, processo de inertização do leite [1].

Estando o nível de oxigénio no intervalo definido, dá-se o início do processo de aquecimento do leite. Este é feito com azoto à temperatura de cerca de 200 °C e à pressão de 0,4 barg.

O azoto é aquecido num permutador de calor (E204), que utiliza dois fluidos de aquecimento: vapor a 9 barg e 180 °C, e óleo térmico a 260 °C, uma vez que, o vapor não seria suficiente para elevar a temperatura do azoto até os pretendidos 200 °C.

O vapor é proveniente da unidade de trigeração da Monteiro, Ribas, enquanto o óleo térmico é proveniente de uma caldeira acoplada à SRU.

Numa segunda etapa, a corrente de azoto que contém os compostos dessorvidos é arrefecida num permutador que utiliza água de arrefecimento como fonte fria, E601. Esta mesma corrente, passa de seguida, no permutador E202, onde se dá a condensação da água presente na corrente e que é essencialmente proveniente da humidade do ar. Este permutador, utiliza como fonte fria uma mistura de água glicol que é proveniente de um *Chiller*. Esta mistura abandona o *Chiller* a aproximadamente -15°C, contudo entra no permutador a uma temperatura entre 2 e 5°C, devido à existência de uma bomba que faz aumentar a sua temperatura e pressão.

O processo de condensação da água demora cerca de 15 minutos, e encontra-se esquematizado na figura 3.3. A água que condensa é pouca, para cada 700L de solvente recuperado há um armazenamento de cerca de 30L de água, ou seja, 4% da corrente.

Esta é armazenada e posteriormente evaporada e realimentada aos leitos de adsorção, evitando o recurso a outro tipo de tratamentos que exigiam custos, já que se encontra contaminada com vestígios de solvente. Como o carvão ativado tem pouca afinidade com a água, esta vai evaporando e vai-se perdendo.

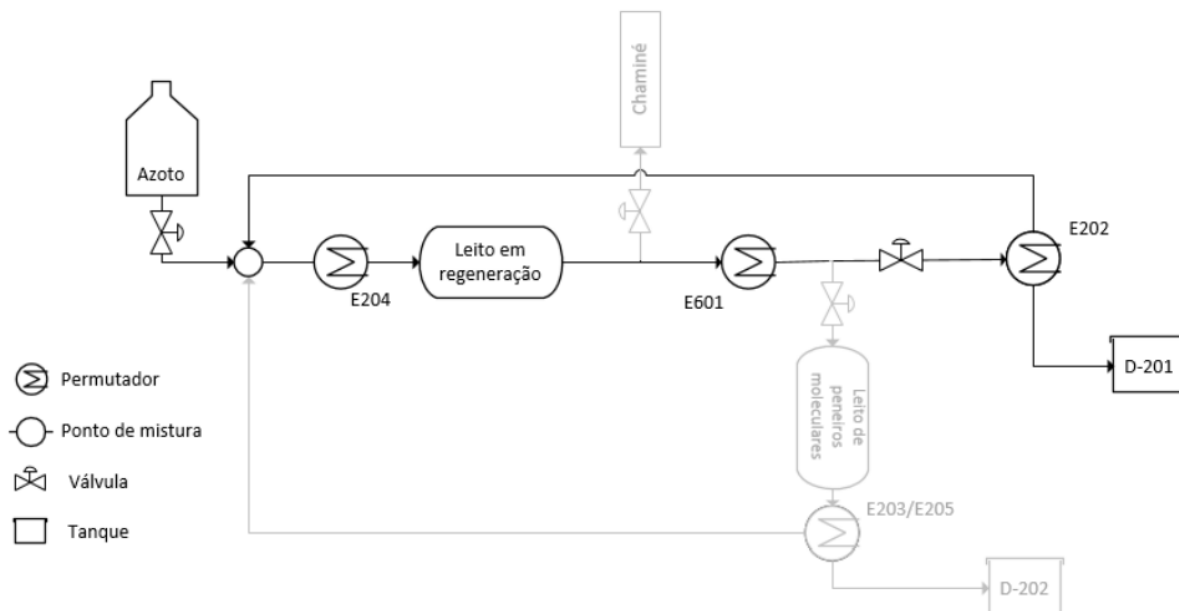


Figura 3.3 – Representação esquemática da segunda etapa, condensação da água [1].

Na terceira etapa, representada na figura 3.4, dá-se a condensação de solvente, onde a corrente de azoto, ainda com alguma água, passa primeiramente por um leito de peneiros moleculares a fim de reter a água que possa conter. De seguida, é alimentada a outro permutador, E205/E203, de forma a condensar o solvente para o tanque D-202, sendo posteriormente enviado para o tanque TK-300, que alimenta a destilação.

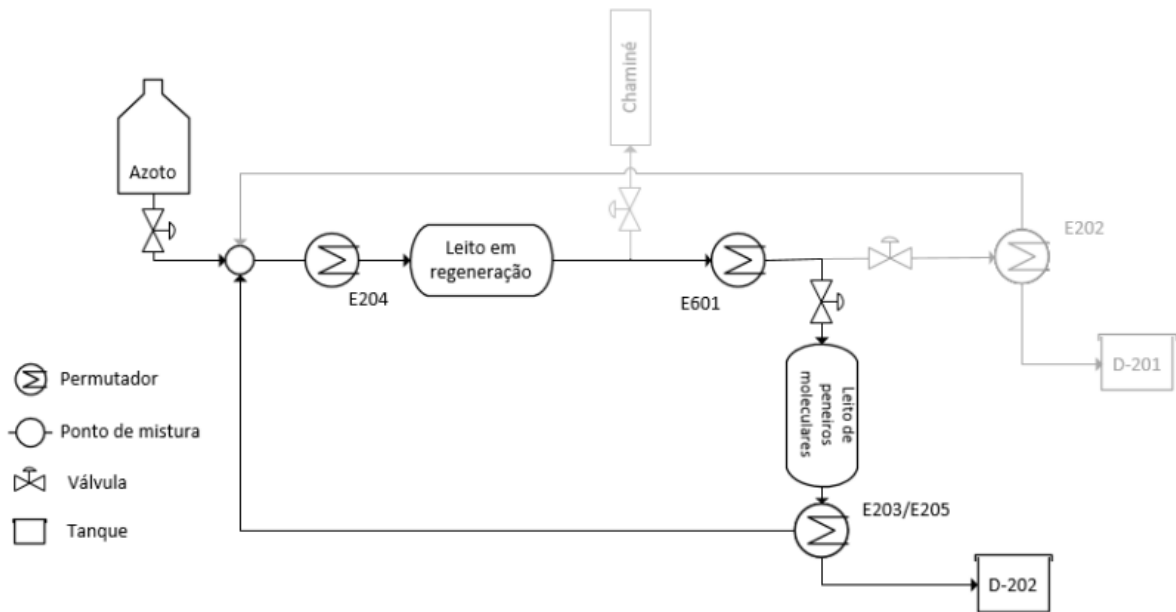


Figura 3.4 – Representação esquemática da terceira etapa, condensação de solvente [1].

### 3.1.2. Destilação fracionada

Adicionalmente, para que os solventes possam ser reutilizados, é necessária a sua purificação e separação, utilizando para tal duas colunas de destilação fracionada colocadas em série.

Neste tipo de destilação a corrente de alimentação é introduzida a meio da coluna, e desce ao longo da mesma, contactando em contracorrente com vapor de que ascende na coluna. Com este aquecimento, o componente mais volátil vaporiza e sobe, enquanto que o líquido fica cada vez mais rico no componente menos volátil. O vapor que chega ao topo da coluna é condensado, num condensador, voltando uma parte à coluna, como refluxo, e sendo a outra parte retirada sob a forma de destilado. Por outro lado, o líquido que chega ao rebulidor é parcialmente vaporizado, através da troca de calor com vapor de aquecimento, sendo o resíduo líquido retirado da coluna, como se pode verificar pelo esquema da figura 3.5 [10].

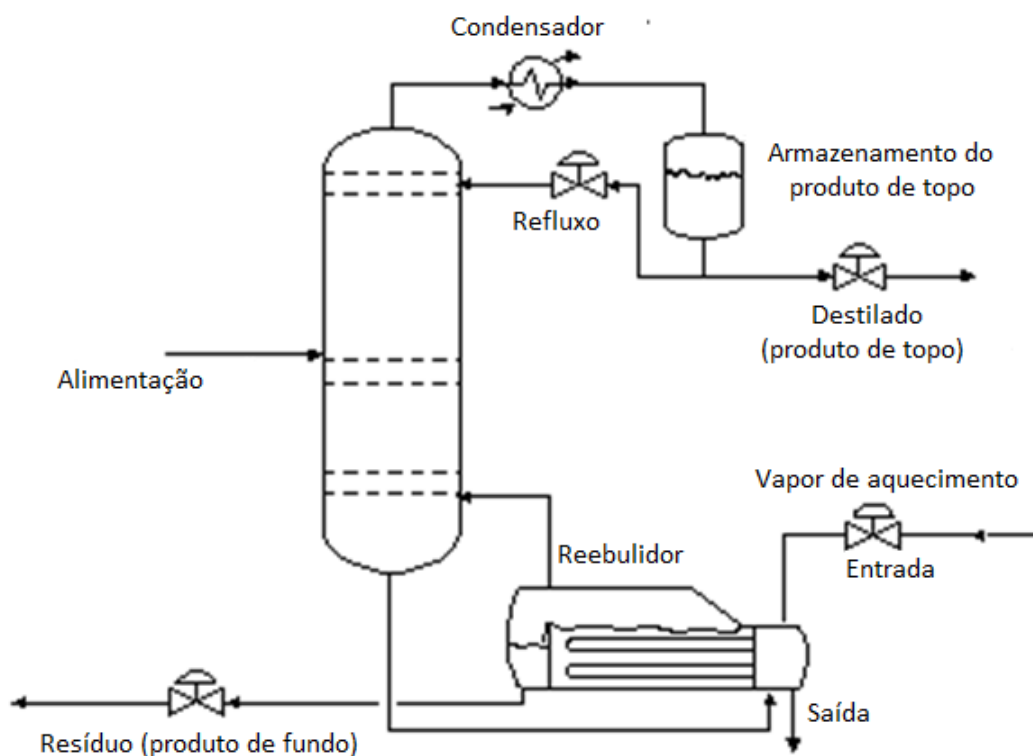


Figura 3.5 – Representação esquemática de uma coluna de destilação fracionada [10].

Estas colunas são constituídas por vários pratos que visam aumentar a área e o tempo de contacto. A configuração dos pratos visa igualmente evitar o arrastamento da fase líquida pelo vapor, ou vice-versa.

Na SRU as colunas de destilação funcionam da forma que se encontra esquematizada na figura 3.6, neste esquema não se encontra ilustrado os condensadores nem os reebulidores que pertencem às colunas de destilação.



Concluindo, do processo de destilação obtém-se como produto de cauda acetato de etilo com uma pureza de cerca de 99,3 %, e no topo retira-se uma mistura azeotrópica de solventes: 75% acetato de etilo e 25% etanol.

Como já referido, esta mistura é usada nas máquinas de impressão por rotogravura juntamente com mais acetato de etilo.

### 3.2. Unidade RTO (Regenerative Thermal Oxidizer)

O equipamento *Regenerative Thermal Oxidizer* (RTO) instalado na Monteiro Ribas, é constituído por três torres, que possuem leitos de cerâmica.

No RTO em questão, cada leito compacto passa por três processos: entrada de ar contaminado, exaustão de ar tratado e purga. Cada processo é alcançado alterando uma sequência de válvulas, um período consiste numa sequência completa de troca de válvulas e um ciclo completa-se quando os 3 leitos passaram pelos três processos distintos, como se encontra detalhado na tabela 3.1 [12].

Tabela 3.1 - Direção do fluxo de ar e processos pelos quais passam os três leitos compactos num ciclo completo [12].

Ciclo	Período	Leito compacto A	Leito compacto B	Leito compacto C
1	1	Entrada	Saída	Purga
	2	Purga	Entrada	Saída
	3	Saída	Purga	Entrada

Na figura 3.7, encontra-se uma representação esquemática de um *Regenerative Thermal Oxidizer* (RTO), com três leitos compactos.

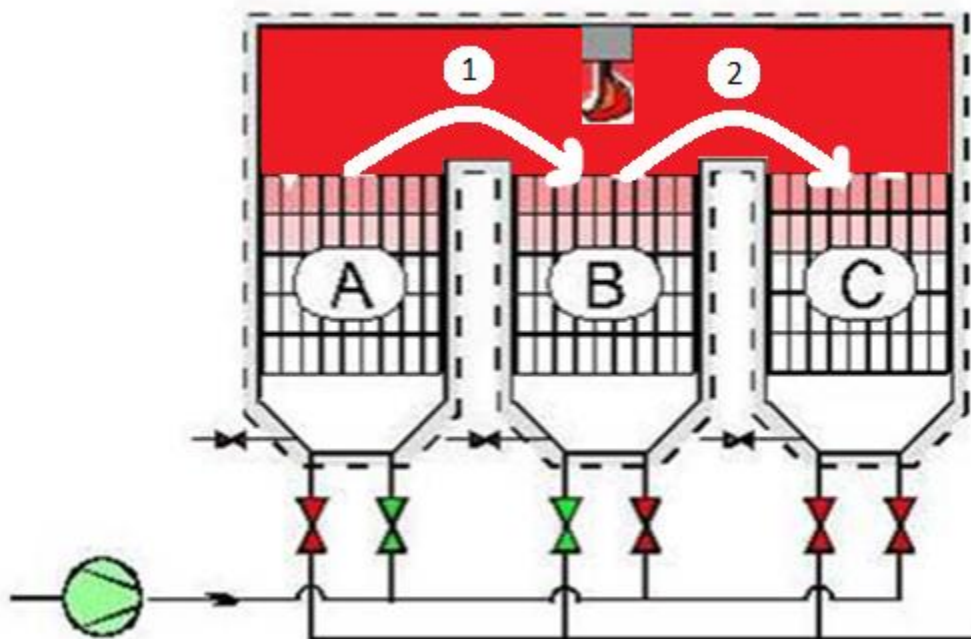


Figura 3.7 – Representação esquemática da unidade RTO [13].

O ar frio carregado de COV chega ao primeiro leito de cerâmica, previamente aquecido, verticalmente de baixo para cima. Durante esta passagem, o ar carregado é aquecido tanto quanto possível pelo leito, até atingir a temperatura de oxidação (750 °C a 800 °C em média), este processo retira calor do leito diminuindo a sua temperatura [13].

Caso a temperatura de oxidação não seja atingida através da autoignição das substâncias orgânicas presentes no ar poluído, recorrer-se-á ao auxílio de um queimador a gás, instalado na parte superior dos leitos [13].

Depois de saírem da câmara de oxidação, os gases purificados atravessam verticalmente o segundo leito, desta vez de cima para baixo, libertando o seu calor para o leito de cerâmica que inicialmente se encontra frio e passa a estar quente e pronto para receber uma corrente de gás contaminado proveniente da fábrica [13].

Em seguida, o terceiro leito remove os gases de escape não tratados resultantes das inversões de fluxo do período anterior, sopra-os para a câmara de oxidação novamente e assim aumenta a taxa de remoção de COV e a eficiência deste sistema [12].

Depois deste período concluído, as válvulas trocam e o leito 2 executa o processo de admissão de ar contaminado, o leito 3 executa o processo de exaustão de ar tratado e o leito 1 inicia um processo de purga.

A duração média dos períodos deste processo é de 90 a 120 segundos, regulada automaticamente por um software apropriado de acordo com a evolução dos principais parâmetros do processo e com outros fatores como conteúdo e natureza das substâncias orgânicas a diminuir [13].

Estes parâmetros do processo podem ser consultados em tempo real num sistema de supervisão, cuja página principal é a apresentada na figura 3.8.

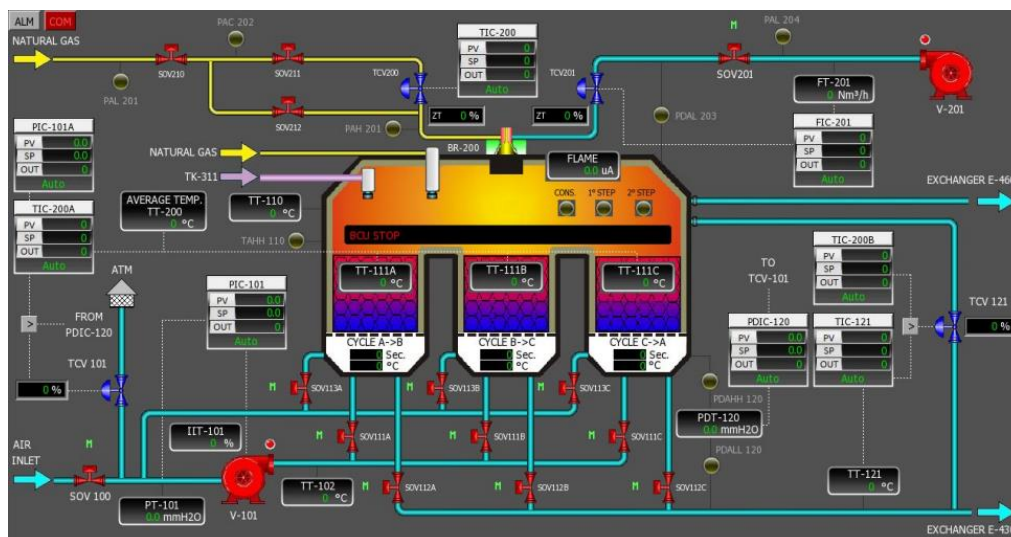


Figura 3.8 – Exibição gráfica do sistema RTO, para consulta de diversos parâmetros em tempo real [13].



## 4. Gestão Energética

A energia deve ser vista como um importante fator de produção equiparável à mão de obra, às matérias primas ou ao capital.

O panorama mundial energético está em constante mudança, quer pelo facto de cada vez mais, a população em geral ser dependente da energia, quer por força das alterações climáticas que obrigam a que sejam tomadas decisões para travar o escalar das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Essa problemática encontra-se intimamente ligada ao consumo de combustíveis fósseis, já que emitem para atmosfera grandes quantidades de CO<sub>2</sub>.

Os objetivos da política energética focam-se, essencialmente na segurança no abastecimento, no crescimento económico e na competitividade e sustentabilidade ambiental.

No que toca à energia, Portugal é um dos países que tem maior taxa de dependência externa, cerca de 77%, para o ano 2018, estando bastante acima da média europeia que ronda os 55%. Apresentando assim elevados índices de intensidade carbónica e baixa eficiência energética. Contudo, tem-se focado muito na exploração das energias renováveis, sendo um dos grandes objetivos para 2030 atingir 47% de renováveis no consumo final de energia, face aos 28% registados no ano 2018 [18].

A indústria é o segundo setor económico que mais consome energia com uma percentagem de 31%, tendo acima apenas o setor dos transportes que representa 37% do total [18].

O peso da fatura energética nos custos de exploração numa empresa do sector industrial é habitualmente baixo, se comparado com o peso de outros fatores de produção, nomeadamente mão-de-obra e matéria-prima. A gestão de energia é por isso frequentemente descurada, facto que gera significativos desperdícios de energia e contribui para a redução da competitividade das empresas, ou seja, estão a ser gerados desperdícios e emissões, desnecessariamente [14].

O conceito de Utilização Racional de Energia (URE), veio alterar decisivamente a forma de encarar a energia, proporcionando o mesmo nível de produção de bens e serviços, através de tecnologias que reduzam os consumos de energia face às soluções convencionais [15].

Da necessidade de promoção da eficiência energética em todos os sectores da sociedade Portuguesa, foi criado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência

Energética (PNAEE), que se divide em doze programas abrangendo vários sectores de atividade de forma a atuar nas várias vertentes da eficiência energética. No que toca à indústria é obrigatório às instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE), com consumos superiores a 500 tep/ano, que realizem auditorias energéticas abrangidas por um dos programas do PNAEE, que é o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), que é regulado pelo Decreto-Lei no 71/2008, de 15 de Abril de 2008.

É obrigatória a realização das seguintes auditorias energéticas:

- Nas instalações com consumo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano, com uma periodicidade de seis anos, sendo que a primeira é realizada quatro meses após o registo;
- Nas instalações com consumo de energia igual ou superior a 500 tep/ano, mas inferior a 1000 tep/ano, com uma periodicidade de oito anos, sendo a primeira realizada no ano seguinte ao registo.

#### 4.1. Auditoria Energética

Uma Auditoria Energética compreende a análise da utilização de energia num edifício/instalação e na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético [15].

Os seus principais objetivos são [14]:

- Identificar as formas de energia utilizadas;
- Examinar o modo como a energia é utilizada e os respetivos custos;
- Estabelecer a estrutura do consumo de energia;
- Determinar os consumos por processo, operação ou equipamento;
- Relacionar o consumo de energia com a produção e/ou com o nível de funcionamento da instalação;
- Identificar as possibilidades de melhoria dos rendimentos energéticos;
- Analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;
- Estabelecer metas de consumo de energia;
- Propor um programa para as ações e investimentos a empreender;
- Propor, se inexistente, um sistema organizado de gestão de energia na empresa.

Uma auditoria energética compreende as fases que se encontram na figura 4.1.

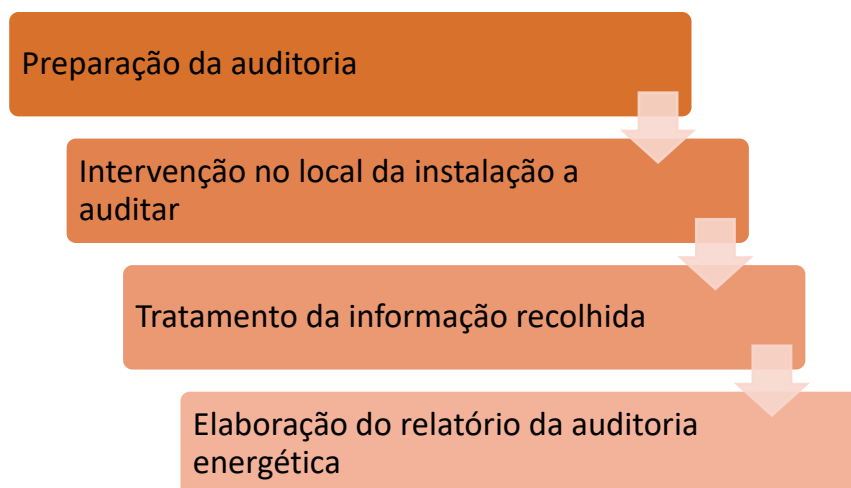


Figura 4.1 – Fases de uma auditoria energética [15].

A preparação da auditoria é de grande importância, pois é aqui que se conhecem as tecnologias de processo produtivo e as tecnologias energéticas.

A segunda fase é a mais prática e de trabalho de campo, onde se recolhe toda a informação energética necessária, se faz a análise das condições de utilização de energia na instalação, se estabelecem os transferências de energia, e se fazem as medições, registos e análises de grandezas energéticas e da produção.

Por fim tratar-se-á toda a informação recolhida, de forma a incluir no relatório, a caracterização da instalação e equipamentos, bem como da produção, e os respetivos consumos e custos energéticos. Devem ser calculados os indicadores energéticos, Intensidade Energética, Consumo Específico de Energia e Intensidade Carbónica [15].

## 4.2. Indicadores Energéticos

Os indicadores energéticos são os principais indicadores avaliados numa auditoria energética, estes são a Intensidade Carbónica (IC), a Intensidade Energética (IE) e o Consumo Específico (CEE).

- Por definição, a Intensidade Carbónica é medida pelo quociente entre o valor das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo e o respetivo consumo total de energia primária (tep), como se apresenta na equação 4.1:

$$IC \left( \frac{kgCO_2e}{tep} \right) = \frac{GEE (kgCO_2e)}{Energia consumida (tep)} \quad (4.1)$$

A quantidade de gases de efeito de estufa (GEE) é determinada da seguinte forma:

$$GEE (kgCO_2e) = FE * Energia consumida \quad (4.2)$$

Em que o fator de emissão (FE) é diferente consoante o tipo de energia que se trata. Para o gás natural é de 72,3 kgCO<sub>2</sub>e/GJ, para o vapor é de 0,47 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, e para a energia elétrica é de 2681,7 kgCO<sub>2</sub>e/tep.

- O Consumo Específico de Energia relaciona o consumo total de energia e o volume de produção, através da equação 4.3:

$$CEE \left( \frac{tep}{kg} \right) = \frac{Energia consumida (tep)}{Produção(kg)} \quad (4.3)$$

- A Intensidade Energética é determinada pelo quociente entre o consumo total de energia e o Valor Acrescentado Bruto (VAB) das atividades empresariais diretamente ligadas a essas instalações industriais, como se apresenta na equação 4.4:

$$IE \left( \frac{tep}{\text{€}} \right) = \frac{Energia consumida (tep)}{VAB (\text{€})} \quad (4.4)$$

Com base nos relatórios de auditorias energéticas obrigatórias, e na avaliação dos indicadores energéticos, deve proceder-se à elaboração do Plano de Racionalização de Consumos Energéticos (PREn), este prevê a implementação, nos primeiros três anos, de todas as medidas identificadas com um período de retorno do investimento, inferior ou igual a cinco anos, no caso das instalações com consumo de energia superior a 1000 tep/ano, e três anos nas restantes [15].

O PREn deve ainda estabelecer metas relativas às Intensidades Energética e Carbónica e ao Consumo Específico de Energia, e por isso quantifica, para o caso de instalações com consumos superiores a 1000 tep/ano uma melhoria de 6 % dos valores de Intensidade Energética e Consumo Específico de Energia, em 8 anos, e a manutenção dos valores históricos de Intensidade Carbónica. Para as restantes

instalações, quantifica a melhora de 4 %, dos valores de Intensidade Energética e Consumo Específico de Energia, em 8 anos, e novamente, a manutenção dos valores históricos de Intensidade Carbónica [19].



## 5. Análise energética da Unidade de Recuperação de Solventes

Neste capítulo serão apresentadas as diferentes formas de energia utilizadas na Unidade de Recuperação de Solventes (SRU). Serão apresentados os consumos das mesmas, e os respetivos indicadores energéticos, para o ano 2019.

A Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis labora continuamente desde as 00h00 de 2ª feira até às 14h00 de sábado, sendo acompanhada pelo funcionamento da SRU, de modo a garantir que todos os efluentes provenientes das máquinas serão tratados. Como a unidade de destilação processa um caudal superior ao caudal obtido na regeneração dos leitos de carvão ativado, o período de funcionamento da destilação é menor, funcionando apenas cerca de 3 dias por semana [3].

Existem exceções a estes horários, quando por vezes é necessário alargar o funcionamento da fábrica nos fins de semana, ou por outro lado, é necessário parar, por exemplo nos feriados.

Como já foi mencionado ao longo do capítulo 3, esta instalação é consumidora de diferentes formas de energia, tais como, vapor de aquecimento, gás natural, energia elétrica e ainda água fria.

O vapor de aquecimento é proveniente da unidade de trigeriação da Monteiro, Ribas e da central térmica, onde se encontram as caldeiras a vapor, e é utilizado para aquecimento do azoto, bem como para o aquecimento dos reebulidores das colunas de destilação.

A SRU requer o aquecimento de uma corrente de azoto até aproximadamente 200 °C, o que se verifica impossível de atingir com o vapor proveniente da unidade de trigeriação, sendo que este se encontra a uma temperatura aproximada de 180 °C e a uma pressão de 9 barg. Daqui surge a necessidade de vapor a uma temperatura mais elevada, o que implica trabalhar a pressões muito superiores, tornando-se perigoso e pouco recomendável. Por isso, o mais indicado nestes casos, é recorrer a termofluidos, que podem ser óleos minerais ou outros produtos sintéticos. Por isso, foi instalada uma caldeira de termofluido que utiliza como combustível o gás natural, aquecendo-o até aproximadamente 260 °C.

A energia elétrica é utilizada como força eletromotriz para o funcionamento dos motores elétricos das bombas, ventiladores e outros equipamentos.

A água fria, provém do *chiller* presente na unidade de trigeriação, e é utilizada em permutadores de calor, quando o objetivo é condensar, como por exemplo nos

permutadores associados à regeneração dos leitos de adsorção, e nos condensadores presentes na etapa da destilação. Contudo, neste trabalho, não foi possível contabilizar a energia gasta para arrefecer a água que é utilizada no SRU.

### 5.1. Produção de acetato de etilo e mistura de solventes

Neste subcapítulo apresenta-se a recuperação, ou seja, a produção de solventes que o SRU atingiu no ano de 2019.

Na tabela 5.1 são mostradas as quantidades em massa de acetato de etilo e mistura de solventes recolhidas em cada mês do ano de 2019. E na figura 5.1, encontra-se a representação gráfica dos dados da tabela para uma melhor análise dos mesmos.

Tabela 5.1 – Dados relativos à produção mensal de solventes no ano de 2019, na SRU.

	<b>Acetato de etilo (t)</b>	<b>Mistura de Solventes (t)</b>	<b>Total produzido (t)</b>
<b>janeiro</b>	88,536	21,717	110,253
<b>fevereiro</b>	64,179	25,777	89,956
<b>março</b>	72,173	19,596	91,769
<b>abril</b>	67,964	11,943	79,908
<b>maio</b>	69,721	20,033	89,753
<b>junho</b>	62,250	16,439	78,689
<b>julho</b>	63,069	17,734	80,803
<b>agosto</b>	55,158	15,425	70,583
<b>setembro</b>	53,696	17,756	71,452
<b>outubro</b>	54,626	20,074	74,701
<b>novembro</b>	55,709	21,263	76,972
<b>dezembro</b>	38,434	13,003	51,437

No anexo A.1 encontram-se detalhadas as massas volúmicas de cada composto, e a respetiva produção em volume, L.

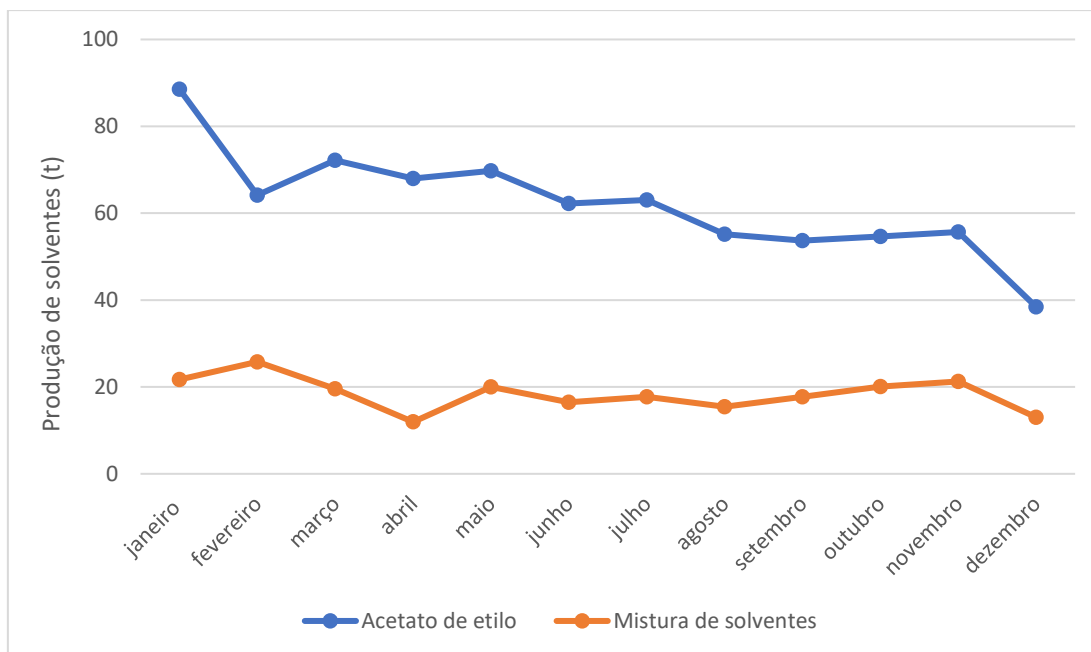


Figura 5.1 - Evolução da produção de acetato de etilo e mistura de solventes, na SRU, ao longo do ano 2019.

A produção de acetato de etilo e de mistura de solventes encontra-se diretamente ligada ao funcionamento das máquinas, e à concentração da corrente a recuperar. A tendência da produção de acetato de etilo é decrescente, enquanto que a mistura de solventes é praticamente constante.

Verifica-se que no mês de janeiro houve a maior produção de acetato de etilo, que rondou as 89 toneladas de produto, e o mês com menor produção foi o de dezembro, com uma produção de aproximadamente 38 toneladas.

No que toca à mistura de solventes, esta atingiu a sua produção máxima no mês de fevereiro, com um total de cerca de 26 toneladas de produto. A produção mínima aponta, uma vez mais, para o mês de dezembro, com uma recuperação de 13 toneladas de mistura de solventes.

O facto de em dezembro haver menos solventes recuperados, explica-se pela paragem que a UPEF sofre neste período, resultando numa menor quantidade de efluentes gasosos enviados ao SRU.

## 5.2. Distribuição dos consumos de energia na Unidade de Recuperação de Solventes

Neste subcapítulo serão detalhados os diferentes consumos da instalação, que resultaram da recolha dos registos relativos ao consumo de gás natural, vapor de aquecimento e energia elétrica, para cada mês do ano de 2019.

No anexo A.2 encontram-se os mesmos valores aqui apresentados, mas em forma de tabela.

### 5.2.1. Gás natural consumido na Unidade de Recuperação de Solventes

Na figura 5.2 encontra-se a representação gráfica do consumo de gás natural pela instalação, em volume nas condições PTN, acompanhada pela produção de acetato de etilo, para cada mês do ano de 2019.

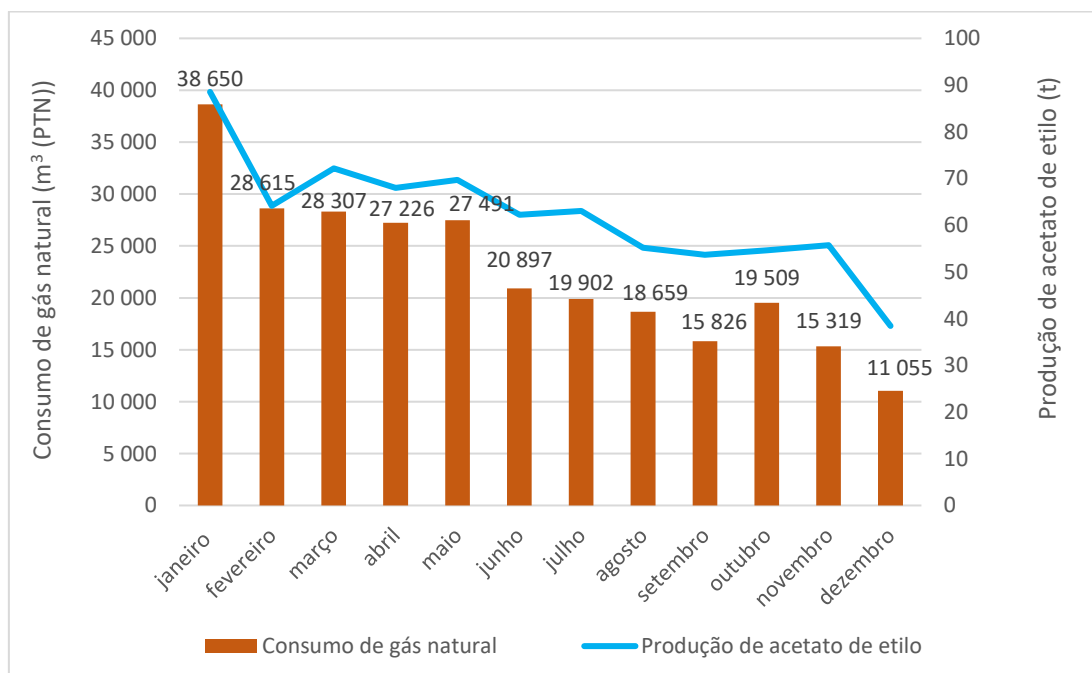


Figura 5.2 – Distribuição dos consumos de gás natural e produção de acetato de etilo, ao longo do ano 2019.

O consumo de gás natural na SRU, está diretamente ligado à quantidade de solvente a ser tratado, ou seja, quanto maior a quantidade de solvente a tratar, maior será o número de regenerações efetuadas e, ou seja, maior será a quantidade de azoto

utilizada para a regeneração. O azoto é aquecido pelo termofluído, que por sua vez é aquecido na caldeira, e por isso, aumentar-se-á o consumo de gás natural, já que a caldeira irá funcionar durante mais tempo.

Pela análise da figura 5.2, verifica-se que o consumo de gás natural segue na sua generalidade a mesma tendência da recuperação de acetato de etilo, tal como seria de esperar. Neste tipo de gráfico não se incluiu a linha referente à produção de mistura de solventes porque esta foi bastante constante ao longo do ano, não sendo possível relacioná-la com o consumo das diversas fontes de energia.

No mês de janeiro atinge-se o máximo de consumo de gás natural, tendo-se consumido  $38650 \text{ m}^3$  (PTN) de gás natural, o que coincide também com o máximo de produção de acetato de etilo. O menor consumo ocorreu no mês de dezembro,  $11055 \text{ m}^3$  (PTN), o mês onde também se verifica o mínimo de produção de acetato de etilo. No total, a SRU consumiu  $271456 \text{ m}^3$  (PTN) de gás natural, nesse ano.

### 5.2.2. Vapor de Aquecimento consumido na Unidade de Recuperação de Solventes

Na figura 5.3 encontra-se a representação gráfica desta vez para consumo de vapor de aquecimento, em massa, acompanhada pela produção de acetato de etilo, para cada mês do ano de 2019.

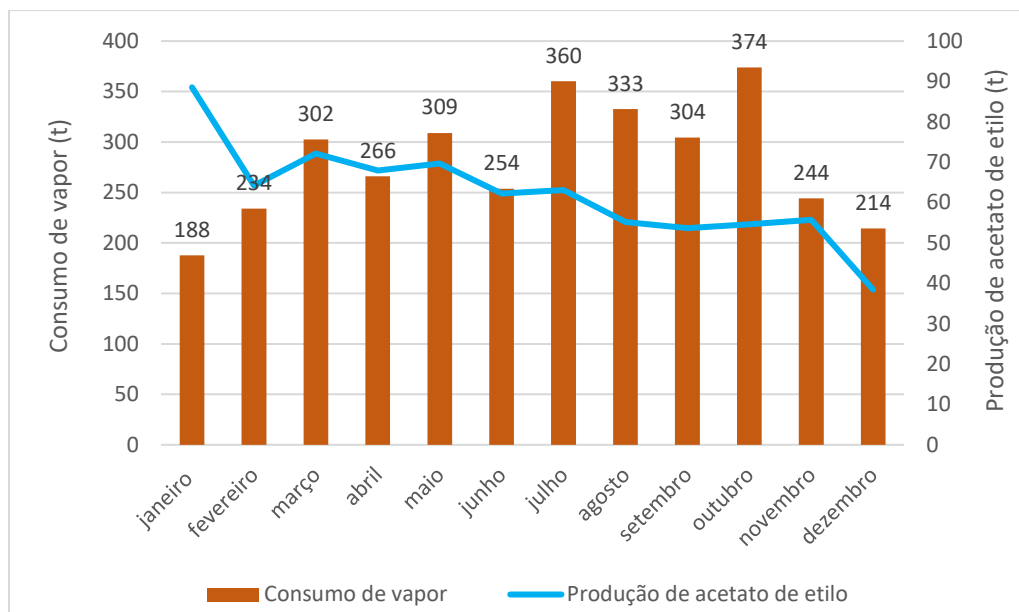


Figura 5.3 – Distribuição dos consumos de vapor de aquecimento e produção de acetato de etilo, ao longo do ano 2019.

Olhando para a figura 5.3, conclui-se que o consumo de vapor na unidade SRU é bastante variável, o que se pode dever a flutuações no fornecimento de vapor, bem como dos diferentes ciclos de destilação realizados mensalmente, tendo em conta que a maior parte deste vapor serve para aquecimento dos rebulidores das colunas de destilação.

Contudo, o consumo de vapor segue a mesma tendência da produção de acetato de etilo, exceto para os meses janeiro/fevereiro e outubro/novembro.

O máximo consumo é de 374 toneladas, aproximadamente, no mês de outubro, e o mínimo ocorre no mês de janeiro, com um consumo de cerca de 188 toneladas, que não coincidem com o máximo e mínimo da produção de acetato de etilo.

Verifica-se, assim, que o mínimo de consumo de vapor, corresponde ao máximo consumo de gás natural. O que pode explicar isto, é o facto de o consumo de gás natural estar dependente da disponibilidade de vapor proveniente da trigeriação. A trigeriação alimenta todas as unidades do grupo Monteiro-Ribas, se estas unidades estiverem a consumir muito vapor, irá haver indisponibilidade do mesmo. E por isso o vapor enviado à SRU provém da central térmica, que possui caldeiras a gás natural, daí o seu consumo ser máximo, quando o consumo de vapor é mínimo.

O consumo total de vapor, em 2019, foi de, aproximadamente, 3383 toneladas.

### 5.2.3. Energia Elétrica consumida na Unidade de Recuperação de Solventes

Na figura 5.4 encontra-se a representação gráfica do consumo de energia elétrica, acompanhada pela produção de acetato de etilo, para cada mês do ano de 2019.

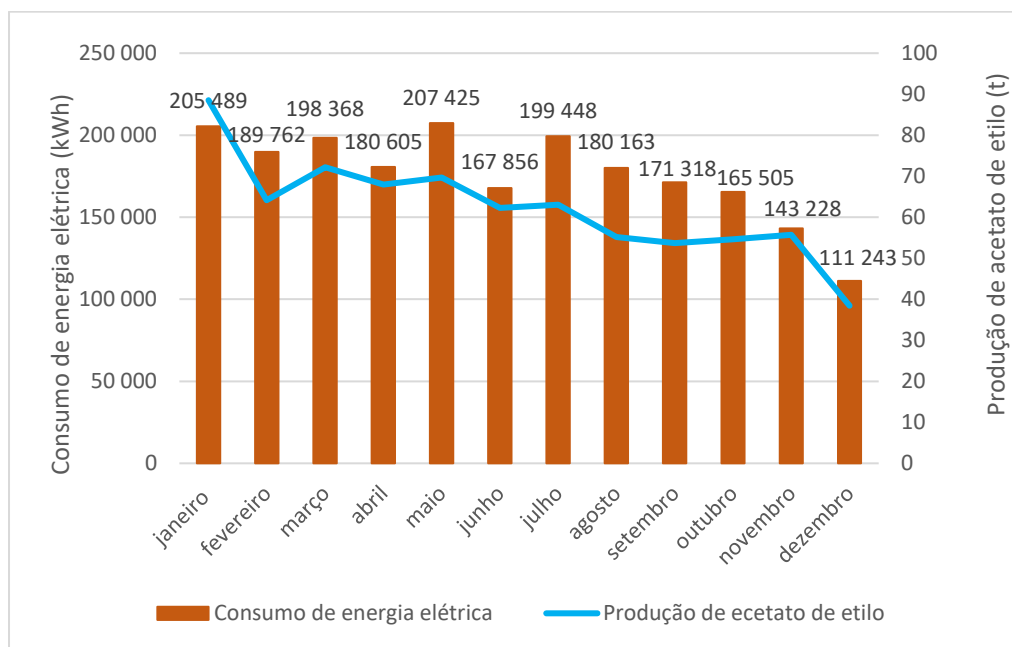


Figura 5.4 – Distribuição dos consumos de energia elétrica e produção de acetato de etilo, ao longo do ano 2019.

Neste caso, é possível verificar, através da figura 5.4, que o consumo de energia elétrica é o mais constante, verificando-se uma tendência decrescente do mesmo a partir da segunda metade do ano.

Como é expectável, este consumo continua intimamente ligado à quantidade de solvente a tratar em cada mês, e por isso quanto mais tempo funcionar o SRU mais energia será fornecida aos ventiladores de aspiração de ar proveniente da fábrica, aos motores e bombas, etc. Apesar de os mínimos e máximos do consumo de energia elétrica não coincidirem com os da produção de acetato de etilo, verifica-se pela análise do gráfico da figura 5.4 que estas duas variáveis seguem a mesma tendência, à exceção dos meses setembro/outubro e outubro/novembro, onde a produção de acetato de etilo aumenta e o consumo de energia elétrica diminui.

Verifica-se que o maior consumo de energia se dá no mês de maio, com um consumo de 207425 kWh, e o menor corresponde a 111243 kWh, no mês de dezembro.

No total, consumiram-se cerca de  $2,1 \times 10^3$  MWh.

### 5.3. Consumo global de energia na Unidade de Recuperação de Solventes

Neste subcapítulo, apresentam-se os consumos globais de energia consumidos, em tep, obtidos através de fatores de conversão específicos para cada tipo de energia. Tep, é uma unidade de energia, designada por tonelada equivalente de petróleo. Desta forma, uniformizam-se as unidades e é mais fácil fazerem-se comparações entre as diferentes formas de energia.

Neste caso, o fator de conversão utilizado para o gás natural foi 1,077 tep/t, para o vapor foi 0,07406 tep/t, e para a energia elétrica foi  $2,15 \times 10^{-4}$  tep/kWh.

Com base nestes fatores, determinaram-se os resultados para as diferentes formas de energia, sendo apresentados na tabela 5.2, onde também se apresenta o consumo global de energia, resultado da soma do consumo de gás natural, vapor de aquecimento e energia elétrica, em tep.

Os cálculos mais detalhados encontram-se no anexo A.2.

Tabela 5.2 - Consumos de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica e consumo global, em tep, na SRU, para cada mês do ano 2019.

	<b>Gás Natural (tep)</b>	<b>Vapor de aquecimento (tep)</b>	<b>Energia elétrica (tep)</b>	<b>Consumo global (tep)</b>
<b>janeiro</b>	34,983	13,908	44,180	93,071
<b>fevereiro</b>	25,900	17,338	40,799	84,037
<b>março</b>	25,621	22,401	42,649	90,671
<b>abril</b>	24,643	19,716	38,830	83,188
<b>maio</b>	24,882	22,881	44,596	92,360
<b>junho</b>	18,914	18,788	36,089	73,792
<b>julho</b>	18,014	26,679	42,881	87,574
<b>agosto</b>	16,888	24,633	38,735	80,257
<b>setembro</b>	14,324	22,539	36,833	73,697
<b>outubro</b>	17,658	27,685	35,583	80,927
<b>novembro</b>	13,865	18,094	30,794	62,754
<b>dezembro</b>	10,006	15,866	23,917	49,789

Através da análise dos valores da tabela, verifica-se que em todos os meses do ano a fonte de energia que apresenta maior consumo é a energia elétrica.

Para ser mais evidente a comparação destes valores, construiu-se o gráfico da figura 5.5, com base nos dados da tabela 5.2.

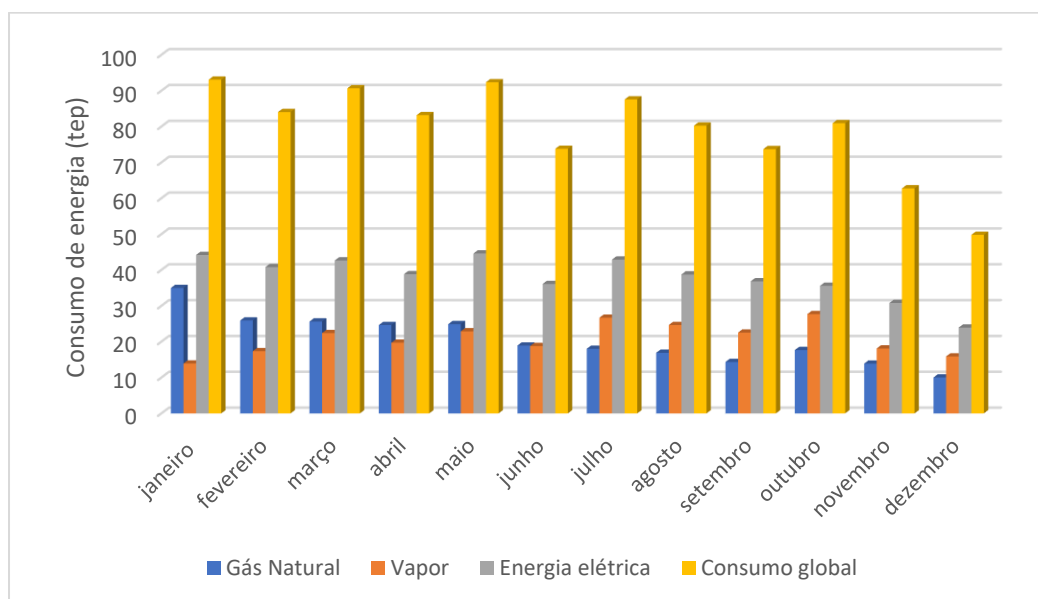


Figura 5.5 – Distribuição dos consumos de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica e consumo global de energia, em tep, na SRU, ao longo do ano 2019.

Na figura 5.5, é possível perceber que o consumo de gás natural, e vapor de aquecimento oscila bastante ao longo do ano, ora o consumo de gás natural é superior ao de vapor ou o contrário. Na primeira metade do ano, até ao mês de junho, o consumo de gás natural é superior ao de vapor, contudo na segunda metade do ano, esta situação inverte-se. Isto, provavelmente, está relacionado com a disponibilidade de vapor proveniente da trigeriação.

Quanto à energia elétrica é de notar uma tendência decrescente na segunda metade do ano.

Na figura 5.6 encontra-se um gráfico circular, que representa o percentual de consumo de cada fonte de energia.

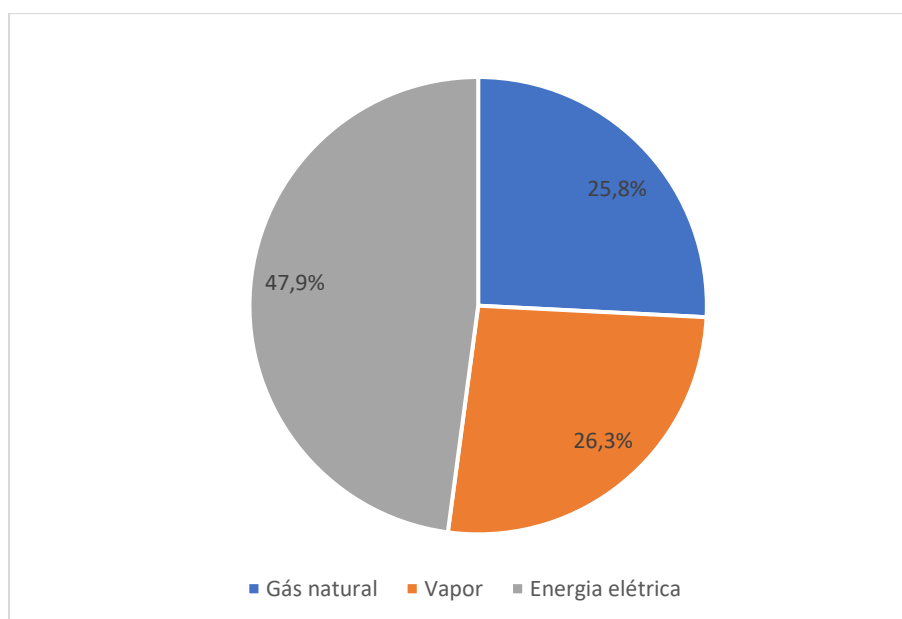


Figura 5.6 – Representação da percentagem que cada fonte de energia assume no total de consumo de energia da SRU, no ano 2019.

O gás natural é a fonte de energia que representa uma menor percentagem de consumo, contribuindo com uma percentagem de 25,8 % para o consumo total de energia utilizada pela SRU, no referido ano. A seguir, vem o vapor de aquecimento, com uma percentagem muito próxima da anterior, de 26,3 %, e por fim, com uma percentagem de 47,9 %, surge a energia elétrica.

No final de contas, o SRU, consumiu no total 952,1 tep, no ano de 2019, sendo 245,7 tep atribuídos ao gás natural, 250,5 tep ao vapor, e 455,9 tep à energia elétrica.

De forma a perceber como varia o consumo global de energia com a produção de acetato de etilo construíram-se os gráficos das figuras 5.7 e 5.8.

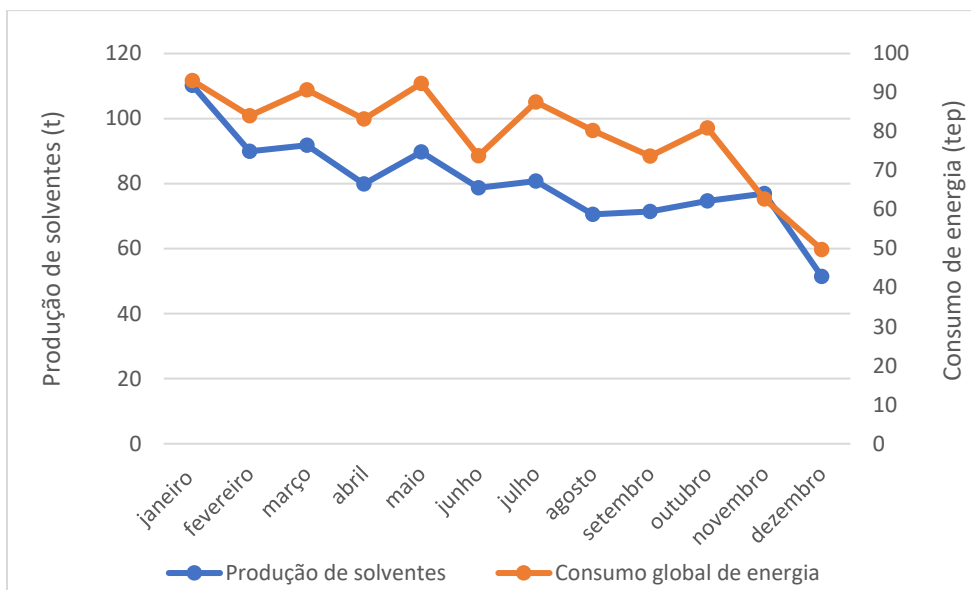


Figura 5.7 - Evolução do consumo global de energia e da produção de solventes (acetato de etilo e mistura de solventes), na SRU, ao longo do ano 2019.

Pela análise do gráfico da figura 5.7, é possível afirmar que a tendência de ambas as curvas é a mesma na sua generalidade, isto é, sempre que a produção aumenta, o consumo de energia aumenta e vice-versa, tal como seria de esperar. Contudo existem aqui duas situações que vão contra este princípio, que são nos meses de agosto/setembro e outubro/novembro. Em ambas as situações, apesar da produção de solventes aumentar, o consumo global de energia diminuiu.

Na figura 5.7, relaciona-se o consumo global de energia com a produção, apresentando-se um ajuste linear. Este ajuste é feito com o intuito de mostrar uma possível relação linear entre a produção e o consumo de energia. Ao analisar o coeficiente de correlação,  $r$ , é possível concluir que a relação corresponde apenas a uma tendência linear.

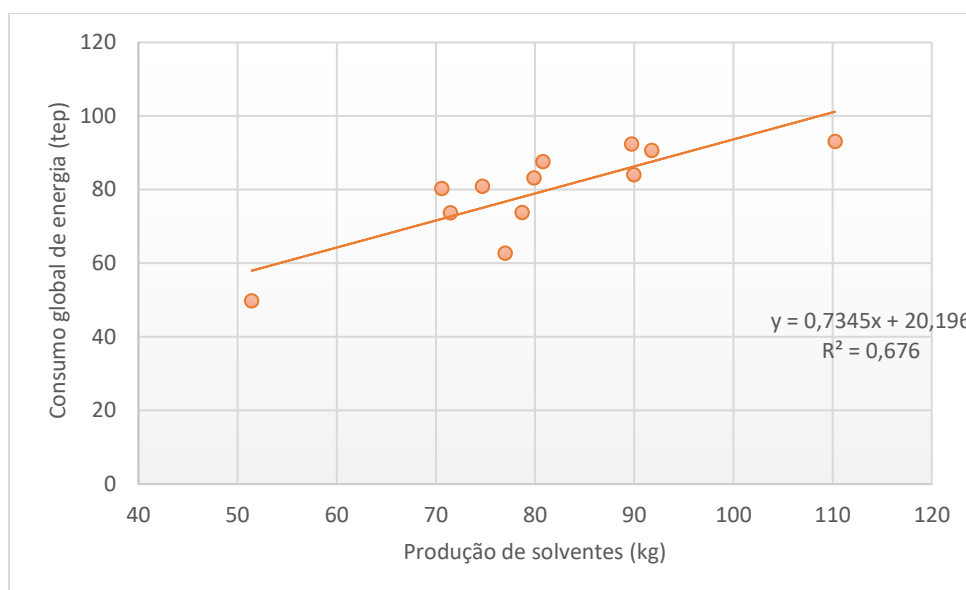


Figura 5.8 - Variação do consumo de energia com a produção de acetato de etilo, na SRU.

Neste caso, encontra-se uma relação linear bastante razoável, já que o valor de R é de 0,82, e quando mais próximo de 1 for este valor mais linear é a correlação.

Aqui evidencia-se o aumento do consumo de energia global com o aumento de produção. A ordenada na origem do ajuste linear poderá mostrar os consumos fixos de energia, aproximadamente 20 tep, ou seja, representa a quantidade de energia gasta no sistema quando não há qualquer produção.

### 5.3.1. Indicadores energéticos na Unidade de Recuperação de Solventes

Os indicadores energéticos apresentados e avaliados neste subcapítulo serão o consumo específico de energia (CEE), e a intensidade carbónica (IC). Pelo facto de não ser possível chegar ao valor acrescentado bruto (VAB), nesta situação, não é possível apresentar a intensidade energética (IE).

#### Intensidade carbónica (IC) na Unidade de Recuperação de Solventes

O cálculo da intensidade carbónica para os diferentes tipos de energia, é feito através das equações 4.1 e 4.2, apresentadas no capítulo 4.

Posto isto, na tabela 5.3 apresentam-se os resultados obtidos de GEE, para as diferentes fontes de energia, nos diferentes meses.

Os cálculos detalhados encontram-se no anexo A.3.1.

Tabela 5.3 – Emissões de gases de efeito de estufa (GEE) para cada fonte de energia, e GEE global, na SRU, ao longo dos meses do ano 2019.

	<b>GEE Gás natural (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>GEE Vapor de aquecimento (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>GEE Energia elétrica (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>GEE Global (tCO<sub>2</sub>e)</b>
<b>janeiro</b>	93,8	37,9	96,6	228,3
<b>fevereiro</b>	69,5	47,2	89,2	205,9
<b>março</b>	68,7	61,0	93,2	223,0
<b>abril</b>	66,1	53,7	84,9	204,7
<b>maio</b>	66,7	62,3	97,5	226,6
<b>junho</b>	50,7	51,2	78,9	180,8
<b>julho</b>	48,3	72,7	93,7	214,7
<b>agosto</b>	45,3	67,1	84,7	197,1
<b>setembro</b>	38,4	61,4	80,5	180,3
<b>outubro</b>	47,4	75,4	77,8	200,6
<b>novembro</b>	37,2	49,3	67,3	153,8
<b>dezembro</b>	26,8	43,2	52,3	122,3
<b>Total</b>	659	683	997	2338
<b>%</b>	28	29	43	100

Em termos de emissão de gases de efeito de estufa, a energia elétrica é a responsável pela maior fração, assumindo uma percentagem de 43 %, enquanto que o gás natural e o vapor representam 28 % e 29 %, das emissões totais, respetivamente.

Foi construído um gráfico, apresentado na figura 5.9, que pretende relacionar o as emissões de gases com efeito de estufa globais com o consumo global de energia das diversas fontes.

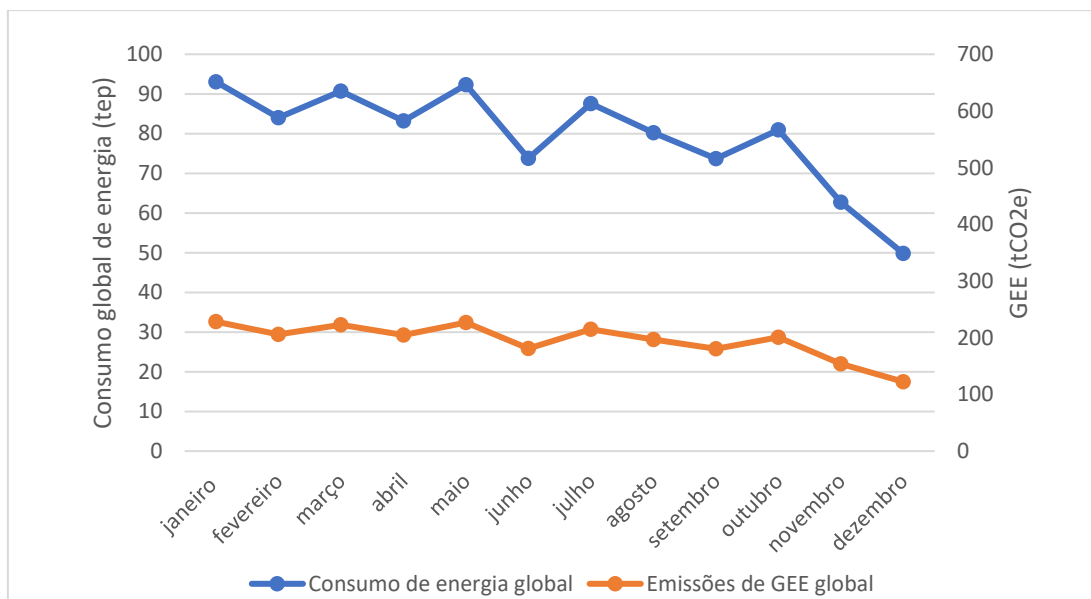


Figura 5.9 - Evolução do consumo global de energia, em tep, e das emissões de gases com efeito de estufa globais (GEE), na SRU, ao longo do ano 2019.

Tal como seria de esperar, as emissões de gases com efeito de estufa acompanham perfeitamente o consumo de energia global, ou seja, sempre que há um aumento do consumo de energia, que é consequência de uma maior produção, também irá originar uma maior emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

A quantidade máxima de GEE emitida foi de 228 tCO<sub>2</sub>e, no mês de janeiro, e a quantidade mínima assume o valor de 122 tCO<sub>2</sub>e, no mês de dezembro.

De seguida, foi determinada a intensidade carbónica associada ao consumo global de energia, em tep, apresentado na tabela 5.2, e do GEE global, apresentado na tabela 5.3.

Na tabela 5.4, estão registados os resultados para esses valores.

Tabela 5.4 – Intensidade carbónica para cada mês do ano 2019.

	<b>Total consumo energia (tep)</b>	<b>Total emissões gases efeito de estufa (tCO<sub>2e</sub>)</b>	<b>Intensidade carbónica (tCO<sub>2e</sub>/tep)</b>
<b>Janeiro</b>	93,1	228	2,45
<b>Fevereiro</b>	84,0	206	2,45
<b>Março</b>	90,7	223	2,46
<b>Abril</b>	83,2	205	2,46
<b>maio</b>	92,4	227	2,45
<b>Junho</b>	73,8	181	2,45
<b>Julho</b>	87,6	215	2,45
<b>Agosto</b>	80,3	197	2,46
<b>Setembro</b>	73,7	180	2,45
<b>Outubro</b>	80,9	201	2,48
<b>Novembro</b>	62,8	154	2,45
<b>Dezembro</b>	49,8	122	2,46

Como se pode verificar, pela análise da tabela acima, a intensidade carbónica não varia significativamente ao longo dos meses do ano, rondando o valor de 2,45 tCO<sub>2e</sub>/tep. Esta situação é de esperar, uma vez que, se trata de um quociente, e quando a energia consumida diminui, a quantidade de gases de efeito de estufa emitidos também diminui, e vice-versa, daí este valor manter-se mais ou menos constante.

### **Consumo específico de energia (CEE) na Unidade de Recuperação de Solventes**

O consumo específico de energia (CEE) é um indicador energético que relaciona a energia consumida com a produção, conforme a equação 4.3, e em que a produção se refere aos valores de solvente recuperado. São por isso usados os valores da produção de acetato de etilo e mistura de solventes, apresentados no subcapítulo 5.1.

Os consumos específicos de energia foram calculados para cada fonte de energia, e também foi calculado o CEE global, para cada mês do ano 2019. Esses valores são apresentados no anexo A.3.2, e a respetiva representação gráfica encontra-se na figura 5.10.

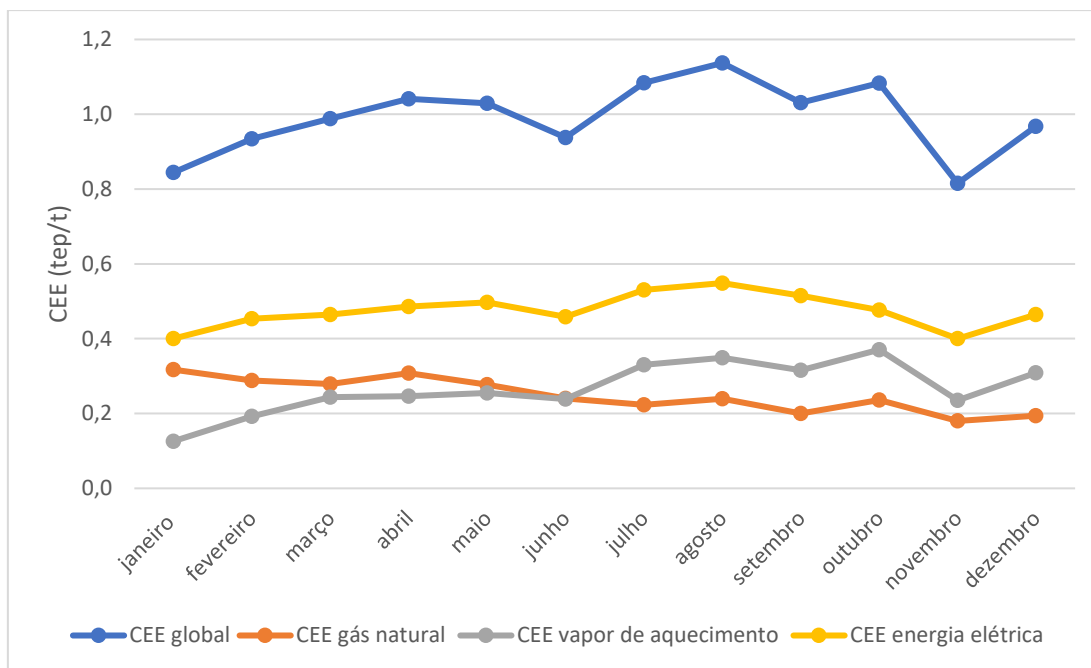


Figura 5.10 – Evolução do CEE global e de cada fonte de energia, na SRU, ao longo do ano 2019.

De notar que o CEE global é fruto do somatório dos CEE's das várias fontes de energia. A energia elétrica é a fonte de energia com maior contribuição no CEE global, já que é que também apresenta um consumo de energia, em tep, maior.

Relativamente ao vapor de aquecimento e ao gás natural, acontece o mesmo que já se tinha verificado anteriormente, ou seja, até sensivelmente meio do ano, há maior consumo de gás natural, e consequentemente, o CEE do gás natural é maior, já que este é diretamente proporcional ao consumo de energia. A partir de junho até dezembro, a situação inverte-se.

Na figura 5.11, a representação gráfica apresentada pretende relacionar mais facilmente, a produção de acetato de etilo e mistura de solventes, presentes na tabela 5.1, com o consumo específico de energia global.

O consumo específico de energia médio para a produção de solventes na SRU é de 1,0 tep/t.

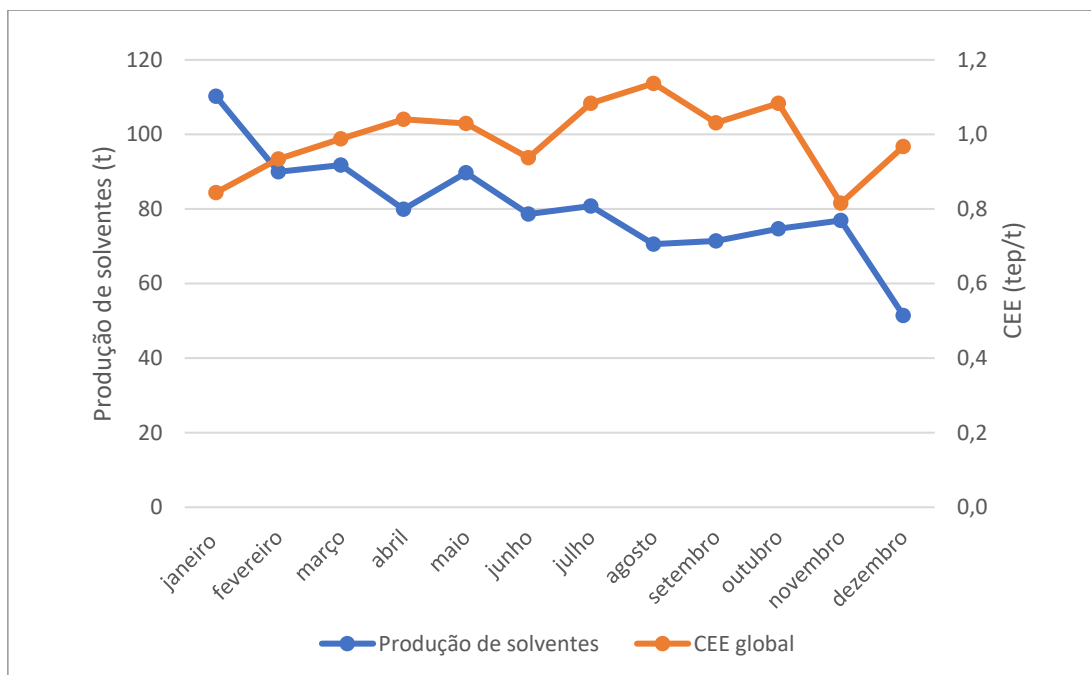


Figura 5.11 – Consumo específico de energia global e produção de solventes para cada mês do ano 2019.

Este gráfico apenas permite concluir que existe uma tendência decrescente na produção ao longo do ano, enquanto que o CEE apresenta uma tendência aproximadamente constante.

A relação entre o consumo específico de energia CEE global e a produção de solventes é normalmente ajustável a uma hipérbole, para este tipo de resultados, no entanto, o gráfico da figura 5.12 não evidencia este comportamento.

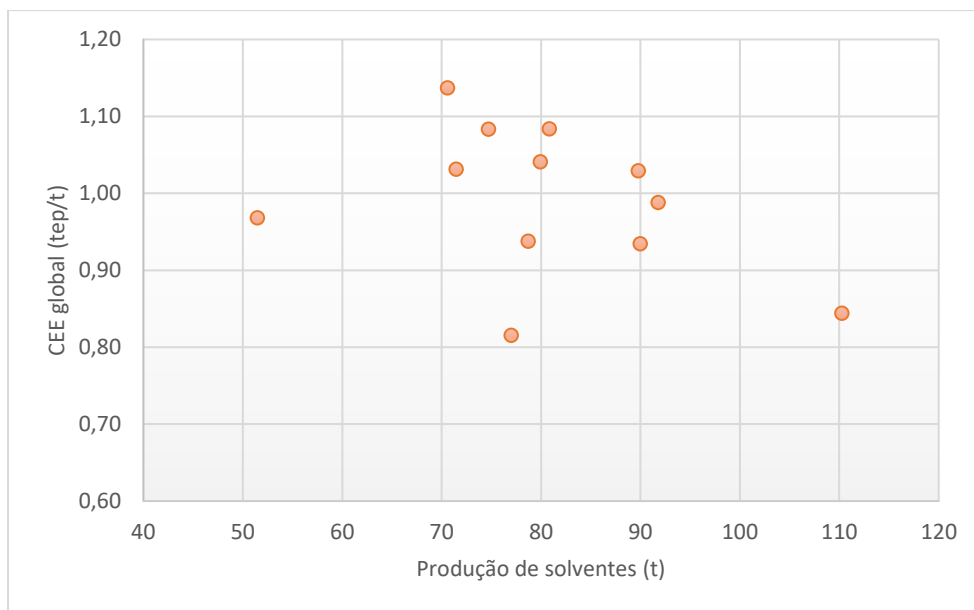


Figura 5.12 - Variação do consumo específico de energia (CEE) global com a produção de solventes, na SRU.

Verifica-se que os resultados apresentam uma ligeira tendência decrescente, mas que se pode considerar constante dado que a variação do CEE é muito inferior à variação da produção de solventes. Isto vem reforçar a conclusão tirada com o gráfico da figura 5.10.

O CEE é o quociente entre o consumo de energia, em tep, e a produção. Como já se referiu pela análise da figura 5.8, quando a produção de solventes aumenta o consumo global de energia também aumenta, verificando-se pela figura 5.12 que este quociente se mantém mais ou menos constante.

## 6. Análise energética da Unidade de Produção de Embalagens

### Flexíveis

Neste capítulo são apresentadas as diferentes formas de energia consumidas na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis (UPEF), bem como a distribuição dos seus consumos pelos diferentes meses do ano de 2019, e ainda os respetivos indicadores energéticos.

Foi feito ainda um levantamento de todos os equipamentos consumidores de energia elétrica, onde se averiguou qual a potência instalada e qual a média de horas que cada equipamento se encontra em funcionamento por dia.

Volta-se a salientar que o regime de funcionamento desta unidade é, normalmente, de três turnos, das 00h00 de 2ª feira às 14h00 de sábado.

Atualmente, a unidade fabril possui: 9 máquinas de impressão, sendo 4 delas de flexografia e as restantes 5 de rotogravura; 6 máquinas de complexagem, sendo 4 delas com aplicação de solvente e as restantes 2 sem aplicação de solvente; 13 máquinas destinadas ao corte das bobines e por fim 6 máquinas de confeção de sacos, designadas habitualmente por saqueiras.

As máquinas de impressão por rotogravura têm instaladas uma estufa, por cada unidade de impressão, onde circula ar quente para secagem da tinta. Já nas máquinas de impressão por flexografia existe apenas uma única estufa, onde o filme passa no final da impressão, ou seja, depois do tambor central. Nas máquinas de impressão o ar que circula nas estufas é aquecido através da sua passagem em permutadores de calor, onde passa água quente, que por sua vez, é conseguida a partir do gás natural. As temperaturas no interior das estufas variam entre de 50 °C e 70 °C, aproximadamente.

Já nas máquinas de complexagem, as que usam solvente possuem estufa e as que não utilizam solvente não possuem estufa, já que não requerem a sua secagem. Nas quatro máquinas de complexagem com solvente, o ar presente nas estufas é aquecido através da sua passagem em permutadores de calor, onde circula vapor a 180°C e 9 barg.

Nas estufas faz-se a recirculação de uma parte do ar quente extraído, permitindo assim reduzir a quantidade de ar novo introduzido no circuito, ou seja, permitindo reduzir os consumos de energia no aquecimento do ar novo. Esta recirculação tem de ser bem controlada para impedir que o ar no interior das estufas

fique saturado com solventes, medindo-se assim, a sua concentração através de equipamentos especializados.

Para além do filme ser aquecido nas estufas, nas máquinas de complexagem o filme também passa por rolos aquecidos, e rolos resfriados, por onde passa água quente e água fria, respetivamente.

### 6.1. Produção de embalagens flexíveis

Neste subcapítulo apresenta-se a produção de filmes flexíveis que a Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, atingiu no ano de 2019.

Na tabela 6.1 são mostradas as quantidades, em massa, de filme produzido em cada mês do ano de 2019. Na figura 6.1, encontra-se a representação gráfica dos dados da tabela 6.1, para uma melhor análise dos mesmos.

Tabela 6.1 – Dados relativos à produção mensal de filmes flexíveis no ano 2019, na UPEF.

	<b>Produção de filmes flexíveis (t)</b>
<b>janeiro</b>	759,8
<b>fevereiro</b>	647,2
<b>março</b>	764,8
<b>abril</b>	757,4
<b>maio</b>	921,1
<b>junho</b>	793,8
<b>julho</b>	1029,9
<b>agosto</b>	854,0
<b>setembro</b>	748,3
<b>outubro</b>	925,1
<b>novembro</b>	854,6
<b>dezembro</b>	639,1

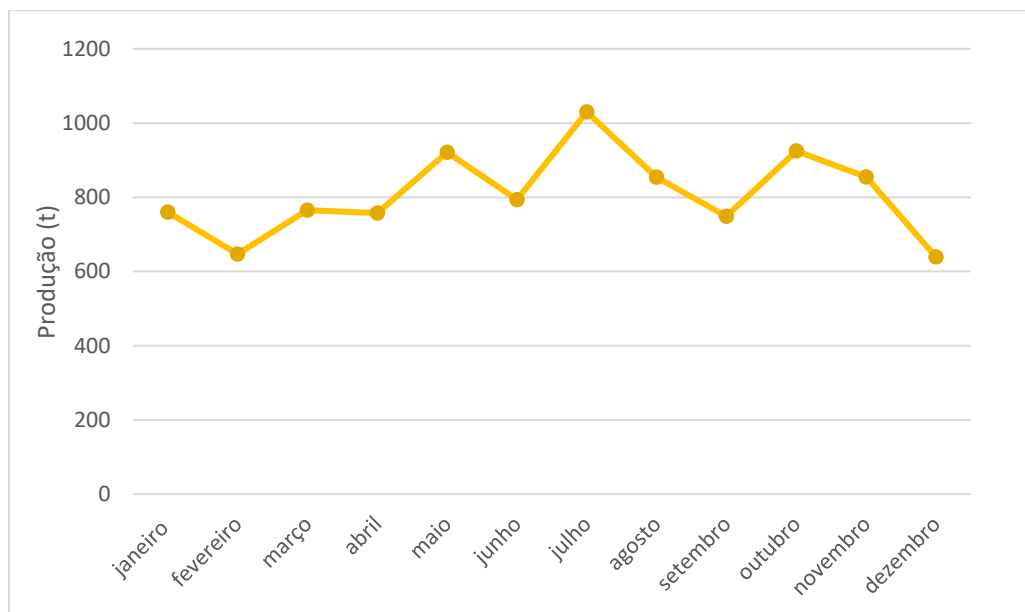


Figura 6.1 - Evolução da produção de embalagens flexíveis, na UPEF, ao longo do ano 2019.

Através da análise da figura 6.1, percebe-se que até sensivelmente metade do ano, mês de julho, a tendência da produção é de aumentar. Depois essa produção baixa nos meses de agosto e setembro, pois apesar de a fábrica não parar pode haver uma quebra de pedidos por parte dos clientes, nesta altura do ano, por ser um período de férias. No mês seguinte, outubro, a produção volta a subir, sendo que volta a cair até atingir o seu valor mínimo no mês de dezembro, mês em que a fábrica tem alguns dias de interrupção, devido às férias de natal. De salientar que os mínimos de produção ocorrem nos meses de dezembro e fevereiro, e o máximo ocorre no mês de julho.

Na figura 6.2 encontra-se um gráfico, onde se mostra a evolução da produção de embalagens flexíveis na UPEF e a produção de acetato de etilo e mistura de solventes na SRU, para ser mais perceptível se uma acompanha a outra ou não.

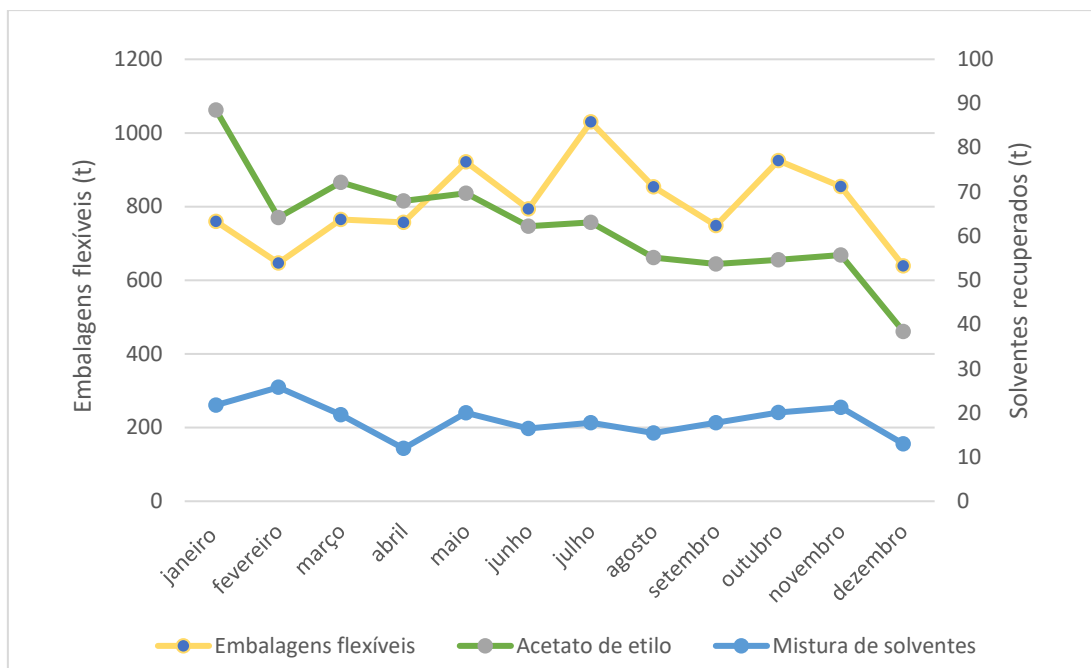


Figura 6.2 - Evolução da produção de embalagens flexíveis na UPEF e da produção de acetato de etilo e mistura de solventes recuperados na SRU, ao longo do ano 2019.

A figura indica que as variáveis se encontram aproximadamente relacionadas, ou seja, a produção de acetato de etilo acompanha, quase sempre, a produção de embalagens flexíveis (exceção período outubro/novembro). Observa-se ainda que o máximo da produção de embalagens flexíveis não coincide com o máximo da produção de acetato de etilo. A produção máxima de embalagens flexíveis dá-se no mês de julho, com uma produção de 1030 toneladas, enquanto que o máximo de produção de acetato de etilo, 89 toneladas, aponta para o mês de janeiro. Esta situação não é expectável, uma vez que se há maior produção de embalagens, existe a necessidade de recorrer a maiores quantidades de solvente e por isso deveria ser recuperado mais solvente. Esse problema pode estar associado à insuficiente capacidade da SRU para tratar todo o solvente produzido na UPEF e também associado ao rendimento da SRU. Neste momento está a ser estudado o aumento da SRU, bem como outras soluções para tratar todo o ar contaminado.

Por outro lado, o mínimo de produção de embalagens flexíveis, dá-se no mês de dezembro, com uma produção de 639,1 toneladas de filme, o que coincide com o mínimo da produção de acetato de etilo, 38 toneladas.

Como a recuperação de mistura de solventes foi bastante constante ao longo do ano não é possível relacioná-la com a produção de embalagens flexíveis.

De salientar que teria sido importante fazer a contabilização do acetato de etilo consumido na produção das embalagens flexíveis, durante este estágio, mas devido à pandemia SARSCOV-2 (COVID-19) isso não foi possível. Dessa forma poderia relacionar-se, de uma forma mais efetiva, a produção de embalagem flexível com a quantidade de acetato de etilo consumido e recuperado. No entanto também se conseguiu verificar que esse consumo está dependente da qualidade da tinta e dos *settings* das máquinas de impressão e complexagem, o que tornaria bastante problemática essa contabilização no contexto deste trabalho. Seria necessário um acompanhamento contínuo de várias produções, com vários operadores e produtores de tinta, para se ter valores mais pormenorizados e realistas.

## 6.2. Distribuição dos consumos de energia na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Neste subcapítulo serão detalhados os diferentes consumos de energia utilizados na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis (UPEF), que resultaram da recolha dos registos relativos ao consumo de gás natural, vapor de aquecimento e energia elétrica, em cada mês do ano de 2019.

### 6.2.1. Gás natural consumido na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Na figura 6.3 encontra-se um gráfico de barras que representa o consumo de gás natural, em m<sup>3</sup> (PTN), acompanhado da produção de embalagens flexíveis em cada mês do ano 2019.

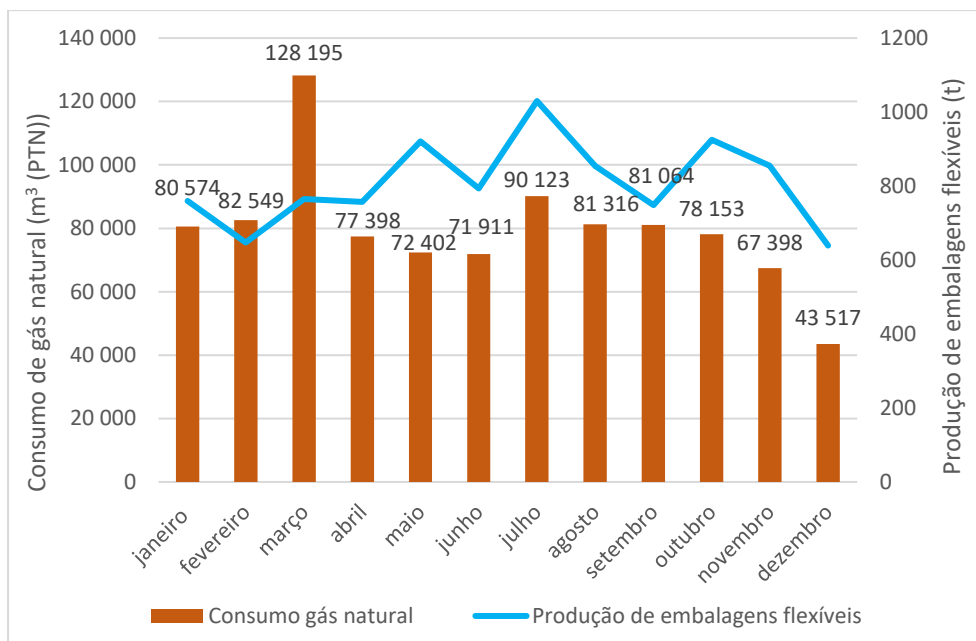


Figura 6.3 – Distribuição dos consumos de gás natural e produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.

O gasto de gás natural oscila, ao longo do ano, e está obviamente dependente da produção de embalagens flexíveis.

Seria de esperar que o mês de maior consumo de gás natural fosse o mês de julho, o que não se verifica, sendo que o mês em que isso ocorre é o de março. Pela figura 6.4, percebe-se que no mês de março não há qualquer consumo de vapor proveniente da trigeriação, por isso o vapor fornecido foi proveniente das caldeiras a gás natural da central térmica. Se se excluir o mês de março, o mês com maior consumo de gás natural foi o mês de julho, com um consumo de 90123 m<sup>3</sup> (PTN) , o que estaria coerente com a produção.

Uma vez mais, o mês em que o consumo é menor é o de dezembro, com um consumo de 43517 m<sup>3</sup> (PTN), também de acordo com a produção. No total a UPEF consumiu 954600 m<sup>3</sup> (PTN) de gás natural.

Em alguns casos, como por exemplo de abril para maio, há uma maior produção de embalagens flexíveis, contudo aquilo que se verifica no consumo de gás natural é que este baixou. O que pode ter acontecido aqui é que as máquinas que se mantiveram mais tempo ligadas neste mês de maio não tivessem um consumo de gás natural tão acentuado.

### 6.2.2. Vapor de Aquecimento consumido na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Na figura 6.4 encontra-se a representação gráfica da distribuição dos consumos de vapor de aquecimento, em massa, acompanhado da produção de embalagens flexíveis em cada mês do ano 2019.

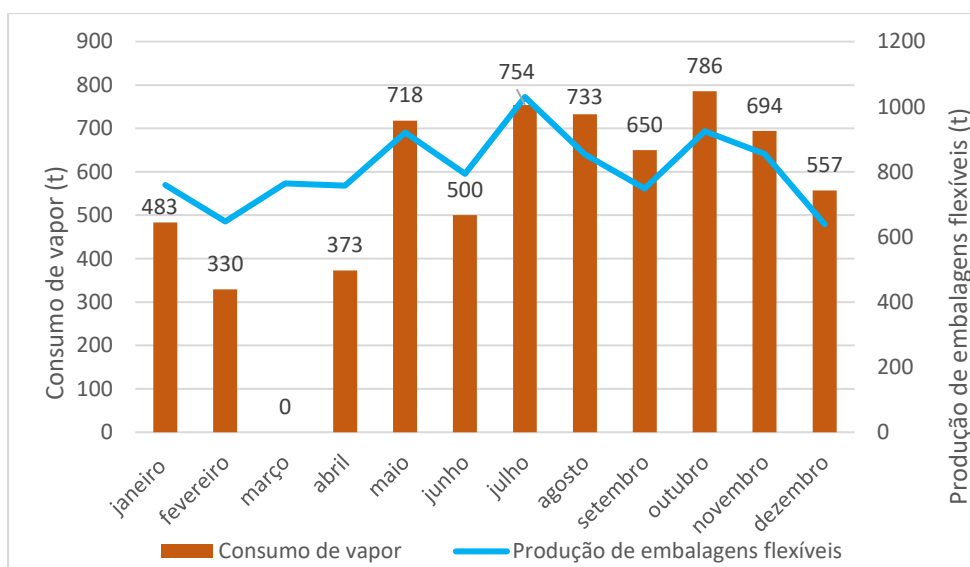


Figura 6.4 - Distribuição dos consumos de vapor de aquecimento e produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.

O consumo de vapor de aquecimento, exceto no mês de março, em que não se verifica qualquer consumo, segue a mesma tendência da produção de embalagens. Os pontos máximos e mínimos não coincidem, neste caso verifica-se que o mês de maior consumo é o de outubro, com um consumo de 786 toneladas de vapor, e o mês de menor consumo é o de fevereiro, com um consumo de 330 toneladas. Contudo, o consumo de vapor segue a tendência da produção de embalagens flexíveis.

No total a UPEF consumiu cerca de 6577 toneladas de vapor.

### 6.2.3. Energia elétrica consumida na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Na figura 6.5 apresenta-se o gráfico de barras que representa a distribuição dos consumos de energia elétrica por parte da UPEF, bem como da energia elétrica afeta à

área dos escritórios, acompanhado da produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.

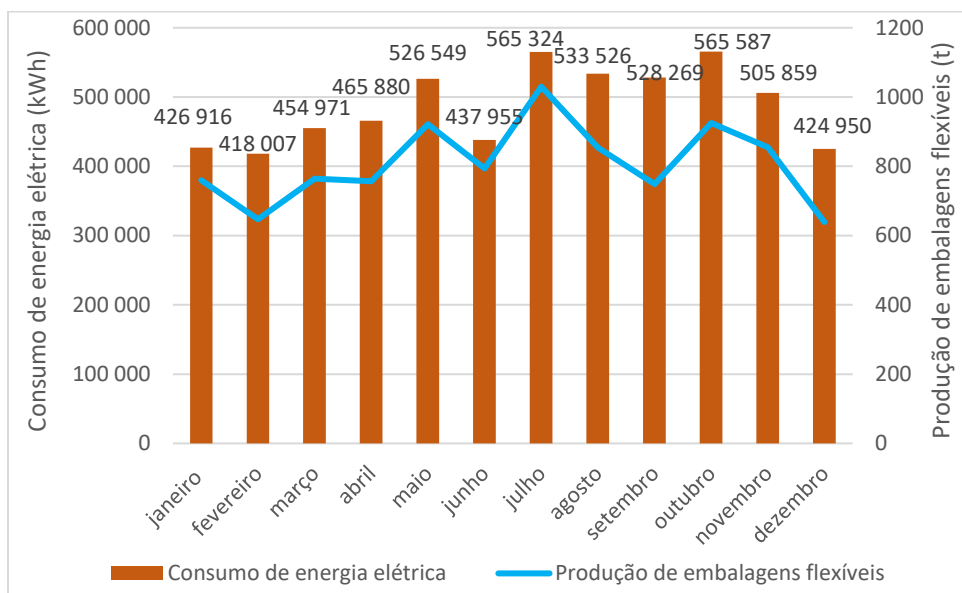


Figura 6.5 - Distribuição dos consumos de energia elétrica e produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.

O consumo de energia elétrica, encontra-se intimamente ligado à produção, quanto maior for a produção, mais tempo as máquinas estão ligadas e os restantes auxiliares e maior será o fornecimento de energia elétrica às mesmas.

Sendo assim, pela análise da figura 6.5, verifica-se que o consumo de energia elétrica segue a mesma tendência da produção, ou seja, até sensivelmente metade do ano a tendência é subir, depois nos meses de agosto e setembro baixa, de seguida em outubro verifica-se novamente um aumento, e por fim nos últimos dois meses do ano há uma descida.

No entanto, por vezes o consumo de energia não sobe ou desce na mesma proporção que a produção de embalagens, o que pode ser explicado pelos consumos de energia que não estão diretamente ligados à produção de embalagens, como a energia elétrica associada à iluminação dos escritórios e outros, computadores ligados, ar condicionados, unidades de tratamento de ar (UTA), entre outros.

Em suma, o maior consumo de energia dá-se no mês de outubro, com um consumo de 565 587 kWh, muito próximo do mês de julho, que é também o pico da produção. O menor consumo dá-se no mês de fevereiro, que corresponde a 418 007 kWh, contudo também é muito próximo do consumo do mês de dezembro, mês em

que há uma menor produção de embalagens. No total a UPEF consumiu cerca de 5854 MWh de energia elétrica.

### 6.3. Consumo global de energia na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Neste subcapítulo, apresentam-se os consumos globais de energia consumida, em tep, obtidos através de fatores de conversão específicos para cada tipo de energia.

Uma vez mais, o fator de conversão utilizado para o gás natural foi 1,077 tep/t, para o vapor foi 0,07406 tep/t, e para a energia elétrica foi  $2,15 \times 10^{-4}$  tep/kWh.

Com base nestes fatores, determinaram-se os consumos relativos à produção de embalagens flexíveis para as diferentes formas de energia, sendo apresentados na tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Consumo de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica e consumo global, em tep, na UPEF, para cada mês do ano 2019.

	<b>Gás Natural (tep)</b>	<b>Vapor de aquecimento (tep)</b>	<b>Energia eletrica (tep)</b>	<b>Consumo global (tep)</b>
<b>janeiro</b>	72,93	35,79	91,8	200,5
<b>fevereiro</b>	74,72	24,41	89,9	189,0
<b>março</b>	116,03	0	97,8	213,8
<b>abril</b>	70,05	27,63	100	197,8
<b>maio</b>	65,53	53,15	113	231,9
<b>junho</b>	65,09	37,06	94,2	196,3
<b>julho</b>	81,57	55,84	122	259,0
<b>agosto</b>	73,60	54,26	115	242,6
<b>setembro</b>	73,37	48,12	114	235,1
<b>outubro</b>	70,74	58,19	122	250,5
<b>novembro</b>	61,00	51,40	109	221,2
<b>dezembro</b>	39,39	41,27	91,4	172,0

Para mais facilmente se fazer uma comparação destes valores, construiu-se o gráfico de barras da figura 6.6, com base nos dados apresentados na tabela 6.2.

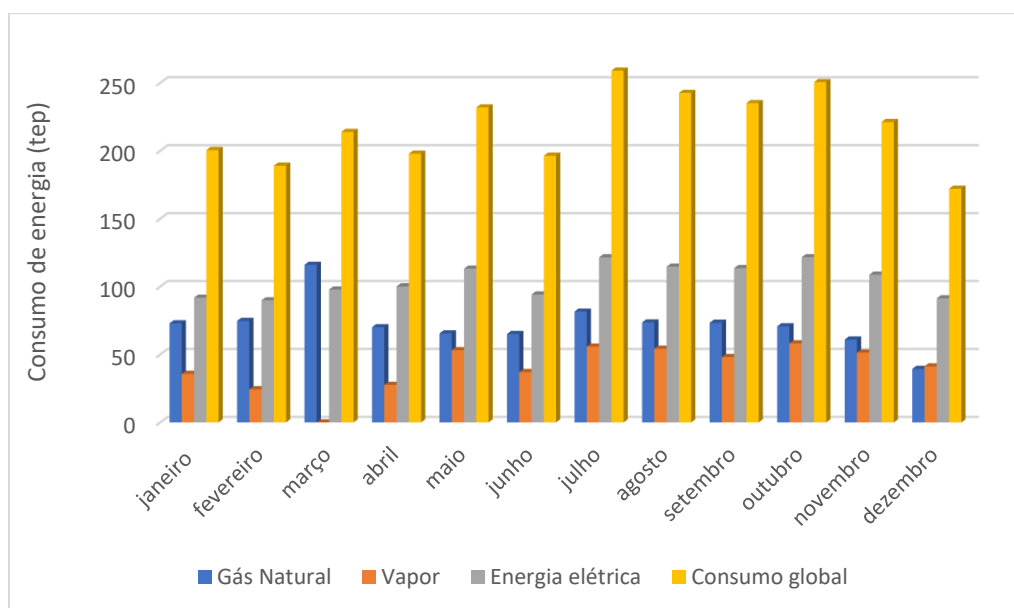


Figura 6.6 – Distribuição do consumo de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica, e consumo global de energia, em tep, na UPEF, ao longo do ano 2019.

Pela análise da figura 6.6, percebe-se que em todos os meses do ano, à exceção do mês de março, a fonte de energia que apresenta maior consumo é a energia elétrica. No referido mês, o gás natural tem maior peso, uma vez que, como não houve consumo de vapor, foi o gás natural que cobriu a necessidade deste último, ultrapassando assim o consumo de energia elétrica.

Nos restantes meses, a segunda fonte de energia mais consumida é o gás natural, e por último encontra-se o vapor de aquecimento. De notar que as máquinas que usam vapor para aquecimento nas estufas são apenas as complexadoras com solvente, ou sejam, apenas 4 máquinas, enquanto que nas impressoras as estufas são aquecidas por água quente, e esta é obtida por recurso ao gás natural.

Na figura 6.7 mostra-se um gráfico circular com a distribuição percentual de cada fonte de energia.

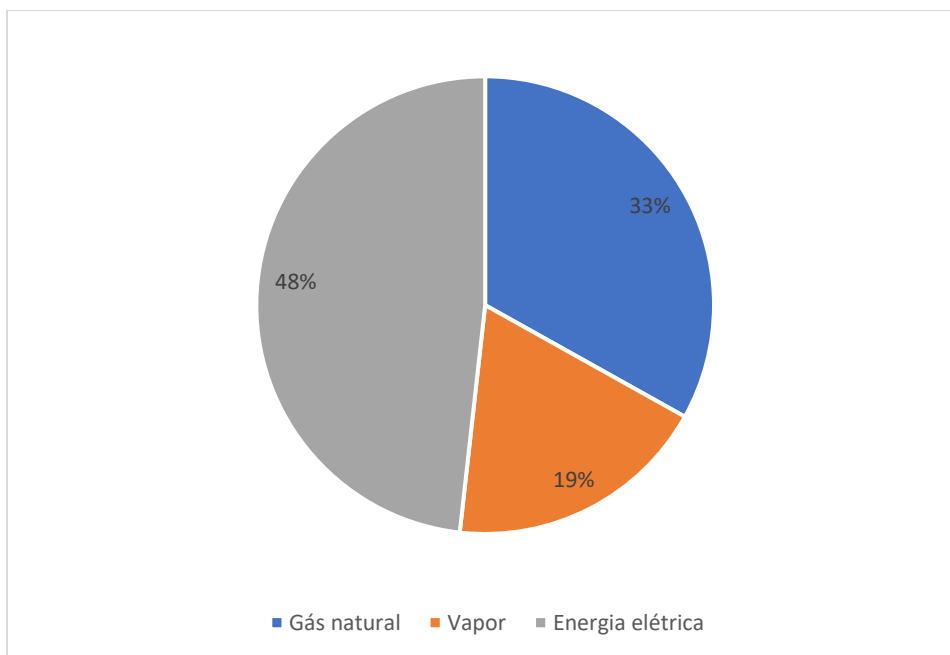


Figura 6.7 – Representação da percentagem que cada fonte de energia assume no total do consumo de energia na UPEF, no ano 2019.

No geral, a fonte de energia que tem mais peso no total dos consumos é a energia elétrica, que assume uma percentagem de 48 %. De seguida, vem o gás natural com uma percentagem de 33 %, e por último, com 19 % tem-se o vapor de aquecimento.

Assim sendo, no total a unidade de produção de embalagens flexíveis, consumiu no ano 2019, 2609,7 tep, sendo 864,0 tep atribuídos ao gás natural, 487,1 tep ao vapor de aquecimento e 1258,6 tep à energia elétrica.

De forma a perceber como varia o consumo global de energia com a produção das embalagens flexíveis, construíram-se os gráficos das figuras 6.8 e 6.9.

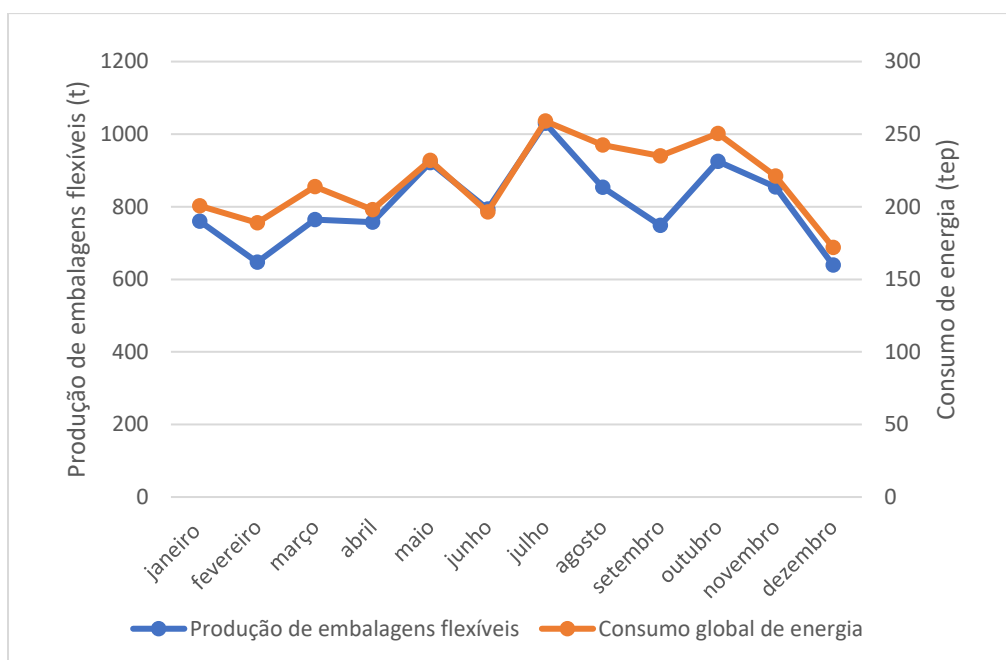


Figura 6.8 – Evolução do consumo global de energia e da produção de embalagens flexíveis, na UPEF, ao longo do ano 2019.

Pela análise do gráfico da figura 6.8, pode dizer-se que a tendência de ambas as curvas é a mesma, isto é, sempre que a produção aumenta, o consumo de energia aumenta e vice-versa, tal como seria de esperar.

Na figura 6.9, relaciona-se o consumo global de energia com a produção, apresentando-se um ajuste linear. Este ajuste é feito com o intuito de mostrar uma possível relação linear entre a produção e o consumo de energia. Ao analisar o coeficiente de correlação,  $r$ , é possível concluir que a relação corresponde apenas a uma tendência linear.

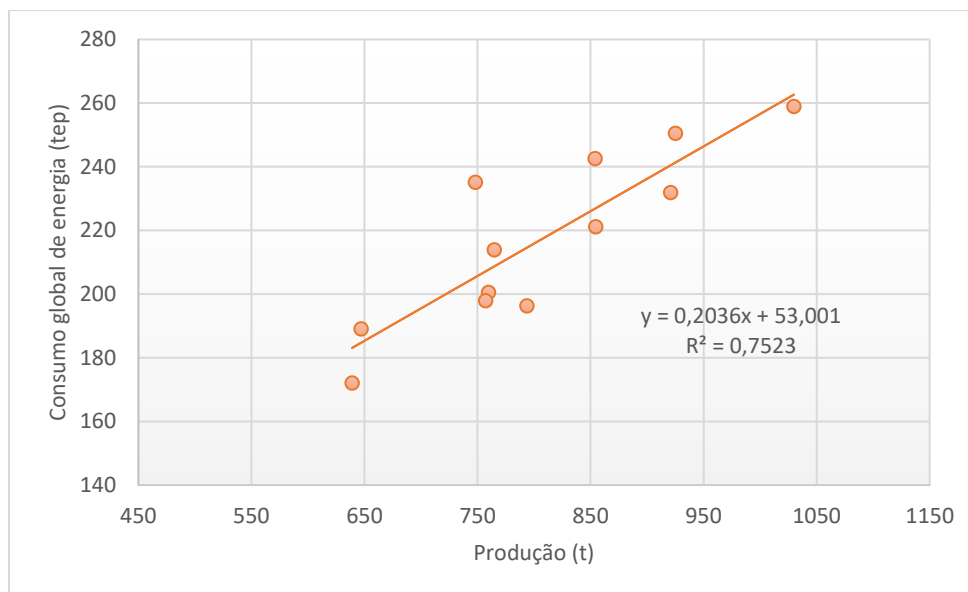


Figura 6.9 – Variação do consumo de energia com a produção de embalagens flexíveis, na unidade de produção de embalagens flexíveis.

Neste caso, encontra-se uma relação linear bastante razoável, já que o valor de  $r$  é de 0,8674, e quanto mais próximo de 1 for este valor mais linear é a correlação.

Aqui evidencia-se o aumento do consumo de energia global com o aumento de produção. A ordenada na origem do ajuste linear poderá mostrar os consumos fixos de energia, aproximadamente 53 tep.

### 6.3.1. Indicadores energéticos na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Os indicadores energéticos apresentados e avaliados neste subcapítulo são, uma vez mais, o consumo a intensidade carbónica (IC) e o específico de energia (CEE) para a unidade de produção de embalagens flexíveis. Pelo facto de não terem sido disponibilizados pela empresa os dados necessários ao cálculo do valor acrescentado bruto (VAB), nesta situação, não é possível calcular a intensidade energética (IE).

## Intensidade carbónica (IC) na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Novamente, o cálculo da intensidade carbónica para os diferentes tipos de energia, é feito através das equações 4.1 e 4.2, apresentadas no capítulo 4.

Posto isto, na tabela 6.3 apresentam-se os resultados obtidos de GEE, em tCO<sub>2e</sub>, para as diferentes fontes de energia, nos diferentes meses de 2019.

Tabela 6.3 – Emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para cada fonte de energia, e GEE global, na UPEF, ao longo dos meses do ano de 2019.

	<b>GEE gás natural (tCO<sub>2e</sub>)</b>	<b>GEE vapor de aquecimento (tCO<sub>2e</sub>)</b>	<b>GEE energia elétrica (tCO<sub>2e</sub>)</b>	<b>GEE global (tCO<sub>2e</sub>)</b>
<b>janeiro</b>	195,6	97,5	200,7	493,7
<b>fevereiro</b>	200,4	66,5	196,5	463,3
<b>março</b>	311,2	0	213,8	525,0
<b>abril</b>	187,9	75,3	219,0	482,1
<b>maio</b>	175,7	144,8	247,5	568,0
<b>junho</b>	174,5	101,0	205,8	481,4
<b>julho</b>	218,7	152,1	265,7	636,6
<b>agosto</b>	197,4	147,8	250,8	595,9
<b>setembro</b>	196,8	131,1	248,3	576,1
<b>outubro</b>	189,7	158,5	265,8	614,0
<b>novembro</b>	163,6	140,0	237,8	541,4
<b>dezembro</b>	105,6	112,4	199,7	417,8
<b>Total</b>	2317	1327	2751	6395
<b>%</b>	36	21	43	100

Nesta situação, conclui-se que a energia elétrica é a fonte de energia responsável pela maior emissão de gases com efeito de estufa, com uma percentagem de 43 %, enquanto que o gás natural e o vapor de aquecimento têm um peso de 36 % e 21 %, respetivamente.

Foi construído um gráfico, apresentado na figura 6.10, que pretende relacionar o total de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) com o consumo de energia das diversas fontes.

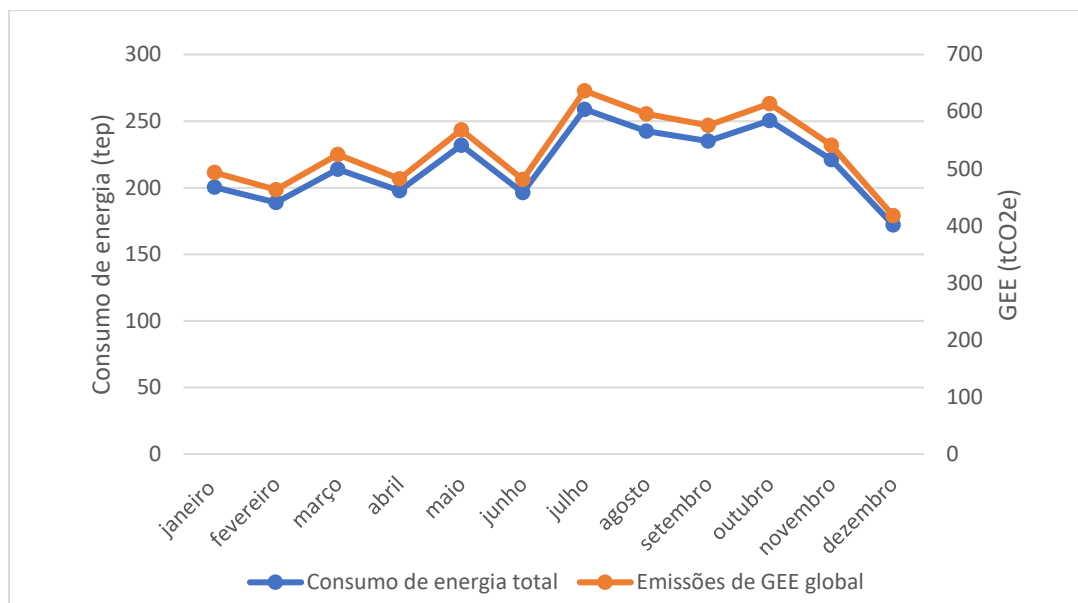


Figura 6.10 – Evolução do consumo total energia, em tep, e do total das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), na unidade de produção de embalagens flexíveis, ao longo do ano 2019.

Tal como seria de esperar, as emissões de gases com efeito de estufa acompanham perfeitamente o consumo de energia global, ou seja, sempre que há um aumento do consumo de energia, que é consequência de uma maior produção, também irá originar uma maior emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

A quantidade máxima de GEE emitida foi de 637 tCO<sub>2e</sub>, no mês de julho, e a quantidade mínima assume o valor de 418 tCO<sub>2e</sub>, no mês de dezembro.

De seguida, foi determinada a intensidade carbónica associada à energia total, para cada mês, através do consumo global de energia, em tep, apresentado na tabela 6.2, e do GEE global, apresentado na tabela 6.3.

Na tabela 6.4, são apresentados os resultados para esses valores.

Tabela 6.4 – Intensidade carbónica, na UPEF, para cada mês do ano 2019.

	<b>Total consumo energia (tep)</b>	<b>Total emissões gases efeito de estufa (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>Intensidade carbónica (tCO<sub>2</sub>e/tep)</b>
<b>janeiro</b>	200,5	493,7	2,46
<b>fevereiro</b>	189,0	463,3	2,45
<b>março</b>	213,8	525,0	2,46
<b>abril</b>	197,8	482,1	2,44
<b>maio</b>	231,9	568,0	2,45
<b>junho</b>	196,3	481,4	2,45
<b>julho</b>	259,0	636,6	2,46
<b>agosto</b>	242,6	595,9	2,46
<b>setembro</b>	235,1	576,1	2,45
<b>outubro</b>	250,5	614,0	2,45
<b>novembro</b>	221,2	541,4	2,45
<b>dezembro</b>	172,0	417,8	2,43

A intensidade carbónica, mais uma vez, não varia significativamente ao longo dos meses do ano. Esta situação é expectável, uma vez que, se trata de um quociente, e como anteriormente referido, quando a energia consumida diminui, a quantidade de gases de efeito de estufa emitidos também diminui, e vice-versa, daí este valor manter-se mais ou menos constante.

### **Consumo específico de energia (CEE) na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis**

O consumo específico de energia (CEE) é calculado conforme a equação 4.3, em que, neste caso, a produção se refere à produção de embalagens flexíveis. São por isso usados, nos cálculos deste indicador, os valores apresentados na tabela 6.1.

Os consumos específicos de energia foram calculados para cada fonte de energia, e também foi calculado o CEE global, para cada mês do ano 2019. Esses valores são apresentados no anexo B.2.2, e na figura 6.11 está a respetiva representação gráfica.

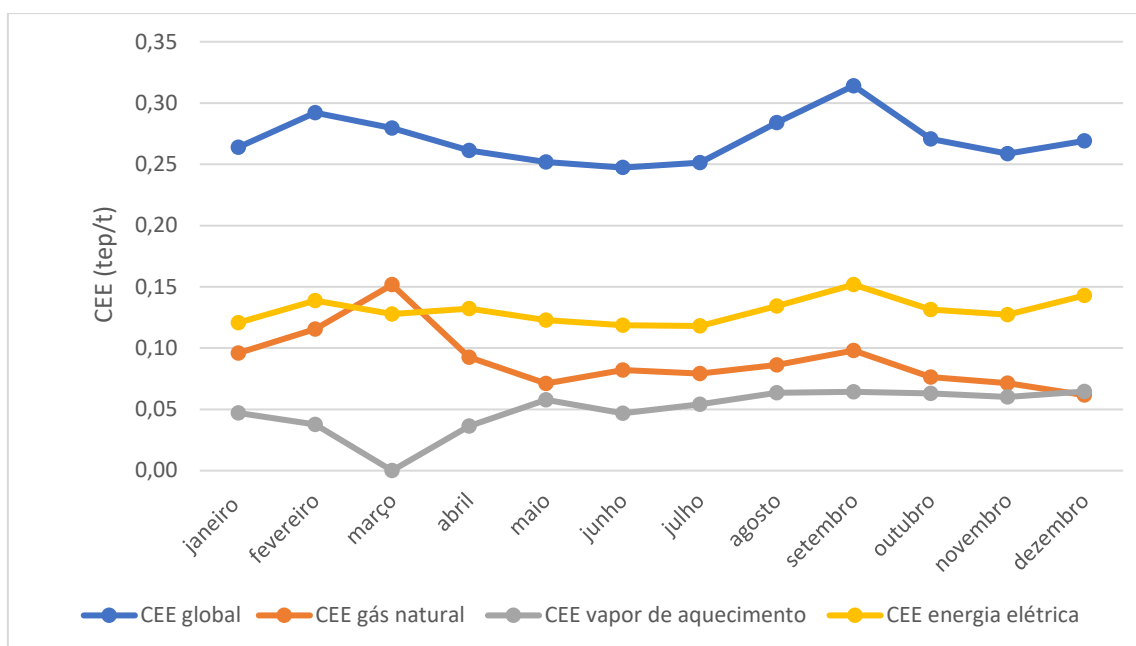


Figura 6.11 – Evolução do CEE global e de cada fonte de energia, na UPEF, ao longo do ano 2019.

De notar que o CEE global é fruto do somatório dos CEE's das várias fontes de energia. Através da análise da figura 6.11, percebe-se que a energia elétrica é a fonte de energia com maior contribuição no CEE global.

Relativamente ao vapor e ao gás natural, este último encontra-se sempre superior ao primeiro, já que há um maior consumo de gás natural, em tep, do que vapor.

Na figura 6.12, a representação gráfica apresentada pretende relacionar mais facilmente, a produção de embalagens flexíveis, presente na tabela 6.1, com o consumo específico de energia global.

O consumo específico de energia médio para a produção vendável de embalagens flexíveis é de 0,2703 tep/t.

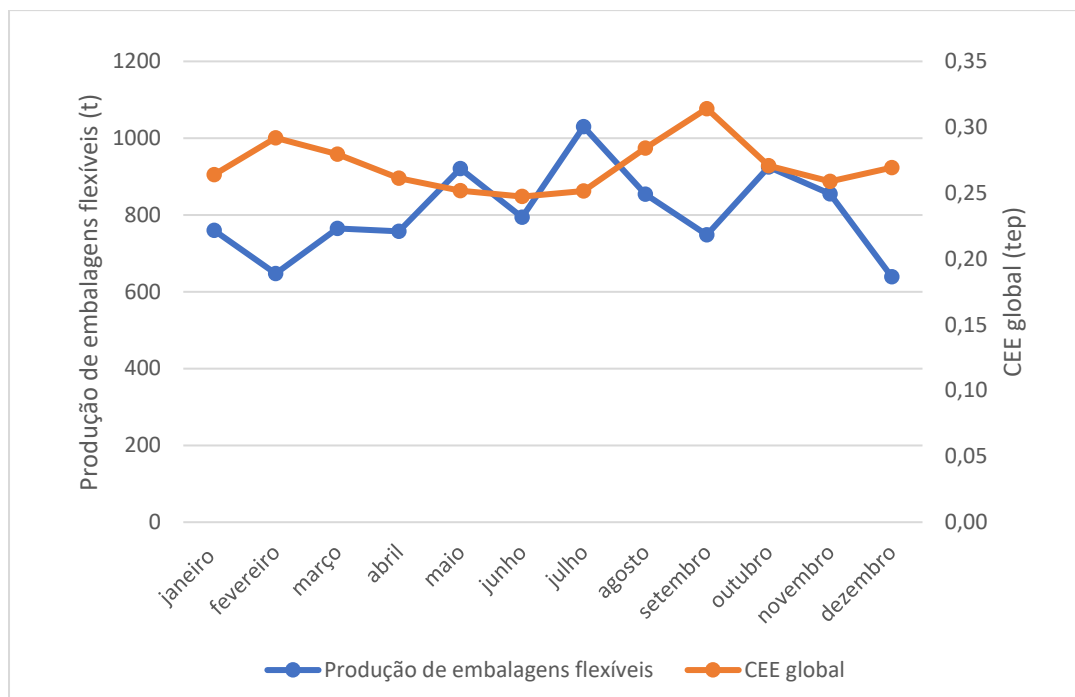


Figura 6.12- Consumo específico de energia global e produção total de embalagens flexíveis para cada mês do ano 2019.

Através da análise da figura 6.12 constata-se que o CEE global se mantém mais ou menos constante ao longo do ano, por outro lado a produção de embalagens não apresenta uma tendência bem definida ao longo do ano, como já foi detalhado na figura 6.1.

A relação entre o consumo específico de energia CEE global e a produção de embalagens flexíveis é normalmente ajustável a uma hipérbole, para este tipo de resultados, no entanto, o gráfico da figura 6.13 não evidencia este comportamento.

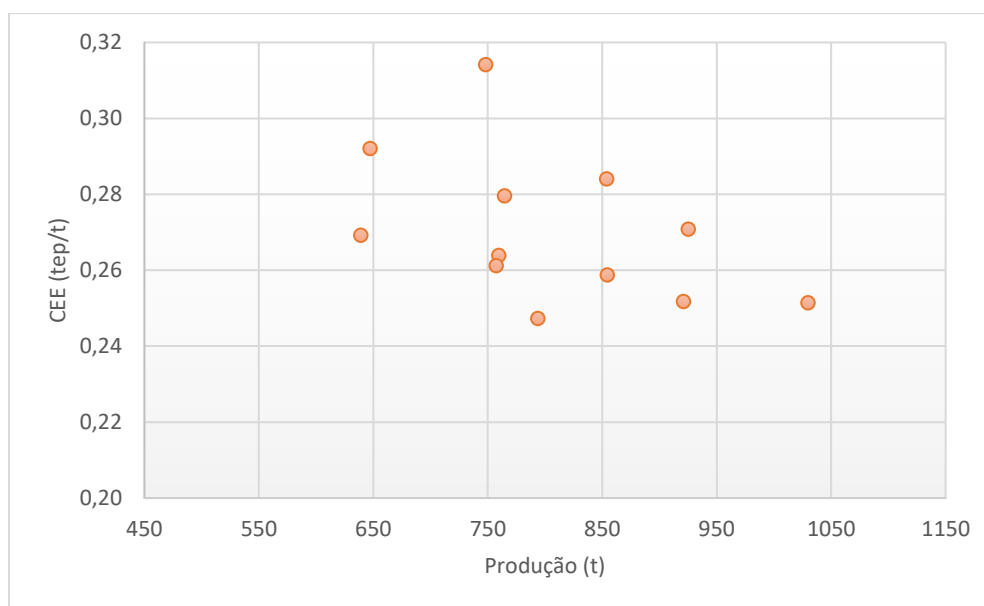


Figura 6.13 – Variação do consumo específico de energia (CEE) global com a produção de embalagens flexíveis, na unidade de produção de embalagens flexíveis.

Verifica-se que os resultados apresentam uma ligeira tendência decrescente mas que se pode considerar constante dado que a variação do CEE é muito inferior à variação da produção de solventes. Isto vem reforçar a conclusão tirada com o gráfico da figura 6.11.

Como referido no capítulo anterior, o CEE trata-se do quociente entre o consumo de energia, em tep, e a produção. Pela análise da figura 6.9 quando a produção de embalagens flexíveis aumenta o consumo global de energia também aumenta, verificando-se pela figura 6.13 que este quociente se mantém mais ou menos constante.

#### 6.4. Levantamento das potências instaladas nos equipamentos da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Neste subcapítulo apresenta-se um levantamento da maioria dos equipamentos que consomem energia elétrica na UPEF, sendo que foi feita uma procura das potências instaladas nos mesmos, fez-se também a estimativa da média das horas que esses equipamentos estão ligados por dia, e do fator de carga, de forma a chegar ao consumo diário de energia elétrica, em kWh, de cada um deles.

O fator de carga é dado pela razão entre o consumo de energia e a potência instalada (fornecimento máximo), dentro de um espaço de tempo, como se pode ver na equação 6.1:

$$Fator\ de\ carga = \frac{Energia\ consumida\ (kWh)}{Potência\ instalada\ (kW) * Tempo\ (h)} * 100 \quad (6.1)$$

Assim,

$$\begin{aligned} Energia\ diária\ consumida\ (kWh) &= \\ &= Potência\ instalada\ (kW) * Tempo\ (h) * Fator\ de\ carga \end{aligned} \quad (6.2)$$

As potências instaladas foram obtidas através do manual de cada equipamento, e também nas chapas de informação que se encontram nos próprios equipamentos. A média das horas de trabalho de cada máquina da produção foram obtidas através de um ficheiro disponibilizado pela empresa, que continha o registo da contagem dos impulsos elétricos de cada máquina em intervalos de 10 segundos, para o ano 2019. No caso dos auxiliares de produção, em que não há esse tipo de registo, foi estimado o tempo que cada equipamento está em funcionamento através do *know-how* da empresa.

De notar que existem ainda outros equipamentos auxiliares que gastam energia e que não são apresentados nesta tabela por falta de informação à cerca dos mesmos, tais como, carregamento de empilhadores e *stakers*, máquina de lavagem de clichês, computadores e impressoras dos escritórios, entre outros.

Na tabela 6.5 encontra-se a listagem das máquinas de impressão, complexagem, corte e saqueiras, bem como de outros equipamentos auxiliares à produção que também consomem energia elétrica.

Podem ser consultados mais detalhes sobre os dados apresentados nesta tabela no anexo C.

Tabela 6.5 – Potência instalada em cada equipamento da UPEF e respectivas horas de trabalho estimadas por dia.

<b>Equipamentos</b>	<b>Nº de equipamentos</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>	<b>Média das horas de funcionamento por dia (h)</b>	<b>Energia diária consumida com correção (kWh)</b>
<b>Impressão</b>				
<b>IR1 - Impressão a 6 cores</b>	1	47,5	9,4	199,9
<b>IR2 - Impressão a 8 cores</b>	1	27,5	12,3	151,4
<b>IR3 - Impressão a 10 Cores</b>	1	100	12,4	555,0
<b>IR4 - 08IC Impressora a 8 Cores com complexagem</b>	1	260	13,1	1524,5
<b>IR5 - Maq Roto Windmüller 10 Cores</b>	1	160	9,8	701,8
<b>IF1 - Maq Flexografica 08+1 Cores - UTECO</b>	1	159	11,9	846,9
<b>IF2 - Maq Flexografica 10 Cores - Windmüller</b>	1	204	10,7	977,0
<b>IF3 - Maq Flexografica 08 Cores - Bobst</b>	1	175,2	8,0	627,4
<b>IF4 - Maq Flexografica 10+1 Cores - Bobst</b>	1	358,4	5,6	898,3
<b>Complexagem</b>				
<b>Complexadora com Solventes (C2)</b>	1	47,5	14,5	308,3
<b>Complexadora com Solventes (C5)</b>	1	48	16,6	356,6
<b>Complexadora com Solventes (C6)</b>	1	272	17,0	2 069,7
<b>Complexadora com Solventes (C7)</b>	1	272	15,4	1 874,9
<b>Complexadora sem Solventes (C3)</b>	1	95	5,1	216,9
<b>Complexadora sem Solventes (C4)</b>	1	152	15,1	1 027,3
<b>Corte final</b>				
<b>R9</b>	1	27,5	7,7	94,8
<b>R10</b>	1	46	16,3	335,6
<b>R11</b>	1	8,5	4,8	18,3
<b>R12</b>	1	46	14,8	304,7
<b>R13</b>	1	30	7,9	106,1
<b>R14</b>	1	60	14,7	394,8
<b>R15</b>	1	8,5	11,3	43,0
<b>R16</b>	1	52	13,2	307,2
<b>R18</b>	1	60	9,9	265,9
<b>R20</b>	1	48	7,0	150,4
<b>R22</b>	1	8	2,8	10,0

Tabela 6.5 – Potência instalada em cada equipamento da UPEF e respectivas horas de trabalho estimadas por dia (continuação).

<b>Saqueiras</b>				
<b>Confecção 2 Soldaduras (S4)</b>	1	1,75	2,4	1,9
<b>Confecção 3 Soldaduras (S8)</b>	1	3,8	0,5	0,9
<b>Maq. Doypack S10</b>	1	40	10,4	186,2
<b>Maq. Doypack S11</b>	1	28	10,5	131,6
<b>Maq. Doypack S12</b>	1	28	9,9	124,1
<b>Saqueira S9</b>	1	2,3	2,5	2,6
<b>Auxiliares</b>				
<b>Motores transporte cilindros</b>	3	0,9	4	4,8
<b>Motores transporte cilindros</b>	4	0,44	4	3,2
<b>Motoras máquinas de cortar desperdício em fitas</b>	3	18,5	6	149,1
<b>Motor da torre refrigeração</b>	1	5,5	24	59,1
<b>Máquina lavagem clichês</b>	1	16	11	78,8
<b>Destilador lavagem</b>	1	25,1	22	247,2
<b>Máquina colar clichês</b>	2	1,1	20	19,7
<b>Motores estantes móveis</b>	43	0,54	1	10,4
<b>Máquinas envolvidoras de filme</b>	2	1	6	5,4
<b>Bombas de água quente (6C)</b>	2	5,5	4,72	22,2
<b>Bombas de água quente (8C)</b>	2	5,5	6,13	29,5
<b>Bomba de água quente (10C)</b>	2	5,5	6,21	29,5
<b>Bombas de água quente (8IC)</b>	2	30	6,53	161,1
<b>Bombas de água quente</b>	3	11	24	354,5
<b>Bomba de água quente (condensados)</b>	1	2,2	24	23,6
<b>Bomba de água quente (condensados)</b>	1	0,37	24	4,0
<b>Bombas de água fria (8C;6C;10C)</b>	1	5,5	14,00	34,5
<b>Bombas de água fria (8IC; entre outras)</b>	2	4	14	50,1
<b>Bombas de água quente (UTAS)</b>	2	0,335	24	7,2
<b>Bombas de água quente (UTAS)</b>	2	0,63	24	13,5
<b>Bomba de água quente (windmoller 10c roto)</b>	1	15	10,7	65,8
<b>Bomba de água quente (bobst 10c)</b>	1	4	5,6	10,0
<b>Secador de ar comprimido</b>	1	4	1	1,8
<b>Compressores</b>	2	75	1	67,1
<b>Chiller elétrico (apoio à máquina Uteco)</b>	1	13	11,9	69,2
<b>Chiller elétrico (apoio à máquina Uteco)</b>	1	24	11,9	127,8
<b>Chiller elétrico (apoio à máquina C4)</b>	1	14	15,1	94,6

Tabela 6.6 – Potência instalada em cada equipamento da UPEF e respetivas horas de trabalho estimadas por dia (continuação).

<b>Chiller elétrico (apoio à máquina C6)</b>	1	19	17	144,6
<b>Chiller elétrico (apoio à máquina Flexo 10c windmoller)</b>	1	40	10,7	191,6
<b>Ar condicionado (AC MITSUBIHI MUH - GA 25VB)</b>	6	0,035	12	1,1
<b>Ar condicionado (AC MITSUBIHI MUH - GA 35VB)</b>	4	0,04	12	0,9
<b>Ar condicionado (AC MITSUBIHI MUH - GA 60VB)</b>	1	0,06	12	0,3
<b>Máquinas corte mandris</b>	2	4,08	14	50,1
<b>Máquinas mistura de componentes do adesivo (C3)</b>	1	3	8	10,7
<b>Máquinas mistura de componentes do adesivo (C4)</b>	1	4	8	14,3
<b>Máquinas mistura de componentes do adesivo (C2, C5, C6 e C7)</b>	3	0,25	8	2,7
<b>UTA's* CIAT</b>	9	7,5	24	725,1
<b>UTA's* EVAC</b>	2	3,5	24	75,2
<b>Apara desperdício de saqueiras</b>	1	1,85	6	5,0
			<b>Total</b>	17779,3

\*UTA – Unidade de tratamento de ar

Inicialmente foi atribuído um fator de carga de 75 % a cada equipamento, e calculando a energia diária consumida de cada equipamento com este fator, obtém-se um total de 29 791,1 kWh consumidos pelos equipamentos.

Na realidade, o consumo total de energia elétrica da UPEF, no ano 2019 foi de 5 853 792 kWh. Esta laborou, cerca de 309 dias nesse ano, tendo um consumo diário de 18 944,3 kWh. O consumo anual de energia elétrica referente apenas à iluminação foi de 360 000 kWh, o que representa apenas 6 % do consumo total. Por dia, com a iluminação, a UPEF consome 1 165,0 kWh, sendo o restante atribuído aos equipamentos, ou seja, 17 779,3 kWh.

Verifica-se assim que o inicialmente estimado com fator de carga 75 % (29 791,1 kWh), se encontra bastante longe da realidade (17 779,3 kWh).

Através da ferramenta Solver do Excel (ver anexo C), fez-se o ajuste destes valores, ao forçar que o total do consumo de energia elétrica por parte dos equipamentos fosse igual a 17 779,3 kWh, através do uso de um fator de correção. O fator de correção obtido, foi de 0,5967, assim o fator de carga foi corrigido para 75 \*

0,5967 = 44,8 % e os consumos diários de cada equipamento vão sofrer alterações, ao serem corrigidos por um fator de carga corrigido inferior.

Esta não é uma forma muito precisa, mas serve para se fazer uma estimativa do consumo de cada equipamento, e do peso que ele terá na fatura de eletricidade.

A distribuição do consumo de energia elétrica por parte dos equipamentos é apresentada sob a forma de gráfico circular na figura 6.14.

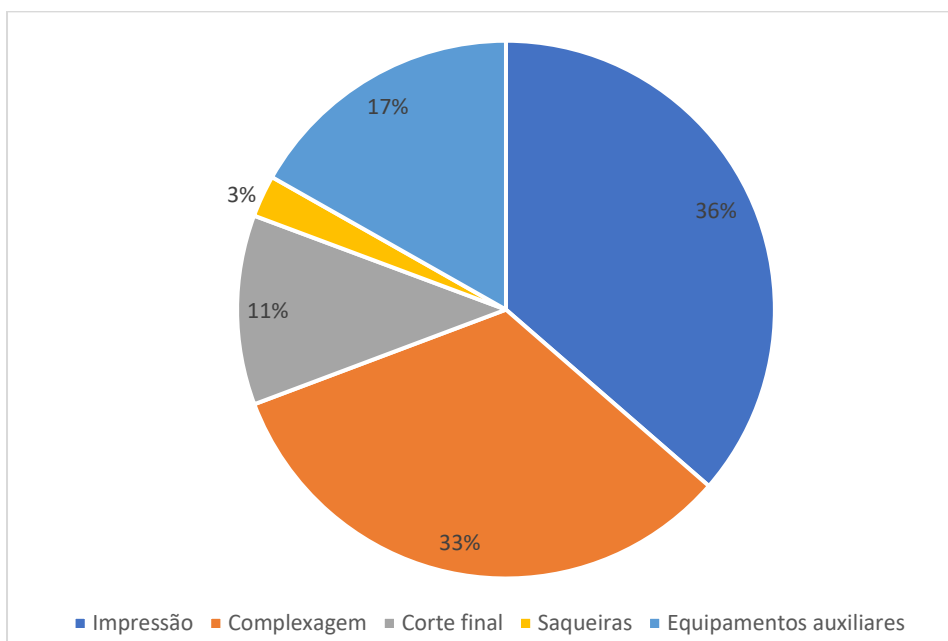


Figura 6.14 – Distribuição percentual do consumo de energia elétrica por parte dos equipamentos instalados na UPEF

Conclui-se assim, que os principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica na UPEF são as máquinas de impressão, que assumem uma percentagem de 36 % e as de complexagem, com uma percentagem de 33 %, como seria de esperar pelas suas elevadas potências instaladas, e bastantes horas de trabalho diárias.

### 6.5. Máquina de complexagem com solvente (C7)

Fez-se o acompanhamento de um trabalho na máquina de complexagem com solvente C7, que durou cerca de 2h30min, e complexou-se cerca de 32021 m de filme. Neste caso uniu-se um filme impresso de PET Químico a um filme sem estar impresso de PE EVOH linear Antifog.

O polietileno tereftalato/poliéster (PET) possui média barreira à humidade, média barreira a gases e excelente barreira à gordura, não permite a solda e apresenta boa resistência à tração e boa resistência ao impacto/perfuração [8].

O polietileno de baixa densidade (PE) possui, muito boa barreira à humidade, má barreira a gases e a gordura, boa soldabilidade e boa resistência à tração e à perfuração/impacto [8].

O copolímero etileno – álcool vinílico (EVOH) apresenta fraca barreira à humidade, excelente barreira a gases e à gordura e não é usado individualmente daí a sua combinação ao PE [8].

Os agentes antifog são usados porque, por vezes, a aparência visual de produtos embalados com elevado teor de água pode ser prejudicada através do embaciamento causado pela condensação da água, formando pequenas gotas sobre a superfície interior da película de plástico, e estes agentes diminuem a tensão superficial das gotículas de água, levando-as a unir e formar uma camada transparente e contínua que deixa de ser visível [8].

O esquema representativo da máquina em questão, C7, é apresentado na figura 6.15.

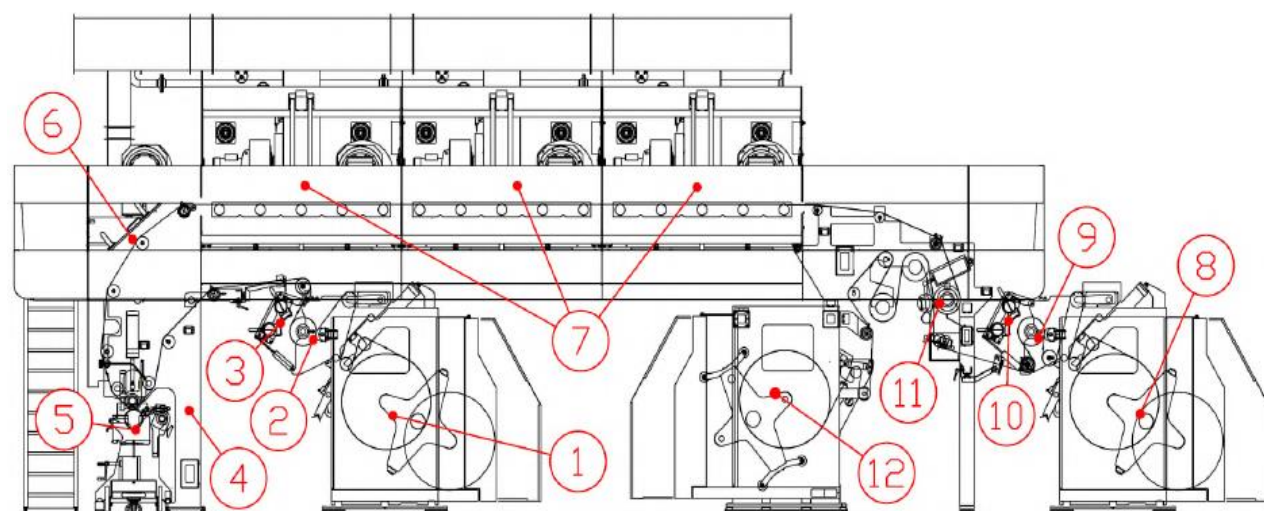


Figura 6.15 – Esquema representativo da máquina de complexagem com solvente, C7, presente na UPEF [20].

O filme impresso, onde vai ser aplicada a cola, é desbobinado pelo desbobinador duplex automático primário (ponto 1), que permite o alojamento de uma segunda bobine durante o trabalho, para executar a troca automática e assim nunca interromper a máquina.

Após o desbobinador, o filme passa através do grupo puxador primário (ponto 2), que garante a correta tensão na entrada da aplicação de cola. A máquina foi

preparada pelo fabricante para a instalação de um grupo de tratamento corona (ponto 3), explicado anteriormente no subcapítulo 2.3.1, página 13.

A aplicação do filme é efetuada pelo grupo aplicador (ponto 4), que aloja o carrinho aplicador (5) adequado para a produção, a cola é bombeada para este último ponto a partir de um pequeno reservatório de cola, que não se encontra representado na figura.

A mistura de cola é feita num pequeno misturador que tem uma balança incorporada e que pesa a quantidade de cada componente (na proporção adequada) da cola definida, que também não está representado na figura. No caso do trabalho acompanhado a proporção foi 20 kg de uma base, 14 kg de solvente (acetato de etilo) e 5 kg de catalisador, perfazendo assim um total de 39 kg para cada mistura de cola. A reticulação do adesivo começa logo após a mistura dos componentes do adesivo e posterior aplicação no filme.

Após a aplicação de cola, o filme segue para a estufa (pontos 6 e 7), onde o objetivo aqui é evaporar o acetato de etilo contido na mistura de cola. A estufa também acelera o processo de secagem do adesivo o que vai facilitar e acelerar o processo de reticulação (ocorre quando as cadeias poliméricas se interligam através de ligações covalentes, aumentando assim a rigidez e a massa molar do adesivo). Esta estufa é constituída por 3 secções distintas, cada uma delas possui um permutador de calor, por onde passa vapor de água, a uma temperatura de 180 °C e pressão 9 barg, que troca calor com o ar de forma a aquecê-lo até à temperatura de trabalho pretendida.

O segundo filme a laminar com aquele onde foi feita a aplicação da cola, é desenrolado pelo desbobinador duplex automático secundário (ponto 8), na saída do qual está montado o grupo puxador secundário (ponto 9). O ponto 10, trata-se novamente da zona onde pode ser instalado o tratamento de corona.

O passo seguinte corresponde à união (colagem) dos dois filmes (ponto 11). O primeiro filme que vem da estufa irá passar pela calandra, onde existe um rolo com aquecimento, para facilitar a colagem, que ao fazer pressão sobre outro rolo irá permitir a união dos dois filmes. O rolo seguinte também possui aquecimento e serve para direcionar o filme e para facilitar o processo de reticulação. A temperatura dos rolos é obtida através de água quente (entre 45 e 55 °C) que circula no seu interior. Não foi quantificado o consumo desta água, pois como se trata de um circuito fechado, a água de compensação é muito pequena.

O rebobinador duplex automático (ponto 12) finaliza o processo, é aqui que se faz o rebobinamento do filme complexado. Quando esta bobine de filme estiver finalizada, a máquina faz a troca automática para a bobine seguinte, permitindo a produção sem interrupções. Antes do rebobinamento do filme, este é resfriado através da sua passagem num rolo onde passa água fria.

Relativamente à velocidade de processamento, metade do tempo do trabalho foi realizado a uma velocidade de 300 m/min e outra metade a uma velocidade de 250 m/min, devido à troca de turnos.

Na figura 6.16 encontra-se uma imagem da máquina para se ter uma melhor perceção das suas dimensões.



Figura 6.16 – Imagem real da máquina C7 [20].

Esta máquina tem 14 metros de comprimento, 3 m de largura e 4 metros de altura, aproximadamente.

#### 6.5.1. Consumo de vapor de água na estufa

Foram medidos alguns parâmetros ao longo do trabalho, apresentados na tabela 6.6, que permitiram fazer um balanço de energia à estufa de forma a determinar o consumo de vapor de aquecimento na mesma. Para o balanço foram feitas algumas aproximações, por exemplo, considerou-se que a velocidade de aspiração de ar para as

três secções da estufa é igual à velocidade de extração de ar na chaminé de exaustão, pois era o único local onde foi possível medir esta velocidade com um anemómetro digital.

A temperatura no interior das secções da estufa é indicada num computador associado à máquina, e durante o trabalho estas mantiveram-se constantes. Na secção 1 registou-se 86 °C, na secção 2, igualmente, 86 °C e na secção 3, atingiu-se os 91 °C.

Para efeitos de balanço de energia, considerou-se a estufa como uma secção única, a uma temperatura média de 87,7 °C e a temperatura ambiente de 25,3 °C.

As temperaturas do ar ambiente foram medidas com um termómetro digital, que indica a temperatura ambiente, a temperatura de bolbo seco e bolbo húmido, bem como a humidade relativa.

Tabela 6.7 – Registo das medições feitas ao longo do trabalho na máquina de complexagem com solvente C7.

<b>Velocidade média de extração de ar (m/s)</b>	<b>9,96</b>	
<b>Diâmetro da chaminé (m)</b>	<b>0,7</b>	
<b>Ar ambiente</b>	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	25,3
	<b>Temperatura de bolbo seco (°C)</b>	15,5
	<b>Temperatura de bolbo húmido (°C)</b>	19,0
	<b>Humidade relativa (%)</b>	54,5
	<b>Humidade absoluta (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,013
<b>Ar exaustão</b>	<b>Temperatura ar (°C)</b>	40,2
	<b>Temperatura de bolbo seco (°C)</b>	20,3
	<b>Temperatura de bolbo húmido (°C)</b>	28,0
	<b>Humidade relativa (%)</b>	23,9

O balanço realizado é o apresentado na equação 6.2:

$$Q_{Vapor} \left( \frac{kJ}{kg} \right) = Q_{Ar\ húmido} \left( \frac{kJ}{kg} \right) \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \dot{m}_{vapor} \left( \frac{kg}{h} \right) * \lambda_c \left( \frac{kJ}{kg} \right) = \dot{m}_{ar\ seco} \left( \frac{kg}{h} \right) * c_{p_{ar\ seco}} \left( \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) * (T_{estufa} - T_{ambiente}) (^\circ C) + \dot{m}_{\acute{a}gua} \left( \frac{kg}{h} \right) * c_{p_{vapor\ \acute{a}gua}} \left( \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) * (T_{estufa} - T_{ambiente}) (^\circ C)$$

(6.2)

Onde:

$Q_{Vapor}$  – Potência calorífica associada ao vapor

$Q_{Ar\ húmido}$  – Potência calorífica associada ao ar húmido

$\dot{m}_{vapor}$  – Caudal mássico de vapor

$\dot{m}_{ar\ seco}$  – Caudal mássico de ar seco

$\dot{m}_{\acute{a}gua}$  – Caudal mássico da água presente no ar

$c_{p_{vapor\ \acute{a}gua}}$  – Calor específico da água

$c_{p_{ar\ seco}}$  – Calor específico do ar seco

$\lambda$  – Calor latente de vaporização

$T_{estufa}$  – Temperatura da estufa

$T_{ambiente}$  – Temperatura ambiente

Uma vez que não é possível fazer quaisquer medições no caudal de condensados, considerou-se apenas a condensação total do vapor saturado (9 barg, 180 °C) a líquido saturado à mesma pressão e temperatura.

Na tabela 6.8 encontram-se os dados necessários para substituir no balanço.

Tabela 6.8 – Dados para substituir nos balanços.

$\dot{m}_{ar\ seco} \left( \frac{kg}{h} \right)$	15635
$\dot{m}_{\acute{a}gua} \left( \frac{kg}{h} \right)$	176
$c_{p_{\acute{a}gua}} \left( \frac{kJ}{kg \cdot K} \right)$	1,8
$c_{p_{ar\ seco}} \left( \frac{kJ}{kg \cdot K} \right)$	1,00
$\lambda \left( \frac{kJ}{kg} \right)$	2014,6
$T_{estufa} (^\circ C)$	87,7
$T_{ambiente} (^\circ C)$	25,3

Ao resolver o balanço, obteve-se então um caudal de vapor de água consumido na estufa de  $509 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

O cálculo mais detalhado para obtenção deste resultado encontra-se no anexo D.1.

### 6.5.2. – Taxa de evaporação de solvente na estufa

Foi quantificado o consumo de cola durante o trabalho (2h30min), que foi de cerca de três misturas e meia, sendo que cada mistura tem 39 kg, o que significa que foi aplicada 136,5 kg de cola no filme impresso, num comprimento de 32021 metros (comprimento total do trabalho) e numa largura de 1,035 metros.

A gramagem de cola, ou seja, as gramas de cola por  $\text{m}^2$  de filme, possui um limite mínimo e máximo ótimo, que são, respetivamente, 2,66 e 2,94  $\text{g}/\text{m}^2$ , para efeitos de cálculo assume-se a média destes valores, que é 2,80  $\text{g}/\text{m}^2$ .

Tendo em conta que se adicionou 136,5 kg de cola em 33142  $\text{m}^2$ , significa que a gramagem será de 4,12  $\text{g}/\text{m}^2$ . Após o filme passar na estufa e perder grande quantidade de solvente, este atinge a gramagem ótima, ou seja, 2,80  $\text{g}/\text{m}^2$ . A quantidade de solvente que se perdeu por evaporação na estufa é dada pela subtração da gramagem do filme se este não passasse na estufa pela gramagem ótima, ou seja,  $4,12 - 2,80 = 1,32 \text{ g}/\text{m}^2$ .

Este valor, 1,32  $\text{g}/\text{m}^2$ , corresponde a 43,7 kg de solvente evaporado. Visto que, na cola o solvente representa 36 % da mistura, significa que foi aplicado no filme 49 kg de solvente. Obtém-se assim uma taxa de evaporação de 89 % sendo que o restante se mantém no filme. Será de relembrar que este solvente evaporado vai para a unidade SRU para recuperação.

Os cálculos para obtenção deste rendimento, encontram-se no anexo D.2.

### 6.5.3. – Potência elétrica consumida na máquina C7

Ao longo do trabalho foi colocado, no quadro elétrico da máquina, um analisador de rede, da marca Fluke, nomeadamente o registador da qualidade de potência trifásica Fluke 1736. Para além de muitos dados e gráficos que podem ser consultados no final da medição, o aparelho indica em tempo real o consumo de

energia acumulado. Ao fim de uma hora leu-se o valor de energia consumida acumulada de 47,36 kWh.

Se se considerar que a produção foi constante ao longo do tempo de duração do trabalho, 2,5 h, então, em 1 h, terão sido produzidos 13257 m<sup>2</sup> de filme o que se traduz num consumo específico de 0,003572 kWh/m<sup>2</sup>.

Depois de parar a medição, o software do aparelho permitiu consultar a tabela apresentada na figura 6.17.

■ Potência Ativa [kW]	A	B	C	Total
Máx.	<b>20,361 kW</b> 09/10/2020 16:58:05	<b>19,523 kW</b> 09/10/2020 17:23:40	<b>20,867 kW</b> 09/10/2020 17:23:40	<b>60,632 kW</b> 09/10/2020 17:23:40
Média linear	<b>15,785 kW</b>	<b>15,239 kW</b>	<b>16,383 kW</b>	<b>47,407 kW</b>
Mín.	<b>11,814 kW</b> 09/10/2020 17:41:35	<b>11,605 kW</b> 09/10/2020 16:46:45	<b>12,657 kW</b> 09/10/2020 17:42:35	<b>36,684 kW</b> 09/10/2020 17:43:10
■ Potência Aparente [kVA]	A	B	C	Total
Máx.	<b>21,283 kVA</b> 09/10/2020 16:58:05	<b>20,635 kVA</b> 09/10/2020 16:58:05	<b>22,030 kVA</b> 09/10/2020 16:58:05	<b>63,968 kVA</b> 09/10/2020 16:58:05
Média linear	<b>16,777 kVA</b>	<b>16,563 kVA</b>	<b>17,617 kVA</b>	<b>50,974 kVA</b>
Mín.	<b>12,830 kVA</b> 09/10/2020 17:41:35	<b>13,010 kVA</b> 09/10/2020 16:51:05	<b>13,905 kVA</b> 09/10/2020 17:42:35	<b>40,370 kVA</b> 09/10/2020 17:43:15
■ Potência não ativa [kvar]	A	B	C	Total
Máx.	<b>6,633 kvar</b> 09/10/2020 16:58:10	<b>7,341 kvar</b> 09/10/2020 16:58:05	<b>7,918 kvar</b> 09/10/2020 16:58:10	<b>21,951 kvar</b> 09/10/2020 16:58:10
Média linear	<b>5,651 kvar</b>	<b>6,452 kvar</b>	<b>6,443 kvar</b>	<b>18,632 kvar</b>
Mín.	<b>4,778 kvar</b> 09/10/2020 17:28:20	<b>5,702 kvar</b> 09/10/2020 17:17:20	<b>5,480 kvar</b> 09/10/2020 17:49:35	<b>16,666 kvar</b> 09/10/2020 17:41:10
■ Fator de Potência [1]	A	B	C	Total
Máx.	<b>0,97 ind</b> 09/10/2020 17:28:20	<b>0,96 ind</b> 09/10/2020 16:36:05	<b>0,96 ind</b> 09/10/2020 17:49:25	<b>0,96 ind</b> 09/10/2020 17:27:15
Média linear	<b>0,94</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>
Mín.	<b>0,91 ind</b> 09/10/2020 16:43:40	<b>0,87 ind</b> 09/10/2020 16:44:40	<b>0,89 ind</b> 09/10/2020 16:44:55	<b>0,89 cap</b> 09/10/2020 16:44:55

Figura 6.17 – Tabela retirada do software do analisador de rede, onde indica as potências ativa, não ativa/reactiva e aparente e o fator de potência.

As letras A, B e C, presentes na figura, referem-se às leituras das três fases do sistema trifásico, e o total refere-se ao conjunto das três.

As siglas ind e cap, que aparecem no fator de potência, têm a ver com a energia não ativa/reactiva absorvida na rede (indutiva) e injetada na rede (capacitiva), esta última devido ao facto de as baterias de condensadores não estarem convenientemente reguladas e em determinados momentos estarem a debitar energia reativa na rede.

A potência ativa, em kW, é aquela que realmente realiza trabalho, a potência não ativa/reactiva, em kVA, é a potência usada para criar campo eletromagnético das cargas indutivas, para o devido funcionamento do sistema elétrico, por fim a potência aparente, em kVA, é a potência total fornecida pela fonte de energia aos equipamentos, ou seja, é a soma vetorial da potência ativa com a potência reativa [21].

O fator de potência, é a razão entre a potência ativa e a potência aparente, quanto mais próximo de 1, melhor, pois significa que há maior quantidade de potência aparente a ser usada como potência ativa, que é a realmente útil [21].

Neste caso fator de potência total medido, foi de 0,93, o que é bastante próximo de 1, ou seja, um bom fator para equipamentos com motores elétricos.

## Conclusões e Trabalho Futuro

O objetivo desta dissertação, realizada em contexto industrial na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, passou pela análise energética da unidade de recuperação de solventes (SRU), bem como da unidade de produção de embalagens flexíveis (UPEF), com dados referentes ao ano de 2019. Recolheram-se também os dados relativos à produção de solventes na SRU, e à produção de embalagens flexíveis na UPEF, para o mesmo ano.

Concluiu-se que, tal como expectável, a produção de solventes na SRU acompanha, quase sempre, a produção de embalagens flexíveis, já que a SRU recupera o solvente usado e que é evaporado nas estufas das máquinas da UPEF.

Tanto a SRU como a UPEF têm como fontes de energia, o gás natural, o vapor de aquecimento e a energia elétrica. Na SRU, o gás natural é a fonte de energia que representa uma menor percentagem de consumo, contribuindo com uma percentagem de 25,8 % referido ao ano de 2019. A seguir, vem o vapor de aquecimento, com uma percentagem muito próxima da anterior, de 26,3 %, e por fim, com uma percentagem de 47,9 %, surge a energia elétrica. Por outro lado, na UPEF, a fonte de energia que tem menos peso no total dos consumos é o vapor de aquecimento, com uma percentagem de 19 %, de seguida vem o gás natural, com uma percentagem de 33 %, e por último, com uma percentagem maior, de 48 % tem-se a energia elétrica. No que toca ao consumo de energia elétrica na UPEF, verificou-se que os equipamentos que têm maior peso são as máquinas de impressão, que assumem uma percentagem de 36 % e as de complexagem, com uma percentagem de 33 %. O consumo específico de energia para a produção de solventes na SRU é de 1,0 tep/t e para a produção vendável de embalagens flexíveis na UPEF é de 0,2703 tep/t.

O trabalho da produção que foi acompanhado numa máquina de complexagem com a utilização de solvente, teve uma duração de 2h30min e produziu-se 32021 m de filme complexado, o que corresponde a uma área de 33142 m<sup>2</sup>. Verificou-se que ao fim de uma hora esta consumiu 47,36 kWh de energia elétrica, e se se considerar que a produção foi constante ao longo do tempo de duração do trabalho, então, em 1 h, terão sido produzidos 13257 m<sup>2</sup> de filme, o que se traduz num consumo específico de 0,003572 kWh/m<sup>2</sup>.

Na estufa que esta máquina possui, e que é aquecida através de vapor de aquecimento, chegou-se à conclusão que o caudal de vapor alimentado à estufa é de 509 kg/h. A taxa de evaporação de solvente na mesma foi de 89 %.

Em trabalhos futuros, sugere-se que se faça o acompanhamento de vários trabalhos realizados nas diferentes máquinas instaladas na UPEF, porque apenas um trabalho não é representativo dos consumos das mesmas.

Devia também ser realizado um estudo da utilização de solventes, tanto na preparação de tintas e adesivos, como as quantidades que são adicionadas automaticamente pelas máquinas para ajustes de viscosidade das tintas e adesivos. Só assim será possível relacionar, de uma forma mais efetiva, a produção de embalagens flexíveis com a quantidade de acetato de etilo consumido e recuperado na SRU.

## Bibliografia

1. Carvalho, Nuno, 2016. *Avaliação do desempenho de uma unidade de recuperação de solventes*, Mestrado em Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto
2. Capela, Hugo, 2015. *Avaliação de um chiller de absorção numa unidade de cogeração e trigeriação*, Mestrado em Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto
3. De acordo com a informação disponibilizada pela Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis.
4. Indústria Gráfica: Diferentes tipos de impressão. consultado a 28/11/2019 em <http://blog.360imprimir.pt/tipos-de-impressao/>
5. Chomon P. L'Emballage Souple Dans L'Agro-Alimentaire. (emballages magazine, ed.); 1992.
6. Printing Methods: flexography. Consultado a 19/12/2019 em: <https://printingmethods.wordpress.com/printing-techniques/flexography/>
7. Rotogravure Process. Consultado a 19/12/2019 em <http://www.discoveryflexibles.com/rotogravure/>
8. Luís, Vânia, 2013. *Embalagens Flexíveis: estudo do processo de reticulação de adesivos e do coeficiente de atrito*, Mestrado em Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto
9. Ficha de dados de segurança, 1-Metoxi-2-Propanol, Roth. Consultado a 14/12/2019 em:  
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-3123-PT-PT.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNzUwNzI8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oMDcvaGU5Lzg5NzExNTM3MzU3MTAucGRmfDdiNGI2ZGQ4YWNiMTJiNTRhYzhmZDU4NmU3ZDhjMjZlZTY0ZjdhNjZjNmQzODVhNWFnNjIwMTY1NGU5NjZlNjY>
10. Brofind Spa., Solvent Recoery Plant, Technical Manual 5240-IBR Monteiro, Ribas.
11. Ribeiro, M., Silva, P., *Caderno para acompanhamento da disciplina de Processos de Separação*, Licenciatura em Engenharia Química, setembro 2012.

12. Xiaowen Hao, Ruixin Li, Jiao Wang, Xinfei Yang. *Numerical simulation of a regenerative thermal oxidizer for volatile organic compounds treatment*. Environmental Engineering Research 23(4) 397-405.
13. Brofind Spa. *Regenerative thermal oxidizer*. Technical Manual 8409-IBT Monteiro, Ribas.
14. Vaz, Maria, 2016. *Estudo dos Consumos Energéticos de Empresas Consumidoras Intensivas de Energia*, Mestrado em Energias Sustentáveis, Instituto Superior de Engenharia do Porto
15. Pilão, Rosa, *Aulas SGCIE, GEREPR*, Mestrado Engenharia Química – Energia e Biorrefinaria, 2008
16. Ficha de dados de segurança acetato de etilo. Consultado a 05/03/2020 em:  
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-4424-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyODAyODR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNTUvaDhmLzg5ODA5NjYxMTMzMTAucGRmfDU4NzdkNjc5NDZmYjgxNTQ5NGEzNGJmY2IwNzkyMzYyYjk5Yjc1MjY2N2Q2NmZjMDU5MTU1NjBhNDYyMmRmNzM>
17. Ficha de dados de segurança etanol. Consultado a 05/03/2020 em:  
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-9065-PT-PT.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNjk3NDd8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oYzgvZG4Dk4Lzg5NzQyNTc0ODc5MDIucGRmfGYyNGIzZmJkNDIwYWNmMjc2MDFjM2JjNzc0OGMzYmIwNWVvZDQ0YzcxYjBjNmI5YzZmN2EzOWFhMTY1YWY0ODY>
18. Brito, A., Alves, J. e Lopes, F., (2019). De onde vem a energia que move o país. *Energia do Futuro*. Consultado a 30/09/2020 em:  
<https://www.publico.pt/2019/11/12/infografia/onde-vem-energia-move-pais-384>
19. SGCIE. Planos de Racionalização. Consultado a 12/06/2020 em:  
<https://www.sgcie.pt/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia/o-regulamento/planos-de-racionalizacao/>
20. Bobst. Manual Técnico CL 850, 2018.

21. Engelétrica. Manual de correção do fator de potência. Consultado a 03/10/2020 em:  
<http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>
22. Silveira, Fernando, 2018. *Determinando a umidade absoluta do ar a partir da umidade relativa*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
23. Luz, Gelson. Massa específica do Ar (kg/m<sup>3</sup>, g/cm<sup>3</sup>, g/L e meu infográfico!). Materiais por Gelson Luz, 2018. Consultado a 11/10/2020 em:  
<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/massa-especifica-do-ar.html>
24. Assis, Carlos. *Formulário Utilidades Industriais (UTLIND)*. Mestrado Engenharia Química – Energia e Biorrefinaria, 2017
25. Embalagem ideal, Soluções em embalagens flexíveis. Consultado a 20/10/2020 em: <http://www.embalagemideal.com.br/embalagens-flexiveis>



## Anexos

### Anexo A – Levantamento energético para a Unidade de Recuperação de Solventes

#### A.1 – Produção de acetato de etilo e mistura de solventes

Na tabela A.1 encontram-se os valores da produção de solventes em cada mês do ano de 2019.

Tabela A.1 – Quantidade, em volume, de acetato de etilo e mistura de solventes produzido em cada mês no ano de 2019.

	<b>Acetato de etilo (L)</b>	<b>Mistura de solventes (L)</b>
<b>janeiro</b>	99122	25046
<b>fevereiro</b>	71853	29728
<b>março</b>	80803	22599
<b>abril</b>	76091	13774
<b>maio</b>	78057	23103
<b>junho</b>	69693	18959
<b>julho</b>	70610	20452
<b>agosto</b>	61753	17789
<b>setembro</b>	60116	20478
<b>outubro</b>	61158	23151
<b>novembro</b>	62370	24522
<b>dezembro</b>	43029	14996

Semanalmente são realizadas análises a uma amostra de acetato de etilo e de mistura de solventes. Podendo-se considerar, de uma maneira geral, que a mistura de solventes é essencialmente constituída por 75 % de acetato de etilo e 25 % de etanol.

Tendo em conta as massas volúmicas apresentadas na tabela A.2, calcula-se uma média ponderada da massa volúmica da mistura.

Tabela A.2 – Massas volúmicas dos solventes.

	<b>Massa volúmica (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
<b>Acetato de etilo</b>	0,893
<b>Etanol</b>	0,790
<b>Mistura de solventes</b>	0,867

$$\begin{aligned} \rho_{mistura} &= \\ 0,75 * \rho_{acetato\ de\ etilo} + 0,25 * \rho_{etanol} & \quad (A.1) \\ \Leftrightarrow 0,75 * 0,893 + 0,25 * 0,79 = 0,867 \frac{kg}{dm^3} \end{aligned}$$

Para obter a produção mensal em kg, basta multiplicar os volumes pelas respectivas massas volúmicas de cada produto. Para o acetato de etilo recuperado no mês de janeiro, por exemplo:

$$99122 (L) * 0,893 \left(\frac{kg}{L}\right) = 88536 kg = 88,536 t$$

## A.2. – Consumos das diferentes formas de energia na Unidade de Recuperação de Solventes e exemplos de cálculo

Os dados apresentados na tabela A.3, foram fornecidos pela Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis S.A, já que na unidade SRU, são feitos os registos dos consumos energéticos ao longo do ano.

Tabela A.3 – Consumos de gás natural, de vapor de aquecimento e de energia elétrica, na SRU, nos vários meses do ano 2019.

	<b>Gás Natural (m<sup>3</sup>(PTN))</b>	<b>Vapor de aquecimento (t)</b>	<b>Energia elétrica (kWh)</b>
<b>Janeiro</b>	38 650	187,788	205 489
<b>Fevereiro</b>	28 615	234,104	189 762
<b>Março</b>	28 307	302,460	198 368
<b>Abril</b>	27 226	266,206	180 605
<b>Mai</b>	27 491	308,942	207 425
<b>Junho</b>	20 897	253,685	167 856
<b>Julho</b>	19 902	360,220	199 448
<b>Agosto</b>	18 659	332,604	180 163
<b>Setembro</b>	15 826	304,325	171 318
<b>Outubro</b>	19 509	373,812	165 505
<b>Novembro</b>	15 319	244,312	143 228
<b>Dezembro</b>	11 055	214,221	111 243

Para uma melhor análise da distribuição e evolução dos consumos energéticos, estes valores foram todos convertidos para a unidade tep.

- No caso da conversão dos valores de gás natural, usou-se o fator de conversão de 1,077 tep/t.

Ora, os dados recolhidos encontram-se em m<sup>3</sup> (PTN), por isso, inicialmente estes terão de ser convertidos em toneladas. Isso é possível através da massa volúmica do gás,  $\rho$ , que é de 0,8404 kg/m<sup>3</sup> (PTN).

$$\begin{aligned} \text{Consumo de gás natural (t)} &= \\ &= \text{Consumo de gás natural (m}^3\text{(PTN))} * \rho_{\text{gás natural}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \\ &= 38\,650 * 0,8404 * 10^{-3} = 32,481 \text{ t} \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

Posto isto, já se pode aplicar diretamente o fator de conversão, para obter o consumo de gás natural em tep, pela expressão:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de gás natural (tep)} &= \text{Consumo de gás natural (t)} * 1,077 \left( \frac{\text{tep}}{\text{t}} \right) = \\ &= 32,481 * 1,077 = 34,983 \text{ tep} \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

- O fator de conversão para o vapor de aquecimento, depende das condições a que ele se encontra, ou seja, pressão e temperatura. Neste caso o vapor, encontra-se a 180 °C e 9 barg. Determina-se o fator de conversão pela seguinte equação:

$$\text{Energia vapor} \left( \frac{\text{tep}}{\text{t}} \right) = \frac{H_v \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)}{\eta_{\text{térmico}} * 41,868} \quad (\text{A.4})$$

**Nota:** O valor 41,868, provém da conversão termodinâmica de tep para MJ, onde 1 tep = 41868 MJ. No ponto 2 do Despacho n.º 17313/2008, publicado em Diário da República, 2.ª série — N.º 122 — 26 de Junho de 2008, encontra-se a explicação.

A entalpia de vapor,  $H_v$ , nas condições referidas, é de 2790,76 kJ/kg, ou seja, 2,7908 MJ/kg.

O rendimento térmico da caldeira considerado foi de 90 %.

$$\text{Energia vapor} \left( \frac{\text{tep}}{\text{t}} \right) = \frac{2,7908 \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)}{0,9 * 41,868} = 0,07406 \frac{\text{tep}}{\text{t}} \quad (\text{A.5})$$

Por isso, para obter o consumo de vapor em tep, usa-se:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de vapor (tep)} &= \text{Consumo de vapor (kg)} * 10^{-3}(\text{t}) * 0,07406 \frac{\text{tep}}{\text{t}} = \\ &= 187788 * 10^{-3} * 0,07406 = 13,91 \text{ tep} \end{aligned} \quad (\text{A.6})$$

- Para obter o consumo de energia elétrica em tep, usa-se o fator de conversão  $2,15 \cdot 10^{-4}$  tep/kWh. Sendo assim, a aplicação do fator de conversão é direta, pela equação:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energia elétrica (tep)} &= \\ \text{Consumo de energia elétrica (kWh)} * 2,15 * 10^{-4} &= \quad (A.7) \\ = 205489 * 2,15 * 10^{-4} &= 44,180 \text{ tep} \end{aligned}$$

A tabela 5.2 do corpo do relatório, mostra todos os resultados obtidos dos consumos de gás natural, vapor de aquecimento, energia elétrica, e a soma dos três últimos, em tep.

### A.3. – Indicadores energéticos na Unidade de Recuperação de Solventes

Como indicadores energéticos calculou-se a intensidade carbónica e o consumo específico.

#### A.3.1 - Intensidade carbónica (IC) na Unidade de Recuperação de Solventes

A IC é dada por:

$$IC \left( \frac{tCO_2e}{tep} \right) = \frac{GEE (tCO_2e)}{\text{Energia consumida (tep)}} \quad (A.8)$$

Onde, GEE, são os gases com efeito de estufa e podem ser determinados por:

$$GEE (tCO_2e) = FE * \text{Energia} \quad (A.9)$$

- O fator de energia, FE, considerado para o gás natural foi 2681,7 kgCO<sub>2</sub>e/tep, ou seja:

$$\begin{aligned} GEE_{\text{gás natural}} (kgCO_2e) &= 2681,7 \left( \frac{kgCO_2e}{tep} \right) * 34,983 (tep) = \\ &= 93812,7 \text{ kgCO}_2e = 93,8 \text{ tCO}_2e \end{aligned}$$

- O FE, usado para o vapor de aquecimento foi 72,3 kgCO<sub>2</sub>e/GJ, por isso é necessário passar os consumos de vapor em kg, para GJ, através da entalpia do vapor que é 2,7908 \* 10<sup>-3</sup> GJ/kg.

$$\begin{aligned} \text{Vapor de aquecimento (GJ)} &= \text{Vapor de aquecimento (kg)} * \\ Hv \left( \frac{\text{GJ}}{\text{kg}} \right) &\leftrightarrow 187788 * 2,7908 * 10^{-3} = 524,1 \text{ GJ} \end{aligned} \quad (\text{A.10})$$

Assim tem-se:

$$\begin{aligned} GEE_{\text{vapor de aquecimento}} (\text{kgCO}_2\text{e}) &= 72,3 \left( \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{GJ}} \right) * 524,1 (\text{GJ}) = \\ &= 37890,4 \text{ kgCO}_2\text{e} = 37,9 \text{ tCO}_2\text{e} \end{aligned}$$

- Por fim, para a energia elétrica, o FE, usado foi 0,47 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, por isso é possível aplicar diretamente através da equação:

$$\begin{aligned} GEE_{\text{energia elétrica}} (\text{kgCO}_2\text{e}) &= 0,47 \left( \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) * 205489 (\text{kWh}) \\ &= 96580 \text{ kgCO}_2\text{e} = 96,6 \text{ tCO}_2\text{e} \end{aligned}$$

Os resultados para os GEE para todas as fontes de energia, bem como o GEE global, que resulta da soma das anteriores, encontra-se na tabela 5.3 no corpo do relatório.

A intensidade carbónica foi determinada para cada mês, através da soma dos consumos em tep e a soma das emissões de gases de efeito de estufa, nas diferentes formas de energia. De seguida apresenta-se um exemplo de cálculo da IC, para o mês de janeiro.

$$\begin{aligned} IC_{\text{janeiro}} \left( \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{tep}} \right) &= \frac{GEE_{\text{total}} (\text{kgCO}_2\text{e})}{\text{Consumo energia}_{\text{total}} (\text{tep})} = \quad (\text{A.11}) \\ &= \frac{93812,7 + 37890,4 + 96580}{34,983 + 13,908 + 44,180} = \frac{228282,9}{93,1} = 2452,8 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{tep}} = 24,5 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{tep}} \end{aligned}$$

Os resultados obtidos para a IC, para os meses do ano 2019, podem ser consultados na tabela 5.4 do corpo do relatório.

### A.3.2. - Consumo específico de energia (CEE) na Unidade de Recuperação de Solventes

O CEE é dado por:

$$CEE \left( \frac{tep}{t} \right) = \frac{Energia\ consumida\ (tep)}{Produção(t)} \quad (A.12)$$

Foi determinado o CEE global, que é calculado através do total de energia consumida e o total da produção obtida, em cada mês. E ainda se determinou o CEE em função de cada fonte de energia. De seguida é mostrado um exemplo de cálculo de cada um deles, para o mês de janeiro.

$$\text{➤ } CEE_{global} \left( \frac{tep}{t} \right) = \frac{Total\ energia\ consumida(tep)}{Total\ produção(t)} = \frac{93,1}{110,253} = 0,84 \frac{tep}{t}$$

$$\text{➤ } CEE_{gás\ natural} \left( \frac{tep}{t} \right) = \frac{Energia\ consumida_{gás\ natural}(tep)}{Total\ produção\ (t)} = \frac{34,983}{110,253} = 0,32 \frac{tep}{t}$$

$$\text{➤ } CEE_{vapor} \left( \frac{tep}{t} \right) = \frac{Energia\ consumida_{vapor}(tep)}{Total\ produção\ (t)} = \frac{13,908}{110,253} = 0,13 \frac{tep}{t}$$

$$\text{➤ } CEE_{energia\ elétrica} \left( \frac{tep}{t} \right) = \frac{Energia\ consumida_{energia\ elétrica}(tep)}{Total\ produção\ (t)} = \frac{44,180}{110,253} = 0,40 \frac{tep}{t}$$

Na tabela A.4 apresentam-se estes resultados para todos os meses do ano 2019.

Tabela A.4 – Resultados para o consumo específico de energia global, e para cada uma das fontes de energia consumidas, na SRU, para cada mês do ano 2019.

	<b>CEE global (tep/t)</b>	<b>CEE gás natural (tep/t)</b>	<b>CEE vapor de aquecimento (tep/t)</b>	<b>CEE energia elétrica (tep/t)</b>
<b>janeiro</b>	0,84	0,32	0,13	0,40
<b>fevereiro</b>	0,93	0,29	0,19	0,45
<b>março</b>	0,99	0,28	0,24	0,46
<b>abril</b>	1,04	0,31	0,25	0,49
<b>maio</b>	1,03	0,28	0,25	0,50
<b>junho</b>	0,94	0,24	0,24	0,46
<b>julho</b>	1,08	0,22	0,33	0,53
<b>agosto</b>	1,14	0,24	0,35	0,55
<b>setembro</b>	1,03	0,20	0,32	0,52
<b>outubro</b>	1,08	0,24	0,37	0,48
<b>novembro</b>	0,82	0,18	0,24	0,40
<b>dezembro</b>	0,97	0,19	0,31	0,46

## Anexo B – Levantamento energético da Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

### B.1. – Consumo das diferentes formas de energia na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Os dados das tabelas B.1, foram fornecidos pela Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis S.A.

Tabela B.1.- Consumos de gás natural, vapor de aquecimento e energia elétrica, nos diferentes meses do ano 2019.

	<b>Gás Natural (m<sup>3</sup> (PTN))</b>	<b>Vapor de aquecimento (kg)</b>	<b>Energia elétrica (kWh)</b>
<b>janeiro</b>	80 574	483 294	426 916
<b>fevereiro</b>	82 549	329 546	418 007
<b>março</b>	128 195	0	454 971
<b>abril</b>	77 398	373 072	465 880
<b>maio</b>	72 402	717 666	526 549
<b>junho</b>	71 911	500 436	437 955
<b>julho</b>	90 123	753 924	565 324
<b>agosto</b>	81 316	732 583	533 526
<b>setembro</b>	81 064	649 751	528 269
<b>outubro</b>	78 153	785 652	565 587
<b>novembro</b>	67 398	693 996	505 859
<b>dezembro</b>	43 517	557 274	424 950

Estes valores foram todos convertidos para a unidade tep, para uma maior uniformização, e para isso foram usados os mesmos métodos de cálculo apresentados anteriormente no anexo A.2, os resultados são apresentados na tabela 6.2 do corpo do relatório.

### B.2. – Indicadores energéticos na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Uma vez mais, como indicadores energéticos calculou-se a intensidade carbónica e o consumo específico.

### B.2.1. – Intensidade carbónica (IC) na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Para obter valores para os GEE e intensidade carbónica, seguiram-se os mesmos métodos de cálculo presentes no anexo A.3.1.

Os resultados para os GEE para todas as fontes de energia, bem como o GEE global, que resulta da soma das anteriores, encontra-se na tabela 6.3 no corpo do relatório. A intensidade carbónica foi determinada para cada mês do ano 2019, através da soma dos consumos em tep e a soma das emissões de gases de efeito de estufa, nas diferentes formas de energia.

Os resultados obtidos para a IC, podem ser consultados na tabela 6.4 do corpo do relatório.

### B.2.2. – Consumo específico de energia (CEE) na Unidade de Produção de Embalagens Flexíveis

Através dos mesmos métodos de cálculo apresentados no anexo A.3.2., foram determinados o CEE global, que é calculado através do total de energia consumida e o total da produção obtida, em cada mês. E ainda se determinou o CEE em função de cada fonte de energia. Os resultados podem ser consultados na tabela B.2. apresentada abaixo.

Tabela B.2. – Resultados para o consumo específico global e para cada uma das fontes de energia consumidas na UPEF, ao longo do ano 2019.

	CEE global (tep/t)	CEE gás natural (tep/t)	CEE vapor (tep/t)	CEE energia elétrica (tep/t)
<b>janeiro</b>	0,26	0,10	0,05	0,12
<b>fevereiro</b>	0,29	0,12	0,04	0,14
<b>março</b>	0,28	0,15	0,00	0,13
<b>abril</b>	0,26	0,09	0,04	0,13
<b>maio</b>	0,25	0,07	0,06	0,12
<b>junho</b>	0,25	0,08	0,05	0,12
<b>julho</b>	0,25	0,08	0,05	0,12
<b>agosto</b>	0,28	0,09	0,06	0,13
<b>setembro</b>	0,31	0,10	0,06	0,15
<b>outubro</b>	0,27	0,08	0,06	0,13
<b>novembro</b>	0,26	0,07	0,06	0,13
<b>dezembro</b>	0,27	0,06	0,06	0,14

## Anexo C – Potências instaladas nos equipamentos da UPEF

Neste anexo mostra-se na tabela C.1 e C.2 os dados completos que permitiram chegar a uma estimativa da energia consumida diariamente por cada equipamento, tendo em conta a potência instalada, a média das horas de trabalho de cada equipamento, e o fator de carga.

Tabela C.1 - Apresentação da potência instalada em cada equipamento, horas de trabalho estimadas por dia, fator de carga presumido, e após a correção, e da energia consumida diariamente por cada equipamento.

Equipamentos	Nº de equipamentos	Potência Instalada (kW)	Média das horas de funcionamento por dia (h)	Factor de carga presumido (%)	Factor de carga com correção (%)	Energia Diária Consumida (kWh)	Energia Média Diária Consumida com Correção (kWh)		
<b>IMPRESSÃO</b>									
IR1 - Impressão a 6 cores	1	47,5	9,4	75 %	44,8 %	334,9	199,9		
IR2 - Impressão a 8 cores	1	27,5	12,3			253,7	151,4		
IR3 - Impressão a 10 Cores	1	100	12,4			930,0	555,0		
IR4 - 08IC Impressora a 8 Cores com complexagem	1	260	13,1			2554,5	1524,5		
IR5 - Maq Roto Windmüller 10 Cores	1	160	9,8			1176,0	701,8		
IF1 - Maq Flexografica 08+1 Cores - UTECO	1	159	11,9			1 419,1	846,9		
IF2 - Maq Flexografica 10 Cores - Windmüller	1	204	10,7			1 637,1	977,0		
IF3 - Maq Flexografica 08 Cores - Bobst	1	175,2	8,0			1 051,2	627,4		
IF4 - Maq Flexografica 10+1 Cores - Bobst	1	358,4	5,6			1 505,3	898,3		
<b>COMPLEXAGEM</b>									
Complexagem com Solventes (C2)	1	47,5	14,5			516,6	308,3		
Complexagem com Solventes (C5)	1	48	16,6			597,6	356,6		
Complexagem com Solventes (C6)	1	272	17,0			3 468,0	2 069,7		
Complexagem com Solventes (C7)	1	272	15,4	3 141,6	1 874,9				
Complexagem sem Solventes (C3)	1	95	5,1	363,4	216,9				
Complexagem sem Solventes (C4)	1	152	15,1	1 721,4	1 027,3				

Tabela C.1. -Apresentação da potência instalada em cada equipamento, horas de trabalho estimadas por dia, fator de carga presumido, e após a correção, e da energia consumida diariamente por cada equipamento (continuação).

<b>CORTE FINAL</b>							
<b>R9</b>	1	27,5	7,7			158,8	94,8
<b>R10</b>	1	46	16,3			562,4	335,6
<b>R11</b>	1	8,5	4,8			30,6	18,3
<b>R12</b>	1	46	14,8			510,6	304,7
<b>R13</b>	1	30	7,9			177,8	106,1
<b>R14</b>	1	60	14,7			661,5	394,8
<b>R15</b>	1	8,5	11,3			72,0	43,0
<b>R16</b>	1	52	13,2			514,8	307,2
<b>R18</b>	1	60	9,9			445,5	265,9
<b>R20</b>	1	48	7,0			252,0	150,4
<b>R22</b>	1	8	2,8			16,8	10,0
<b>SAQUEIRAS</b>							
<b>Confeção 2 Soldaduras (S4)</b>	1	1,75	2,4			3,2	1,9
<b>Confeção 3 Soldaduras (S8)</b>	1	3,8	0,5			1,4	0,9
<b>Maq. Doypack S10</b>	1	40	10,4			312,0	186,2
<b>Maq. Doypack S11</b>	1	28	10,5			220,5	131,6
<b>Maq. Doypack S12</b>	1	28	9,9			207,9	124,1
<b>Saqueira S9</b>	1	2,3	2,5			4,3	2,6
<b>AUXILIARES</b>							
<b>Motores cilindros maiores</b>	3	0,9	4			8,1	4,8
<b>Motores cilindros menores</b>	4	0,44	4	75 %	44,8%	5,3	3,2
<b>Motores máquinas fitas desperdício</b>	3	18,5	6			249,8	149,1
<b>Motor da torre refrigeração</b>	1	5,5	24			99,0	59,1
<b>Máquina lavagem clichês</b>	1	16	11			132,0	78,8
<b>Destilador lavagem</b>	1	25,1	22			414,2	247,2
<b>Máquinas colar clichês (systec converting)</b>	2	1,1	20			33,0	19,7
<b>Estantes móveis (storax)</b>	43	0,54	1			17,4	10,4
<b>Máquinas envolvidoras de filme</b>	2	1	6			9,0	5,4
<b>Bomba de água quente (6C)</b>	2	5,5	4,5			37,1	22,2
<b>Bomba de água quente (8C)</b>	2	5,5	6			49,5	29,5
<b>Bomba de água quente (10C)</b>	2	5,5	6			49,5	29,5
<b>Bomba de água quente (8IC)</b>	2	30	6			270,0	161,1
<b>Bomba de água quente</b>	3	11	24			594,0	354,5
<b>Bomba de água quente (condensados)</b>	1	2,2	24			39,6	23,6
<b>Bomba de água quente (condensados)</b>	1	0,37	24			6,7	4,0
<b>Bombas de água fria (8C;6C;10C)</b>	1	5,5	14,00			57,8	34,5

Tabela C.1. – Apresentação da potência instalada em cada equipamento, horas de trabalho estimadas por dia, fator de carga presumido, e após a correção, e da energia consumida diariamente por cada equipamento (continuação).

<b>Bombas de água fria (8IC; entre outras)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>14</b>			<b>84,0</b>	<b>50,1</b>
Bombas de água quente (UTAS)	2	0,335	24			12,1	7,2
Bombas de água quente (UTAS)	2	0,63	24			22,7	13,5
Bombas de água quente (windmoller 10c roto)	1	15	9,8			110,3	65,8
Bombas de água quente (bobst 10c)	1	4	5,6			16,8	10,0
Secador de ar comprimido	1	4	1			3,0	1,8
Compressores	2	75	1			112,5	67,1
Chiller elétrico (apoio à máquina Uteco)	1	13	11,9			116,0	69,2
Chiller elétrico (apoio à máquina Uteco)	1	24	11,9			214,2	127,8
Chiller elétrico (apoio à máquina C4)	1	14	15,1			158,6	94,6
Chiller elétrico (apoio à máquina C6)	1	19	17			242,3	144,6
Chiller elétrico (apoio à máquina Flexo 10c windmoller)	1	40	10,7	75 %	44,8%	321,0	191,6
Ar condicionado (AC MITSUBIHI MUH - GA 25VB)	6	0,035	12			1,9	1,1
Ar condicionado (AC MITSUBIHI MUH - GA 35VB)	4	0,04	12			1,4	0,9
Ar condicionado (AC MITSUBIHI MUH - GA 60VB)	1	0,06	12			0,5	0,3
Máquinas corte mandris	2	4	14			84,0	50,1
Máquinas mistura de colas (C3)	1	3	8			18,0	10,7
Máquinas mistura de colas (C4)	1	4	8			24,0	14,3
Máquinas mistura de colas (C2, C5, C6 e C7))	3	0,25	8			4,5	2,7
UTAS CIAT	9	7,5	24			1 215,0	725,1
UTAS EVAC	2	3,5	24			126,0	75,2
Apara desperdício de saqueiras	1	1,85	6			8,3	5,0
					<b>Total</b>	<b>29 791,1</b>	<b>17 779,3</b>

Na tabela C.2, encontra-se o consumo anual de energia elétrica total que foi registada, e o respetivo consumo diário total. Apresenta-se ainda o consumo diário correspondente à iluminação e aos equipamentos.

Tabela C.2 – Apresentação do consumo real de energia elétrica total anual, do consumo diário total, do consumo diário correspondente à iluminação e aos equipamentos.

<b>Consumo anual total (kWh)</b>	5 853 792
<b>Consumo diário total (kWh)</b>	18 944,3
<b>Consumo diário Iluminação (kWh)</b>	1 165,0
<b>Consumo diário equipamento (kWh)</b>	17 779,3

$$\begin{aligned} \text{Consumo diário total (kWh)} &= \frac{\text{Consumo anual total (kWh)}}{\text{N}^{\circ} \text{ de dias de trabalho no ano}} = & \text{(C. 1)} \\ &= \frac{5853792}{309} = 18944,3 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo diário equipamento (kWh)} &= \text{Consumo diário total (kWh)} - \\ &\text{Consumo diário iluminação (kWh)} = & \text{(C. 2)} \\ &= 18944,3 - 1165,0 = 17 779,3 \text{ kWh} \end{aligned}$$

A tabela C.3 foi fornecida pela empresa e é referente ao levantamento de todas as luminárias presentes na UPEF durante uma auditoria feita à empresa no ano 2019.

Tabela C.3 - Luminárias presentes na UPEF, respectiva potência instalada, nº de horas ligadas e consumo anual das mesmas.

Zona	Setor	Tipo de luminária	Potência		Nº horas	Consumo		
			Qt.	Instalada (kW)		MWh/ano	tep/ano	
Nave flexografia e rotogravura	Naves de Produção	PLC	1 x 75 W	30	2.250	7440	16,7	3,6
Nave flexografia e rotogravura	Naves de Produção	T8	2 x 58 W	41	4.469	7440	33,2	7,1
Nave flexografia e rotogravura	Naves de Produção	PLC	2 x 24 W	16	768	7440	5,7	1,2
Nave rotogravura e complexagem	Naves de Produção	PLC	1 x 75 W	28	2.100	7440	15,6	3,4
Nave rotogravura e complexagem	Naves de Produção	T8	2 x 58 W	22	2.398	7440	17,8	3,8
Nave rotogravura e complexagem	Naves de Produção	PLC	2 x 24 W	2	96	7440	0,7	0,2
Nave corte e complexagem	Naves de Produção	PLC	1 x 75 W	36	2.700	7440	20,1	4,3
Nave corte e complexagem	Naves de Produção	T8	2 x 58 W	47	5.123	7440	38,1	8,2
Nave fabrico de sacos	Naves de Produção	PLC	2 x 24 W	60	2.880	7440	21,4	4,6
Mesa trabalho na nave fabrico sacos	Naves de Produção	T8	2 x 58 W	1	109	7440	0,8	0,2
Mesa trabalho máquina impressão flexo 8 cores (Teco)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138	7066	1,0	0,2
Mesa trabalho máquina impressão flexo 8 cores (Teco)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88	7066	0,6	0,1
Máquina impressão flexo 10 cores (W&H)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88	7066	0,6	0,1
Mesa trabalho máquina impressão flexo 10 cores (W&H)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138	7066	1,0	0,2
Mesa trabalho máquina impressão flexo 10 cores (W&H)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88	7066	0,6	0,1
Máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 18 W	4	200	5818	1,2	0,3
Máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	3	414	5818	2,4	0,5
Máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	4	352	5818	2,0	0,4
Máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	1 x 58 W	1	69	5818	0,4	0,1
Mesa trabalho máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	1 x 58 W	1	69	5818	0,4	0,1
Mesa trabalho máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88	5818	0,5	0,1
Mesa trabalho máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88	5818	0,5	0,1
Mesa trabalho máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	4 x 36 W	1	176	5818	1,0	0,2
Mesa trabalho máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138,0	5818	0,8	0,2
Mesa trabalho máquina impressão roto 6 cores (Schlavi)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88,0	5818	0,5	0,1
Máquina impressão roto 8 cores	Máquinas de Produção	T8	2 x 18 W	6	300,0	5818	1,7	0,4
Máquina impressão roto 8 cores	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	4	352,0	5818	2,0	0,4
Máquina impressão roto 8 cores	Máquinas de Produção	T8	1 x 18 W	3	75,0	5818	0,4	0,1
Máquina impressão roto 8 cores	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138,0	5818	0,8	0,2
Máquina impressão roto 10 cores (Prisma)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	2	276,0	6442	1,8	0,4
Máquina impressão roto 10 cores (Prisma)	Máquinas de Produção	T8	2 x 18 W	9	450,0	6442	2,9	0,6
Mesa trabalho máquina impressão roto 10 cores (Prisma)	Máquinas de Produção	T8	4 x 36 W	1	176,0	6442	1,1	0,2
Mesa trabalho máquina impressão roto 10 cores (Prisma)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138,0	6442	0,9	0,2
Mesa trabalho máquina impressão roto 10 cores (Prisma)	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88,0	6442	0,6	0,1
Máquina impressão roto 8 I C	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	11	968,0	6192	6,0	1,3
Máquina impressão roto 8 I C	Máquinas de Produção	T8	1 x 18 W	2	90,0	6192	0,3	0,1
Máquina impressão roto 8 I C	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138,0	6192	0,9	0,2
Mesa trabalho máquina impressão roto 8 I C	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138,0	6192	0,9	0,2
Mesa trabalho máquina impressão roto 8 I C	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88,0	6192	0,5	0,1
Máquina C2	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	3	414,0	7440	3,1	0,7
Máquina super combi 3000	Máquinas de Produção	T8	1 x 36 W	4	176,0	7440	1,3	0,3
Máquina super combi 3000	Máquinas de Produção	T5	2 x 28 W	1	61,0	7440	0,5	0,1
Mesa trabalho máquina super combi 3000	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	7440	0,8	0,2
Máquina C6	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	5	440,0	7440	3,3	0,7
Máquina C6	Máquinas de Produção	T8	1 x 18 W	1	25,0	7440	0,2	0,0
Mesa trabalho máquina C6	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	7440	0,8	0,2
Máquina C4	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	3	264,0	6442	1,7	0,4
Máquina C4	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	138,0	6442	0,9	0,2
Mesa trabalho máquina C4	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Máquina C3	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	2	276,0	6442	1,8	0,4
Máquina C3	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	2	218,0	6442	1,4	0,3
Máquina C3	Máquinas de Produção	T8	2 x 18 W	1	90,0	6442	0,3	0,1
Mesa trabalho máquina C3	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Máquina R11	Máquinas de Produção	T8	2 x 36 W	1	88,0	6442	0,6	0,1
Mesa trabalho máquina R10	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Mesa trabalho máquina R12	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Mesa trabalho máquina R16	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Mesa trabalho máquina R18	Máquinas de Produção	T8	1 x 58 W	1	90,0	6442	0,4	0,1
Mesa trabalho responsável corte (junto à máquina R18)	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Mesa trabalho máquina R14	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Máquina R9	Máquinas de Produção	T8	1 x 58 W	1	90,0	6442	0,4	0,1
Mesa trabalho máquina R9	Máquinas de Produção	T8	2 x 58 W	1	109,0	6442	0,7	0,2
Oficina manutenção	Auxiliares	T8	2 x 58 W	5	545,0	4960	2,7	0,6
Oficina manutenção	Auxiliares	LED	1 x 24 W	1	24,0	4960	0,1	0,0
Oficina manutenção	Auxiliares	T5	2 x 28 W	1	61,0	4960	0,3	0,1
Arrecadação oficina manutenção	Auxiliares	T8	1 x 36 W	2	88,0	4960	0,4	0,1
Arrecadação oficina manutenção	Auxiliares	T8	2 x 18 W	1	38,0	4960	0,2	0,0
Gabinete responsável manutenção	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	146,0	3100	0,5	0,1
Sala bombas água quente	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	176,0	310	0,1	0,0
Sala pequenas refeições (fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 58 W	2	218,0	7440	1,6	0,3
Sanitários homens	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	146,0	3720	0,5	0,1

Sanitários senhoras	Auxiliares	T8	2 x 58 W	2	218,0	3720	0,8	0,2	
Zona exterior de fumo	Auxiliares	PLC	2 x 11 W	3	66,0	3720	0,2	0,1	
Central de ar comprimido	Auxiliares	T8	2 x 36 W	8	704,0	7440	5,2	1,1	
Central de ar comprimido	Auxiliares	T8	1 x 18 W	1	25,0	7440	0,2	0,0	
Corredor acesso central de ar comprimido	Auxiliares	T8	2 x 58 W	1	109,0	7440	0,8	0,2	
Cobertura acesso central de ar comprimido	Auxiliares	T8	2 x 58 W	1	138,0	1950	0,3	0,1	
Armazém matérias-primas	Auxiliares	PLC	2 x 24 W	110	5.290,0	3720	19,6	4,2	
Armazém produtos químicos	Auxiliares	PLC	2 x 24 W	10	480,0	2480	1,2	0,3	
Corredor acesso gabinete responsável armazen. mat.-primas	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	176,0	3100	0,5	0,1	
Gabinete responsável armazen. matérias-primas	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	146,0	4950	0,7	0,2	
Arrecadação ao lado do gabinete respons. arm. mat-primas	Auxiliares	T8	2 x 58 W	1	109,0	3100	0,3	0,1	
Sala mistura tintas	Auxiliares	T8	2 x 58 W	7	763,0	7440	5,7	1,2	
Gabinete sala mistura tintas	Auxiliares	T8	2 x 58 W	3	327,0	7440	2,4	0,5	
Armazém sala mistura tintas	Auxiliares	T8	2 x 58 W	6	654,0	7440	4,9	1,0	
Sala lavagem tinteiros	Auxiliares	T8	2 x 58 W	8	872,0	7440	6,5	1,4	
Corredor sala lavagem tinteiros	Auxiliares	T8	2 x 58 W	2	218,0	4950	1,1	0,2	
Sala montagem clichês	Auxiliares	T8	2 x 58 W	7	763,0	7440	5,7	1,2	
Armazém expedição	Auxiliares	Vapor de Mercúrio	1 x 250 W	1	269,0	6240	1,7	0,4	
Armazém expedição	Auxiliares	PLC	1 x 75 W	1	75,0	6240	0,5	0,1	
Armazém expedição	Auxiliares	PLC	2 x 24 W	20	960,0	6240	6,0	1,3	
Cais armazen. expedição	Auxiliares	T8	2 x 36 W	1	88,0	7440	0,7	0,1	
Corredor recepção armazen. expedição	Auxiliares	T8	2 x 36 W	1	88,0	7440	0,7	0,1	
Gabinete armazen. expedição	Auxiliares	T8	2 x 36 W	5	440,0	2790	1,2	0,3	
Mesa embalagem expedição	Auxiliares	T8	2 x 58 W	3	327,0	7440	2,4	0,5	
Armazém de cilindros	Auxiliares	T8	2 x 58 W	20	2.760,0	6200	17,1	3,7	
Gabinete da impressão	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	176,0	7440	1,3	0,3	
Antigo armazen. de cilindros	Auxiliares	PLC	2 x 24 W	30	1.440,0	5200	7,5	1,6	
Sala de recolha de fitas (resíduos)	Auxiliares	T8	2 x 58 W	3	327,0	7440	2,4	0,5	
Gabinete D19 (próximo da máquina R9)	Auxiliares	T8	2 x 36 W	1	73,0	3100	0,2	0,0	
Gabinete D3 - laboratório (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 58 W	11	1.199,0	7440	8,9	1,9	
Corredor acesso gabinetes D3 .. D9	Auxiliares	T8	2 x 58 W	2	218,0	7440	1,6	0,3	
Gabinete D5 (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 58 W	1	109,0	2080	0,2	0,0	
Gabinete D6 (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 58 W	2	218,0	2080	0,5	0,1	
Gabinete D7 (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	146,0	2080	0,3	0,1	
Gabinete D7 (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 58 W	1	109,0	2080	0,2	0,0	
Gabinete D8 (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	146,0	2080	0,3	0,1	
Gabinete D9 (zona central da fábrica)	Auxiliares	T8	2 x 36 W	2	146,0	2080	0,3	0,1	
Piso 0 - gabinete compras	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	6	372,0	2340	0,9	0,2	
Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	6	426,0	260	0,1	0,0		
Piso 0 - sala reuniões 1	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	8	568,0	260	0,1	0,0	
Piso 0 - sala reuniões 2	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	9	639,0	2080	1,3	0,3	
Piso 0 - gabinete desenho	Edifício Administrativo	T8	2 x 36 W	1	73,0	2080	0,2	0,0	
Piso 0 - mesa de prova do gabinete desenho	Edifício Administrativo	T8	2 x 36 W	1	73,0	2080	0,2	0,0	
Piso 0 - corredor gabinetes (parte mais recente)	Edifício Administrativo	PLC	2 x 11 W	11	242,0	1560	0,4	0,1	
Piso 0 - recepção (parte mais recente)	Edifício Administrativo	PLC	2 x 11 W	2	44,0	1560	0,1	0,0	
Piso 0 - gabinete técnico	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	4	248,0	2080	0,5	0,1	
Piso 0 - gabinete B17	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	2	124,0	2080	0,3	0,1	
Piso 0 - gabinete B13	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	2	124,0	2080	0,3	0,1	
Piso 0 - sala de entrada fábrica	Edifício Administrativo	PLC	2 x 11 W	2	44,0	1560	0,1	0,0	
Piso 0 - gabinete B14	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	4	248,0	2080	0,5	0,1	
Piso 0 - corredor entrada lateral	Edifício Administrativo	LED	1 x 18 W	2	36,0	1560	0,1	0,0	
Piso 0 - corredor gabinetes (parte mais antiga)	Edifício Administrativo	LED	1 x 18 W	3	54,0	1560	0,1	0,0	
Piso 0 - gabinete B22	Edifício Administrativo	T8	2 x 36 W	2	146,0	2080	0,3	0,1	
Piso 0 - gabinete B24	Edifício Administrativo	T8	2 x 58 W	2	218,0	2080	0,5	0,1	
Piso 0 - gabinete B25	Edifício Administrativo	T8	2 x 36 W	2	146,0	2080	0,3	0,1	
Piso 0 - gabinete B26	Edifício Administrativo	T8	2 x 58 W	4	436,0	2080	0,9	0,2	
Piso 0 - sala pequenas refeições	Edifício Administrativo	PLC	2 x 11 W	2	44,0	2080	0,1	0,0	
Piso 1 - corredor gabinetes (parte mais antiga)	Edifício Administrativo	LED	1 x 18 W	3	54,0	1560	0,1	0,0	
Piso 1 - gabinete B46	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B44	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B43	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B42	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B41	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B40	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B39	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B38	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - gabinete B37	Edifício Administrativo	T8	4 x 18 W	4	284,0	2080	0,6	0,1	
Piso 1 - corredor gabinetes (parte mais recente)	Edifício Administrativo	PLC	2 x 11 W	6	132,0	1560	0,2	0,0	
Piso 1 - gabinete B34	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	6	372,0	2080	0,8	0,2	
Piso 1 - gabinete B33 (sala reuniões)	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	6	372,0	260	0,1	0,0	
Piso 1 - gabinete B31	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	4	248,0	2080	0,5	0,1	
Piso 1 - gabinete B30	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	4	248,0	2080	0,5	0,1	
Piso 1 - gabinete B29	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	4	248,0	2080	0,5	0,1	
Piso 1 - gabinete B28	Edifício Administrativo	T5	4 x 14 W	6	372,0	2080	0,8	0,2	
					<b>Total</b>	<b>838</b>	<b>62478</b>	<b>360,0</b>	<b>77,4</b>

O consumo anual de energia elétrica associado às luminárias é de 360 000 kWh, sendo que a empresa laborou 309 dias no ano de 2019, isto corresponde a 1165,0 kWh por dia.

Como se mostra abaixo na figura C.1, através da ferramenta Solver do Excel, define-se como objetivo a célula que será a soma do consumo de energia diário com correção de cada equipamento, onde se pretende obter o valor de 17 775,5 kWh, por alteração da célula que terá o fator de correção. Obteve-se assim um fator de correção de 0,60, e um fator de carga de 44,75% (coluna G da figura C.1)

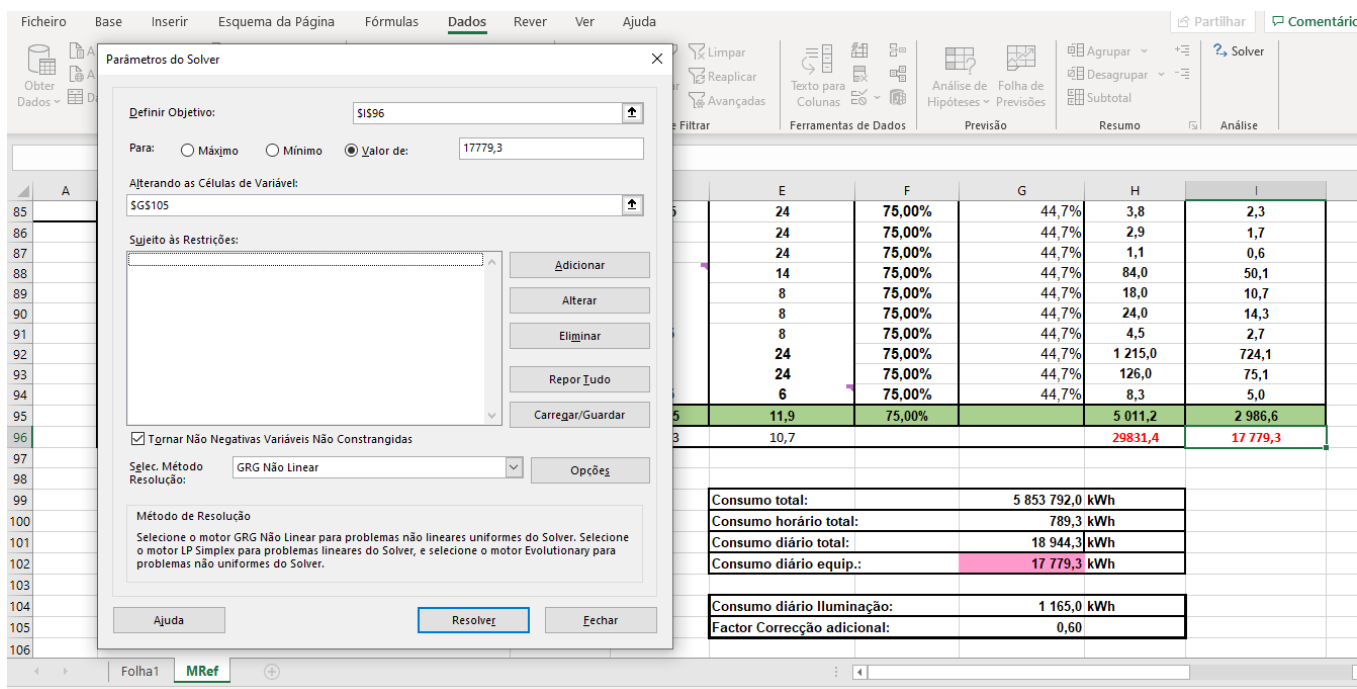


Figura C.1 – Uso da ferramenta Solver do Excel, para encontrar os consumos de energia diários de cada equipamento com correção, o fator de carga corrigido, e o fator de correção.

$$\begin{aligned} \text{Fator de carga com correção} &= \text{Fator de carga presumido} * \text{Fator de correção} = \quad (C.3) \\ &= 0,75 * 0,5967 = 0,448 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energia diária consumida corrigida (kWh)} &= \quad (C.4) \\ \text{Potência instalada (kW)} * \text{Fator de carga com correção} * \text{N}^\circ \text{ horas funcionamento} &= \\ 47,5 * 0,448 * 9,4 &= 199,6 \text{ kWh} \end{aligned}$$

## Anexo D - Máquina de complexagem com solvente (C7)

Neste anexo apresentam-se os cálculos detalhados que permitiram obter uma estimativa do consumo de vapor de água na estufa, através de um balanço de energia. Também se apresentam os cálculos referentes ao rendimento da evaporação de solvente na estufa.

### Anexo D.1. – Balanço de energia à estufa

As medições da velocidade de exaustão do ar contaminado na toma da chaminé associada à máquina C7 são apresentadas na tabela D.1.

Tabela D.1. – Medições da velocidade de exaustão do ar na chaminé da máquina C7.

	9,48
	10,19
	9,63
	10,45
	9,28
	10,44
	10,40
	9,22
	9,87
	9,74
<b>Medições da velocidade de exaustão da ar na chaminé (m/s)</b>	10,15
	9,79
	10,61
	10,02
	9,93
	10,49
	9,82
	9,55
	10,41
	10,62

Tabela D.1. - Medições da velocidade de exaustão do ar na chaminé da máquina C7. (continuação)

	10,26
	10,08
	8,94
	10,16
	9,21
	9,56
	9,05
	10,48
	9,02
	10,15
	10,01
	10,84
	10,58
	10,31
<b>Medições da velocidade de exaustão do ar na chaminé (m/s)</b>	
<b>Velocidade média (m/s)</b>	9,96

Para efeitos de cálculo usou-se a média destes valores, ou seja, 9,96 m/s.

$$\begin{aligned}
 \text{Caudal volúmico}_{\text{ar húmido}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) &= \\
 &= \text{Velocidade} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * \text{Área da secção reta da chaminé} (\text{m}^2) = \\
 &= \text{Velocidade} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * \pi r^2 (\text{m}^2) = \\
 &= 9,96 * \pi \left( \frac{0,7}{2} \right)^2 = 13803 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (\text{D.1})
 \end{aligned}$$

A humidade relativa (Hr) do ar ambiente medida no termómetro digital foi 54,5%. A Hr é dada pela razão entre a pressão parcial de vapor de água e a pressão de

vapor de água saturado no ar a uma determinada condição de pressão e temperatura, esta razão é normalmente multiplicada por 100 para obter-se em percentagem.

A humidade absoluta (Ha) é a quantidade absoluta de água contida num determinado volume de ar, é a razão entre a massa de vapor de água no ar e o volume ocupado pelo ar. Usou-se a equação seguinte para calcular a humidade absoluta a partir da humidade relativa [22]:

$$\begin{aligned} Ha \left( \frac{g H_2O}{m^3_{ar\ húmido}} \right) &= Hr * 1330 * \frac{e^{\frac{17,62 T}{T+243,12}}}{T + 273,16} = 0,545 * 1330 * \frac{e^{\frac{17,62 * 25,3}{25,3 + 243,12}}}{25,3 + 273,16} = \\ &= 12,8 \frac{g}{m^3} * 10^{-3} \frac{kg}{g} = 0,0128 \frac{kg H_2O}{m^3_{ar\ húmido}} \end{aligned} \quad (D.2)$$

Posto isto, é possível saber qual o caudal de água presente no caudal de ar, desta forma:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\acute{a}gua} \left( \frac{kg}{h} \right) &= Caudal\ vol\acute{u}mico_{ar\ húmido} \left( \frac{m^3}{h} \right) * Ha \left( \frac{kg H_2O}{m^3_{ar\ húmido}} \right) = \\ &= 13803 * 0,0128 = 176 \frac{kg}{h} \end{aligned} \quad (D.3)$$

Para saber o caudal mássico de ar seco, em primeiro lugar é necessário passar o caudal volúmico de ar húmido a caudal mássico, através da massa volúmica do ar à temperatura de 40,2 °C (temperatura do ar na chaminé) que é aproximadamente 1,1455  $\frac{kg}{m^3}$  [23].

$$\dot{m}_{ar\ húmido} \left( \frac{kg}{h} \right) = 13803 \left( \frac{m^3}{h} \right) * 1,1455 \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 15811 \frac{kg}{h} \quad (D.4)$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ar\ seco} \left( \frac{kg}{h} \right) &= \dot{m}_{ar\ húmido} \left( \frac{kg}{h} \right) - \dot{m}_{\acute{a}gua} \left( \frac{kg}{h} \right) = \\ &= 15811 - 176 = 15635 \frac{kg}{h} \end{aligned} \quad (D.5)$$

Substituindo os dados no balanço tem-se:

$$\begin{aligned} Q_{Vapor} \left( \frac{kJ}{kg} \right) &= Q_{Ar\ húmido} \left( \frac{kJ}{kg} \right) \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \dot{m}_{vapor} \left( \frac{kg}{h} \right) * \lambda \left( \frac{kJ}{kg} \right) &= \end{aligned} \quad (D.6)$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ar\ seco} \left( \frac{kg}{h} \right) * c_{p_{ar\ seco}} \left( \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) * (T_{estufa} - T_{ambiente}) (^\circ C) + \dot{m}_{\acute{a}gua} \left( \frac{kg}{h} \right) \\ * c_{p_{vapor\ \acute{a}gua}} \left( \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) * (T_{estufa} - T_{ambiente}) (^\circ C) \leftrightarrow \\ \dot{m}_{vapor} \left( \frac{kg}{h} \right) * 2014,6 \left( \frac{kJ}{kg} \right) = 15635 \left( \frac{kg}{h} \right) * 1,00 \left( \frac{kJ}{kg \cdot K} \right) * (87,7 - \\ 25,3) (^\circ C) + 176 \left( \frac{kg}{h} \right) * 1,8 \left( \frac{kJ}{kg \cdot K} \right) * (87,7 - 25,3) (^\circ C) \\ \dot{m}_{vapor} = 509 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

Uma vez que não é possível medir a temperatura de saída dos condensados, considerou-se a condensação total do vapor saturado a 9 barg, 180 °C, a líquido saturado à mesma pressão e temperatura. O calor latente de condensação do vapor foi consultado no documento indicado na referência bibliográfica número 24.

## Anexo D.2. – Rendimento da evaporação de solvente na estufa

O trabalho acompanhado teve na sua totalidade um comprimento de 32021 m, o filme onde é aplicada a cola tem 1,035 m de largura.

$$\text{Área do filme (m}^2\text{)} = 32021 * 1,035 = 33142 \text{ m}^2 \quad (\text{D.7})$$

A mistura de cola aplicada no filme tem a composição apresentada na tabela D.2.

Tabela D.2. – Composição da mistura de cola.

<b>Mistura de cola (kg)</b>	<b>Base (kg)</b>	20	51%
	<b>Solvente (kg)</b>	14	36%
	<b>Catalisador(kg)</b>	5	13%
	<b>Total (kg)</b>	39	100%

Foram adicionadas cerca de 3 misturas e meia desta mistura de cola, o que equivale a 136,5 kg de cola.

Ou seja, a gramagem de cola que o filme teria, se não passasse na estufa para perder o solvente seria:

$$\text{Gramagem de cola}_{sem\ estufa} \left( \frac{g}{m^2} \right) = \frac{136,5 * 10^3}{33142} = 4,12 \frac{g}{m^2} \quad (\text{D.8})$$

A gramagem de cola que o filme apresenta no final é na realidade 2,80 g/m<sup>2</sup>.

Ou seja:

$$\begin{aligned} \text{Gramagem de cola}_{\text{sem estufa}} - \text{Gramagem de cola}_{\text{final}} &= \quad (\text{D. 9}) \\ &= 4,12 - 2,80 = 1,32 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Isto significa que  $1,32 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ , é a quantidade de acetato de etilo que evapora na estufa, o que corresponde em kg a:

$$1,32 \left( \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right) * 33142 (\text{m}^2) = 43703 \text{ g} * 10^{-3} = 43,7 \text{ kg} \quad (\text{D. 10})$$

Em termos de acetato de etilo, o solvente, adicionou-se 36% da mistura, ou seja:

$$0,36 * 136,5 (\text{kg}) = 49 \text{ kg de acetato de etilo adicionado} \quad (\text{D. 11})$$

Posto isto, tendo em conta que se adicionou 49 kg e apenas 43,7 kg se evaporaram na estufa, a taxa de evaporação foi:

$$\eta (\%) = \frac{43,7}{49} * 100 = 89 \% \quad (\text{D. 12})$$

O restante de acetato de etilo, 11 %, ficou incorporado na cola que foi usada para unir os filmes.