M 2023

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CONTEXTO DA M.A. SILVA

GABRIELA RODRIGUES DA COSTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado em Engenharia Química

Medidas de Eficiência Energética e Implementação de Energias Renováveis em Contexto da M.A. Silva

Dissertação de Mestrado

de

Gabriela Rodrigues da Costa

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

M.A. Silva – Cortiças, S.A.

Orientador na FEUP: **Prof. Fernando Martins**

Coordenador na M.A. SILVA: **Eng.ª Susana Pinto**

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

julho de 2023

DOCUMENTO CONFIDENCIAL. UTILIZAR APENAS PARA PROPÓSITOS DE AVALIAÇÃO (apagar na versão final ou se não aplicável)

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas que me acompanharam durante este período.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão para com o Prof. Fernando Martins, por todo o apoio, disponibilidade e gentileza com que sempre esclareceu as minhas dúvidas e pelas palavras de incentivo ao longo das diversas etapas de trabalho.

Uma palavra de apreço à M.A. Silva pela oportunidade dada em realizar esta dissertação. Agradeço à Eng.ª Susana Pinto, pela orientação e acompanhamento dentro da empresa. Agradeço a todos os colaboradores da empresa que se disponibilizaram em ajudar-me em qualquer questão. Um especial obrigada à Maribel, Carina e Margarida, pela companhia e ambiente alegre proporcionado ao longo destes meses.

Aos meus amigos, agradeço a amizade, a partilha, o apoio e os momentos de descontração e felicidade proporcionados.

À minha família agradeço a oportunidade, o apoio, união, incentivo e amor incondicional desde sempre, com especial enfoque nesta fase da minha vida.

Por fim, agradeço ao Hugo, pelo amor e amizade, toda a paciência e conselhos, pelo carinho e apoio que nunca faltaram.

O Prof. Fernando Martins, orientador desta dissertação, é membro integrado do LEPABE – Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado por: LA/P/0045/2020 (ALiCE), UIDB/00511/2020 e UIDP/00511/2020 (LEPABE), financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

fct Fundação para a Ciência e a Tecnologia

REPÚBLICA PORTUGUESA

Resumo

A energia é essencial ao funcionamento de uma indústria, com elevada importância ao nível do seu consumo e custo dos recursos energéticos. Neste sentido, é primordial a busca pela melhoria e otimização dos processos, visando a redução dos consumos energéticos e a minimização do poder dos preços do mercado nos custos processuais, bem como a redução dos impactes ambientais gerados pela sua utilização. Assim, esta dissertação teve como objetivo a avaliação de oportunidades de melhoria e a otimização da utilização das energias renováveis disponíveis na M.A. Silva, S.A.

Primeiro, estudou-se o processo produtivo da empresa. Visando realizar o levantamento energético à mesma, inventariou-se todos os equipamentos e os respetivos consumos, através de equipamentos próprios, desagregando os consumos de eletricidade por setor de atividade. Posteriormente, avaliaram-se oportunidades de melhoria dos processos, nomeadamente a digitalização energética e a instalação de variadores eletrónicos de velocidade.

Foi realizada a análise da viabilidade da instalação de painéis solares fotovoltaicos. Utilizaram-se os *softwares* PVGIS e PVSOL, de modo a perceber o rendimento possível de obter com o sistema proposto, comparado com a idealidade, e de modo a comparar a produção da energia solar fotovoltaica com os perfis de consumo da empresa. O sistema fotovoltaico demonstrou ser capaz de reduzir a dependência da M.A. Silva da rede elétrica em 26,4 %. O retorno de investimento do projeto é cerca de 4 anos e 3 meses recorrendo a um empréstimo ao banco.

Também se analisou a viabilidade da instalação de uma caldeira a biomassa que visa a substituição dos *pellets* de madeira para o aquecimento de água de um tanque e do gás natural para produção de vapor e ar quente. Para tal, comparou-se o consumo de pó de cortiça (biomassa) necessário para satisfazer as necessidades cumpridas pelo gás natural e os *pellets*. De forma a renovar a água do tanque, é necessário consumir 4 206 kg de biomassa num período de 7 horas. Considerando que esta utilização é feita apenas algumas vezes por mês, a solução não é a mais adequada. Neste sentido, continuou-se a análise focando apenas na substituição do gás natural nos pontos de consumo de interesse, resultando numa necessidade de consumo de pó de cortiça de 100 kg h^{-1}. O retorno de investimento do projeto é cerca de 2 anos recorrendo a um empréstimo ao banco.

Estimou-se que a implementação dos projetos permitirá o aumento da utilização de energias renováveis de 15,4 % para 63,4 %. Além disso, permitirá melhorar os valores dos indicadores energéticos a alcançar o compromisso de cumprir as metas de utilização racional de energia estabelecidas para 2028.

Palavras Chave: Consumo energético; fotovoltaico; pó de cortiça; caldeira a biomassa; vapor

Abstract

Energy is essential to the functioning of an industry, with high importance regarding its consumption and the cost of the energy resources. In this sense, it is primordial the search for the processes' improvement and optimization, aiming towards the reduction of the energy consumption, to minimize the power of the market prices in production costs, as well as reducing the environmental impacts generated by its use. This dissertation's main goal was to evaluate the opportunities of improvement and optimization of the renewable energies available at M.A. Silva, S.A.

First, the production process was studied, to perform its energy characterization, disaggregating the consumptions by activity sector. For this task, instant energy measuring equipment was used, inventorying all the equipment and its respective electric consumption. Subsequently, opportunities of the production process improvement were evaluated, namely, the energy digitalization and the instalment of the variable speed drive.

The analysis of the viability of instalment of solar fotovoltaic panels was performed. *Software* PVGIS and PVSOL were used to understand the yield possible to attain with the system proposed compared to the ideal conditions, as well as comparing the production of electricity with the consumption profiles of the company. The fotovoltaic system demonstrated to be capable of reducing M.A. Silva's dependence on the energy grid by 26.4 %. The payback period of this project is 4 years and 3 months considering a bank loan.

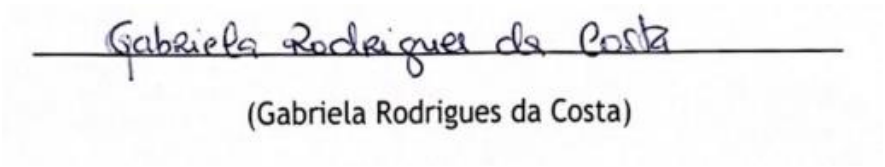
The viability of instalment of a biomass boiler which aims to substitute the consumption of wood pellets in water heating and natural gas to produce vapor and hot air was also analysed. To do so, the cork dust's (biomass) needs to satisfice the necessities met by natural gas and wood pellets were calculated. To renovate the tank's water, it's necessary to consume 4 206 kg of cork dust in a 7-hour period. Considering that this renovation is only done a few times per month, the solution is not the best fit. In this sense, the analysis was continued only focusing on substituting the natural gas consumption, resulting in a necessity of 100 kg h^{-1} of cork dust. The payback period resulted in 2 years resorting to a bank load.

It was estimated that the implementation of these projects will allow the increase of the use of renewable energies from 15.4 % to 63.4 %. In addition, it will allow to improve the energy indicators values targeted to meet the rational energy use goals for 2028.

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Porto, 3 julho de 2023



Índice

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto 1

1.2 Apresentação da Empresa 1

1.3 Contributos do trabalho 2

1.4 Organização da Dissertação 2

2 Contexto e Estado da Arte 3

2.1 Eficiência energética 3

2.1.1 Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia – SGCIE 3

2.1.2 Medidas de Eficiência Energética 4

2.2 Energia Solar 6

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos 6

2.2.2 Principais componentes 7

2.2.3 Parâmetros 7

2.3 Biomassa 8

3 Materiais e Métodos 11

3.1 O produto 11

3.2 O processo 12

3.3 Caracterização energética 14

3.4 Unidade de produção para autoconsumo 15

3.5 Instalação de caldeira a biomassa 17

4 Descrição técnica dos resultados 19

4.1 Levantamento energético 19

4.1.1 Evolução temporal 19

4.1.2 Indicadores energéticos 20

4.1.3 Desagregação dos consumos 21

4.2 Identificação de oportunidades de melhoria 22

4.2.1 Digitalização energética 22

4.2.2 Implementação de variadores eletrónicos de velocidade 23
4.3 Unidade de produção para autoconsumo 23
4.3.1 Análise do consumo energético 23
4.3.2 Simulação de produção FV 26
4.3.3 Análise económica 29
4.4 Instalação de caldeira a biomassa 31
4.4.1 Análise dos consumos energéticos 31
4.4.2 Transição do gás natural e *pellets* de madeira para pó de cortiça 33
4.4.3 Instalação do projeto 35
4.4.4 Produção de cinzas 36
4.4.5 Análise económica 37
4.5 Impactos esperados após implementação dos projetos 39
5 Conclusões e recomendações para trabalho futuro 41
6 Avaliação do trabalho realizado 43
6.1 Objetivos Realizados 43
6.2 Outros Trabalhos Realizados 44
6.3 Apreciação Final 44
Referências 45
Anexo A – Ciclo tetra-horário semanal 49
Apêndice A – Equipamento de medição 51
Apêndice B – Desvio-padrão da amostra de potência horária 53
Apêndice C – Avaliação das necessidades de pó de cortiça 55
C.1 Substituição do gás natural 55
C.2 Substituição dos *pellets* de madeira 56
Apêndice D – Resultados detalhados da análise económica 59
D.1. Projeto FV 61
D.1.1 Análise de investimento sem empréstimo 64
D.1.2 Análise de investimento com empréstimo 65
D.2 Projeto caldeira a biomassa 67

D.2.1 Análise de investimento ao projeto com grelha plana 68

D.2.1 Análise de investimento ao projeto com grelha móvel 70

Apêndice E – Cálculo dos novos indicadores energéticos 73

Apêndice F – Caracterização energética da NEOTECH 75

F.1 Processo produtivo 75

F.2 Levantamento energético 76

Apêndice G – Análise da viabilidade de instalação de máquinas de secagem de rolhas UV 79

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Potência instalada de fontes de geração de eletricidade em Portugal 2000-2021 (adaptado de [11]). 6

Figura 3.1 – Percentagens de vendas por tipos de rolhas em 2022. 11

Figura 3.2 – Fluxograma do processo de produção na MAS1. 13

Figura 3.4 – Planeamento da instalação fotovoltaica nos telhados do Pavilhão 1. 16

Figura 3.5 – Planeamento da instalação fotovoltaica nos telhados do Pavilhão 2. 16

Figura 3.6 – Esquema de entradas e saídas do tanque de cozimento. 18

Figura 4.1 – Evolução do consumo energético global (tep) e da produção nos períodos de 2019 – 2022. 19

Figura 4.2 – Desagregação do consumo energético por tipo de energia em 2022. 20

Figura 4.3 – Desagregação dos consumos de eletricidade referentes ao ano 2022. 21

Figura 4.4 – Consumo e potência elétrica média mensal referente ao ano 2022. 25

Figura 4.5 – Perfil de potência elétrica ao longo de uma semana típica em kW. 25

Figura 4.6 – Previsão do consumo de eletricidade coberto pelo sistema FV e da injeção de energia elétrica excedente na rede. 28

Figura 4.7 – Comparação do consumo de eletricidade da empresa, autoconsumo FV e injeção de FV na rede numa semana típica do mês de dezembro. 28

Figura 4.8 – Comparação do consumo de eletricidade da empresa, autoconsumo FV e injeção de FV na rede numa semana típica do mês de julho. 29

Figura 4.9 – Esquema exemplificativo do projeto da instalação da caldeira a biomassa. 36

Figura 4.10 – Desagregação do consumo energético por origem da energia da MAS1 após implementação dos projetos. 39

Figura A.1 – Fluke T5-600 51

Figura A.2 – 1730 Energy Logger 51

Figura F.1 – Fluxograma do processo de produção na NEOTECH 75

Figura F.2 – Desagregação dos consumos de eletricidade da NEOTECH referentes ao ano 2022 76

Figura G.1 – UV dryer LED cork 79

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Propriedades de diferentes tipos de pó de cortiça (adaptado de [21]). 8

Tabela 2.2. Coeficientes globais de transferência de calor (adaptado de [24]). 10

Tabela 3.1. Dimensões mais comuns das rolhas produzidas. 11

Tabela 3.2. Características principais dos módulos FV e inversores. 15

Tabela 3.3. Caldeira a biomassa orçamentada pela Flucal Caldeiras, S.A. 17

Tabela 4.1. Indicadores energéticos segundo as Medidas de Utilização Racional de Energia e reais da empresa. 21

Tabela 4.2. Consumo energético de outras zonas consumidoras intensivas relativo ao ano 2022. 22

Tabela 4.3. Tarifário de eletricidade para a empresa. 24

Tabela 4.4. Carga de uso do tarifário de eletricidade. 24

Tabela 4.5. Estimativa de produção de eletricidade mensal por cada painel FV. 26

Tabela 4.6. Resumo da previsão da eletricidade produzida pelo sistema FV e dos respetivos índices de autoconsumo e autossuficiência 29

Tabela 4.7. Investimento no sistema FV. 31

Tabela 4.8. Consumos globais de gás natural. 32

Tabela 4.9. Distribuição do consumo de gás natural pelos vários processos. 32

Tabela 4.10. Distribuição do consumo de gás natural pelos vários processos. 32

Tabela 4.11. Características da caldeira e geradores de ar quente atuais. 33

Tabela 4.12. Necessidades de gás natural e equivalentes de pó de cortiça. 33

Tabela 4.13. Comparação da transferência de calor por unidade de área. 34

Tabela 4.14. Resultados do balanço mássico. 34

Tabela 4.15. Consumos/necessidades e custos de GN, pellets de madeira e pó de cortiça. 35

Tabela 4.16. Produção teórica de cinzas. 36

Tabela 4.17. Investimento na implementação do pó de cortiça como combustível do processo produtivo. 38

Tabela 4.18. Indicadores energéticos após implementação dos projetos. 40

Tabela A.1. Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal continental em 2022 [42]. 49

Tabela B.1. Desvio-padrão da amostra de potência horária. 54

Tabela C.1. Necessidades de pó de cortiça mensais e totais. 56

Tabela D.1. Estimativa de produção FV para o 1º ano de produção, respetiva poupança e consumo necessário da rede. 61

Tabela D.2. Análise do sistema FV para 25 anos. 61

Tabela D.3. Mapa de cash-flows do investimento no sistema FV sem empréstimo. 64

Tabela D.4. Mapa de cash-flows do investimento do sistema FV com empréstimo. 65

Tabela D.5. Mapa do serviço de dívida do projeto. 66

Tabela D.6. Mapa de cash-flows do investimento ao projeto com grelha plana. 68

Tabela D.7. Mapa do serviço de dívida do projeto com grelha plana. 69

Tabela D.8. Mapa de cash-flows do investimento ao projeto com grelha móvel. 70

Tabela D.9. Mapa do serviço de dívida do projeto com grelha móvel. 71

Tabela E.1. Estimativa dos consumos energéticos após implementação dos projetos. 73

Tabela E.2. Produção e VAB da M.A. Silva em 2022. 73

Tabela F.1. Consumo energético de outras zonas consumidoras intensivas da NEOTECH relativo ao ano 2022. 77

Tabela G.1. Resultados dos consumos dos equipamentos para a produção apresentada em 2022. 79

Notação e Glossário

ΔH_{vap}	Calor latente de vaporização	kcal kg^{-1}
η	Rendimento	%
ρ	Massa volúmica	kg m^{-3}
CEE	Consumo Específico de Energia	kgep 1000 un^{-1}
c_p	Calor específico	kcal kg^{-1} $ºC^{-1}$
kg_{CO2e}	Quilograma de CO_2 equivalente	kg_{CO2e}
kgep	Quilograma equivalente de petróleo	kgep
i	Taxa de juro	%
IC	Intensidade Carbónica	kg_{CO2e} $kgep^{-1}$
IE	Intensidade Energética	kgep $€^{-1}$
M_E	Massa de água de entrada	kg
M_S	Massa de água de saída	kg
M_V	Massa de vapor	kg
PCI	Poder calorífico superior	kcal kg^{-1}
Q_V	Calor necessário para aquecer a água	kcal
T_E	Temperatura de entrada	ºC
T_S	Temperatura de saída	ºC
T_V	Temperatura do vapor	ºC
tep	Tonelada equivalente de petróleo	tep
U	Coeficiente global de calor	W m^{-2} $ºC^{-1}$

Lista de Siglas

FV	Fotovoltaico/a
IR	Índice de Rentabilidade
GN	Gás Natural
MAS1	M.A. Silva 1
MURE	Metas de Utilização Racional de Energia
PR	Período de Retorno
PREn	Plano de Racionalização de Consumo de Energia
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
VAB	Valor Acrescentado Bruto
VAL	Valor Atual Líquido
VEV	Variadores Eletrónico de Velocidade

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Atualmente, a gestão eficiente dos recursos de uma empresa, em particular, os recursos energéticos, é essencial para a distinção face à competitividade do mercado. Nesse sentido, é fundamental que os processos sejam implementados e otimizados em busca da minimização dos consumos energéticos, possibilitando melhorias sob os pontos de vista energético, económico e ambiental [1].

Uma ferramenta imprescindível da gestão do sistema de utilidades é a monitorização e avaliação dos consumos energéticos, permitindo assim o estudo e a busca por soluções que visem a maior eficiência do processo industrial [2]. Além disso, a utilização de energias renováveis é a estratégia mais adequada para a redução da dependência energética, fomentando a sustentabilidade no seu processo e reduzindo as emissões de gases com efeito de estufa.

Neste sentido, A M.A. Silva definiu os seguintes objetivos para este projeto: i) estudo da produção da empresa; ii) levantamento dos consumos energéticos da unidade de produção; iii) determinação de oportunidades de melhoria; iv) avaliação dos benefícios da instalação de painéis solares e v) avaliação da viabilidade técnica da instalação de uma caldeira a biomassa.

1.2 Apresentação da Empresa

Fundada em 1972, a M.A. Silva – Cortiças, S.A. surgiu a partir de um núcleo familiar com um profundo conhecimento do setor corticeiro. Sediada em Santa Maria da Feira, na freguesia de Mozelos, a empresa evoluiu desde a sua fundação e é hoje uma das empresas tecnologicamente mais avançadas do setor da cortiça.

Em 1999 investiu na criação da M.A. Silva 2 – Cortiças, S.A., dedicada à produção de rolhas técnicas de cortiça e em 2004, face ao desenvolvimento de mercados e foco na integração vertical da cadeia de produção, inaugurou a M.A. Silva 3 – Cortiças, S.A., em Alter do Chão. Em 2017, inauguraram-se as novas instalações dedicadas à produção de rolhas técnicas e de vinho espumante da NEOTECH – Cortiças, S.A., em Rio Meão. Em 2022, a M.A. Silva celebrou os seus 50 anos, apresentando um volume de produção de 600 milhões de rolhas e 12 unidades industriais espalhadas pelo mundo.

A missão do grupo é produzir rolhas de cortiça de alta qualidade para a indústria vitivinícola, ambicionando ser uma empresa de referência global. Prioriza a produção através de meios adequados e padrões éticos, respeitando a comunidade e o desenvolvimento sustentável.

A empresa possui várias certificações em resposta aos desafios do setor da cortiça, nomeadamente, Sistema de Gestão da Qualidade (ISO 9001:2015), Systecode (Sistema de acreditação mediante o Código Internacional das Práticas Rolheiras (CIPR) da C.E. Liège), Gestão de Segurança Alimentar (ISO 22000:2018) e FSC® (Forest Stewardship Council ®). Neste sentido, a empresa garante a segurança alimentar, o compromisso com o uso responsável dos recursos florestais e a busca pela excelência.

1.3 Contributos do trabalho

Durante o meu estágio na M.A. Silva, pude conhecer o modo de trabalho da empresa, começando por estudar o processo de fabrico da mesma. A partir desta etapa, foi possível dar início ao levantamento dos consumos energéticos da instalação, desagregando os consumos por etapa de fabrico e estimando os consumos mensais e anuais, de modo a perceber quais as zonas consumidoras intensivas de energia. O levantamento energético permitiu então que fossem analisadas e estudadas oportunidades de melhoria a nível energético. Numa segunda fase da dissertação, analisei a viabilidade de dois projetos. O primeiro relaciona-se com a viabilidade da instalação de uma unidade de produção de energia renovável para autoconsumo, em que analisei os consumos da empresa com a produção de energia obtida pelo sistema a implementar e que benefícios são obtidos desta. O segundo projeto visa a instalação de uma caldeira a biomassa com a respetiva parcela de adaptação da fábrica ao novo equipamento e fonte de energia. Para este segundo projeto, estimei as necessidades de pó de cortiça, a biomassa a implementar, comparativamente ao gás natural e *pellets* de madeira consumidos, sendo estes os combustíveis a substituir.

1.4 Organização da Dissertação

O presente documento encontra-se dividido em 6 capítulos. No Capítulo 1 apresenta-se o enquadramento do projeto, uma breve apresentação da empresa e uma referência aos contributos do trabalho e à organização da tese. O Contexto e Estado da Arte constitui o Capítulo 2, que aborda o tema da eficiência energética, bem como uma revisão sobre energias renováveis que serão alvo de estudo nesta dissertação, nomeadamente a biomassa e a energia solar. O Capítulo 3 tem enfoque no produto e processo da empresa, assim como nos métodos e materiais que permitiram o desenvolvimento da dissertação. O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussão do estudo realizado, com o inventário dos consumos avaliados e levantamento das oportunidades de melhoria do desempenho energético da instalação e a análise dos projetos de instalação de painéis solares e de uma caldeira a biomassa. O Capítulo 5 contém as principais conclusões e sugestões de trabalho futuro. Por fim, o Capítulo 6 aborda os objetivos realizados, outros trabalhos e uma apreciação do trabalho final.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 Eficiência energética

A melhoria contínua da eficiência energética traz grandes vantagens às indústrias, como a redução dos impactes ambientais, o aumento da produtividade do trabalho, a redução da dependência energética, entre outros [3].

2.1.1 Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia – SGCIE

Com o objetivo de promover a eficiência energética, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e monitorizar instalações consumidoras intensivas de energia (CIE), surge o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), ao abrigo do Decreto-Lei 71/2008, de 15 de abril e inserido no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).

Instalações com consumo energético igual ou superior a 500, mas inferior a 1000 tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano são obrigadas a realizar auditorias energéticas, com a periodicidade de 8 anos. O SGCIE inicia-se com o registo e reconhecimento das instalações, técnicos e entidades, seguido por uma auditoria energética para o Plano de Racionalização de Consumos de Energia (PREn). O PREn pressupõe o controlo dos indicadores energéticos, nomeadamente, a Intensidade Carbónica (IC), a Intensidade Energética (IE), e o Consumo Específico de Energia (CEE), obtidos através das Equações 1.1, 1.2 e 1.3, respetivamente [4]:

$$IC = \frac{emissões\ de\ GEE}{consumo\ energético\ total} \tag{1.1}$$

$$IE = \frac{consumo\ energético\ total}{VAB} \tag{1.2}$$

$$CEE = \frac{consumo\ energético\ total}{produção} \tag{1.3}$$

É de salientar que para o cálculo dos indicadores IE e CEE apenas se considera 50 % da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis.

O PREn pode ser enviado à Agência para a Energia (ADENE) e, posteriormente, submetido à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) para aprovação. Após a validação, torna-se um Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE), que oferece isenção do Imposto sobre os Produtos Petrolíferos e Energéticos (ISP) para combustíveis industriais e comparticipações para equipamentos, sistemas de gestão e auditorias energéticas. Instalações que apresentem consumo intensivo de energia igual ou superior a 1000 tep por ano, espera-se uma melhoria de pelo menos 6 % em seis anos para os indicadores IE e CEE, ou de 4 % em oito

anos para as restantes instalações. Espera-se também uma manutenção dos valores históricos do IC. O não cumprimento das metas ou medidas estabelecidas resulta em coimas e possível devolução dos incentivos recebidos [4].

2.1.2 Medidas de Eficiência Energética

As medidas de eficiência energética podem ser divididas em duas categorias: transversais, aplicáveis a todos os setores da indústria, e setoriais, aplicáveis a setores específicos. Normalmente, as medidas transversais geram melhores resultados, sendo essencial que os responsáveis pelo setor industrial tenham a informação necessária para analisar o potencial técnico-económico dessas medidas. As medidas transversais são subdivididas em 4 segmentos: eficiência do processo industrial, sistemas acionados por motores elétricos, produção de calor e frio, e iluminação [5].

- **Eficiência do processo industrial**

Uma medida muito comum deste segmento passa pela monitorização e controlo dos consumos energéticos.

A gestão da energia consumida engloba diversas etapas, desde o planeamento à monitorização e implementação das estratégias de controlo otimizadas [5]. Segundo a ISO 50 001, as organizações devem tratar não conformidades por meio de correções e ações corretivas/preventivas. As ações preventivas agregam valor à eficiência energética ao eliminar potenciais causas de não conformidades, como a monitorização e medição do consumo de energia. A digitalização energética e análise de dados possibilitam a recolha de informações para identificar e corrigir desvios rapidamente, permitindo tomar as melhores decisões face aos problemas [2]. Em geral, o custo inicial deste tipo de ação é baixo, principalmente se forem comparados com as previsões de economias poupanças possíveis de gerar [5].

- **Sistemas acionados por motores elétricos**

Na UE, os motores elétricos são os equipamentos mais comuns na indústria, representando cerca de 70 % da energia elétrica consumida. Em Portugal, são responsáveis por mais de 60 % do consumo industrial e cerca de 30 % do consumo elétrico total do país. No entanto, é comum haver sobredimensionamento destes equipamentos. Mesmo com o dimensionamento adequado e funcionamento correto, é comum haver perdas que reduzem a eficiência dos motores elétricos [5].

Muitas aplicações que utilizam força motriz poderiam beneficiar, em termos de consumo de energia elétrica e desempenho geral, de um ajuste da velocidade do motor de acordo com as necessidades do processo. Os variadores eletrónicos de velocidade (VEV) permitem que a velocidade do motor seja variada em resposta às mudanças nas condições de carga. Por

exemplo, os VEV podem substituir dispositivos de estrangulamento de caudais usados em várias aplicações industriais de forma mais eficiente [3].

- **Produção de calor e frio**

Para a melhoria da eficiência de processos de produção de calor e frio, apresentam-se alguns exemplos.

O isolamento dos equipamentos permite a prevenção das perdas de calor, seja do exterior para o ambiente ou vice-versa. Isolar superfícies mais quentes do que o ambiente permite poupar no fornecimento de energia ao sistema, enquanto o isolamento de superfícies mais frias permite a redução nos custos operatórios associados à refrigeração do sistema a um nível térmico inferior [6].

Os sistemas de cogeração produzem eletricidade e energia térmica, utilizando a maior parte da energia química no combustível que é fornecido à instalação. É uma tecnologia aplicada em processos que requerem calor e eletricidade simultaneamente, durante longos períodos. Normalmente, este tipo de instalações tem uma eficiência entre os 75 e 85 % [7].

A injeção direta de vapor ou permuta com vapor ou água quente permite fornecer calor aos processos. A escolha adequada depende do nível térmico desejado para aquecer a corrente ou processo. Para aplicações de alta temperatura, é recomendada a injeção direta de vapor, pois oferece melhor controlo dos processos, maximiza a utilização do calor fornecido e reduz as perdas de calor para o ambiente [6].

Também é possível aplicar vapor a diferentes pressões, bem como água a elevadas temperaturas, para aquecer um fluido em baixa pressão, através do uso de permutadores. Os permutadores mais comuns são os de carcaça e tubos, perfazendo cerca de 85 % dos permutadores aplicados na indústria. Para aplicações a baixas pressões, existem outros permutadores que conferem uma transferência de calor mais eficiente dada as suas configurações, como o caso dos permutadores em espiral ou de placas. Consoante o contacto entre os fluidos que circulam no equipamento, haverá geometrias mais ou menos adequadas que devem ser tidas em consideração na seleção e dimensionamento deste. Para aplicações a pressões altas, também é possível melhorar a eficiência dos permutadores de carcaça e tubos. Pode-se, por exemplo, substituir os tubos convencionais por tubos com outras configurações que permitam um tempo de contacto superior entre os fluidos [7, 8].

- **Substituição do sistema de iluminação**

Para conceber instalações de iluminação com utilização racional de energia, é essencial verificar alguns parâmetros que reduzam o consumo energético, mantendo ou melhorando as condições de iluminação nos espaços considerados. Neste sentido, diversos aspetos devem ser considerados, tais como: dar prioridade à iluminação natural, dimensionar corretamente os

níveis de iluminação necessários para os postos de trabalho, optar por equipamentos de rendimento elevado, utilizar sistemas de controlo automático dos sistemas de iluminação, realizar operações de limpeza e manutenção regulares das instalações e definir corretamente os períodos de substituição das lâmpadas, optando pela substituição em grupos [5].

2.2 Energia Solar

Portugal possui um clima favorável para aproveitar a energia solar devido ao número elevado de horas de exposição solar anual. A exploração dessa energia é essencial para reduzir o consumo de fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis [9].

A energia proveniente do Sol pode ser convertida em energia elétrica ou térmica. Nesta dissertação, será abordada a energia solar produzida em sistemas fotovoltaicos.

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos

A produção mundial de energia fotovoltaica continua a crescer, adicionando aproximadamente 175 GW de potência instalada em 2021, totalizando 942 GW [10]. As fontes de energia renovável têm crescido continuamente, representando mais de 50 % da produção total de energia do país. A tendência é de crescimento, como se verifica pela Figura 2.1 [11].

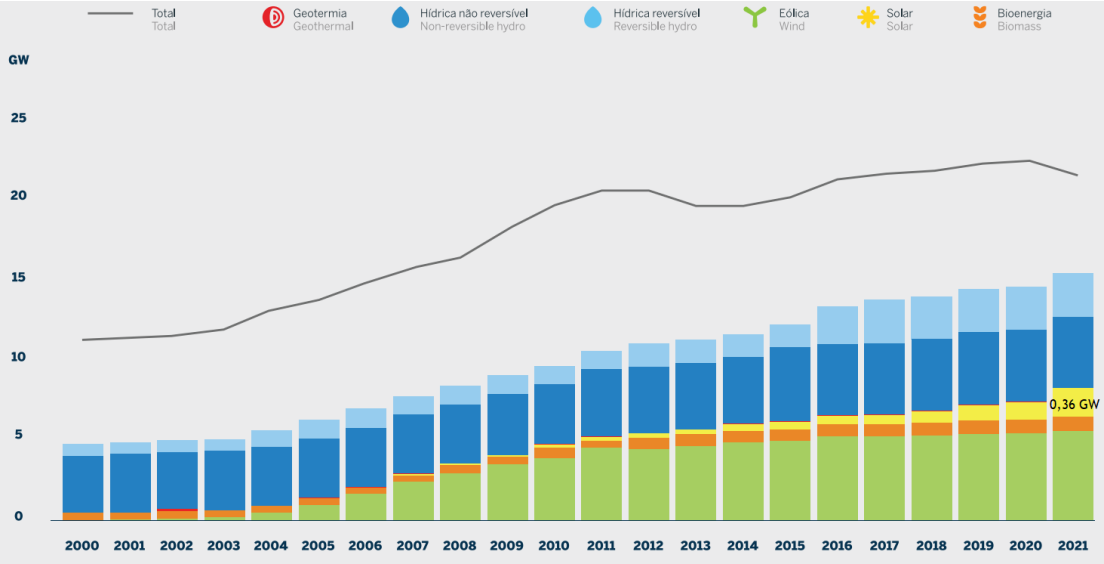


*Figura 2.1 - Potência instalada de fontes de geração de eletricidade em Portugal 2000-2021 (*adaptado de [11]*).*

Em 2021, a produção de energia de fonte fotovoltaica foi cerca de 1,8 TWh [11].

Um dos maiores desafios da energia solar fotovoltaica (FV) é gerir a produção de energia em relação ao consumo [12]. No setor industrial, o autoconsumo possibilita que as empresas se tornem mais competitivas, reduzindo os custos energéticos e aumentando a independência em relação às flutuações do preço da eletricidade.

Existem três tipos de sistemas FV: de rede, autónomos ou híbridos. A escolha do sistema mais adequado depende da localização, da possibilidade de ligação à rede e das necessidades dos consumidores [13]. Na indústria, os sistemas ligados à rede e híbridos são comuns. Os sistemas conectados à rede utilizam eletricidade da rede quando a produção é insuficiente e podem injetar o excedente quando há excesso de produção em relação às necessidades [14]. Os sistemas híbridos são sistemas ligados à rede com bateria(s) acoplada(s) [15].

2.2.2 Principais componentes

Um sistema FV é composto por diversos componentes, salientando os painéis, os inversores e as baterias como os mais importantes.

Existem 3 gerações de tecnologias FV: 1ª geração com células de silício cristalino, 2ª geração com células de película fina e 3ª geração com películas finas em substratos flexíveis. A maioria das células FV fabricadas pertence à 1ª geração, sendo de silício monocristalino ou policristalino. A célula monocristalina é a tecnologia mais antiga e, simultaneamente, a mais eficiente e dispendiosa do mercado [16].

Os inversores convertem a corrente contínua (DC) em corrente alternada (AC) nos sistemas FV. A escolha adequada deste componente influencia significativamente a operação dos sistemas FV [12, 15].

Os dispositivos de armazenamento de energia respondem às necessidades energéticas quando a produção é insuficiente ou nula, armazenando o excesso de energia produzida pelo sistema FV ou suprimindo falhas da rede elétrica em sistemas ligados à rede. Um dos obstáculos à implementação de baterias num sistema FV é o seu investimento inicial. As baterias de Chumbo-Ácido (PbA) são as mais amplamente utilizadas. As baterias Li-íon são uma tecnologia promissora em desenvolvimento, mas o seu elevado investimento dificulta a sua utilização nessas aplicações [17].

2.2.3 Parâmetros

Certos parâmetros de instalação de um sistema FV também influenciam a produção de energia, como a inclinação e a orientação dos módulos FV. A orientação, ou ângulo azimute, refere-se à localização geográfica do espaço, sendo que, no hemisfério Norte, a orientação ótima é para Sul (ângulo azimute 0 º) [17]. Já o ângulo de inclinação define-se pelo plano da superfície do sistema e o plano horizontal onde se encontra o mesmo e é dependente da latitude do local de instalação [13]. Em Portugal, a inclinação e o ângulo azimute ótimos são 35 º e 0 º, respetivamente [18]. Usualmente, um sistema FV dimensiona-se para uma estação ou mês específico, o que permite garantir a produção mínima durante o mês menos favorável e a produção máxima durante o mês mais favorável. Se se pretender a implementação do sistema direcionada para o período de inverno, adiciona-se 15 º à latitude do local, ou subtrai-se 15 º se

for direcionada para o período de verão. Para uma rentabilidade máxima anual, subtrai-se 5 º à latitude do local [15].

2.3 Biomassa

A dependência energética e as preocupações ambientais têm impulsionado o aumento do uso de biomassa como substituto dos combustíveis fósseis. A biomassa é considerada uma fonte renovável e mais limpa. Os combustíveis de biomassa são principalmente compostos por resíduos agrícolas, florestais e serrim [19].

A biomassa é uma fonte de energia capaz de converter a energia química contida nela em calor e/ou eletricidade [20]. O pó de cortiça tem um forte potencial como fonte de energia devido às suas propriedades para conversão termoquímica. O rendimento da produção de pó de cortiça como produto secundário na indústria da cortiça corresponde a valores entre 20 e 40 %. Diferentes etapas do processo produtivo resultam em diferentes tipos de pó de cortiça, cada um com propriedades distintas [21]. Na Tabela 2.1 apresenta-se a caracterização de vários tipos de pó de cortiça.

Tabela 2.1. Propriedades de diferentes tipos de pó de cortiça (adaptado de [21]*).*

Propriedades	Tipo 1*	Tipo 2*	Tipo 3*	Tipo 4*	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7	Tipo 8	Tipo 9
Teor de humidade / % b.h.	1,1	0,9	1,5	2,7	-	-	9,71	9,63	15,57
Massa Volúmica / kg m^{-3}	-	-	-	-	190 (b.s.)	210 (b.s.)	379,1 (b.h.)	323,4 (b.h.)	361,2 (b.h)
Análise aproximada / % b.s.									
Conteúdos voláteis	78,8	75,6	77,6	67,1	74,7	83,6	75,69	76,31	75,34
Carbono fixado	19,1	21,3	17,6	20,0	-	-	19,61	19,70	19,92
Conteúdo de cinzas	1,0	2,2	3,3	10,2	4,4	0,9	4,70	3,99	4,34
PCS / MJ kg^{-1} b.s.	28,8	30,4	24,7	15,2	21,9	20,8	21,41	23,64	21,43
PCI / MJ kg^{-1} b.s.	-	-	-	-	20,6	19,5	20,08	22,33	19,90
PCI / MJ kg^{-1} b.h.	-	-	-	-	-	-	18,12	20,18	16,81

*Não é especificado se as quantidades são determinadas em base seca ou húmida; **Determinado pela diferença.

- **Produção de vapor**

A biomassa pode ser aplicada para a produção de vapor numa caldeira. A produção de vapor possui diversas vantagens como o seu baixo custo e elevada disponibilidade. Uma caldeira é um equipamento em que, através da combustão de um combustível, os gases produzidos fornecem

calor a um fluido a aquecer. Este equipamento possui um local destinado à combustão e outro destinado à troca de calor, a caldeira em si. As caldeiras podem ser classificadas de acordo com a fonte de energia utilizada, o tipo de fluido produzido e o tipo de câmara de combustão que possuem. Além disso, podem ser caracterizadas através de diversos parâmetros, nomeadamente, a natureza do fluido a aquecer, o timbre e pressão de serviço, temperatura do fluido a aquecer, potência térmica a produzir, a sua capacidade e o rendimento térmico. De entre os vários tipos de caldeiras, existem as caldeiras aquotubulares, ou caldeiras de tubos de água, em que o fluido aquecedor circula à volta dos feixes tubulares e a água que circula nos tubos será aquecida até formar vapor saturado ou mesmo vapor sobreaquecido [22].

O vapor é um fluido muito versátil, com diversas aplicações. Este pode ser aplicado de forma direta, em processos de esterilização ou aquecimento, ou mesmo como fluido de aquecimento para processos de recuperação de calor [6].

A esterilização através do vapor é um método muito comum para esterilizar produtos que consigam tolerar humidade e altas temperaturas. O vapor é água no estado gasoso, é não-tóxico e relativamente fácil de controlar. A esterilização através do vapor é um método comum aplicado em diversas indústrias, visando atingir um alto nível de inativação microbial. Este método expõe o vapor diretamente ao produto a esterilizar, deixando o calor e humidade penetrar e atingir todas as superfícies. As elevadas temperaturas do vapor provocam a erradicação térmica dos microrganismos, deixando o produto desinfetado [23].

Em ambiente industrial, é muito comum utilizar geradores de ar quente em processos de secagem, através de ar quente. A secagem é uma etapa usualmente consumidora intensiva de energia bem como de tempo. A recuperação de calor pode ser obtida com o auxílio de um permutador de calor. Dependendo da aplicação, os geradores de ar quente podem ser de tipo direto ou indireto. No caso da indústria rolheira, a produção de ar quente realiza-se indiretamente, sem que o ar entre em contacto com os gases de combustão. Existem diversos tipos de permutadores de calor, dando foco aos permutadores de carcaça e tubos, que são os mais aplicados para quaisquer capacidades e condições operacionais [22]. Neste tipo de equipamento, um dos fluidos circula dentro dos tubos e o outro no espaço entre os tubos e a carcaça, ocorrendo a transferência de calor através das paredes dos tubos. Primeiro, o fluido quente transfere calor para as paredes dos tubos por condução. De seguida, o calor é transferido das paredes dos tubos para o fluido frio por convecção. Existe sempre transferência de calor através de mecanismos de radiação, mais ou menos elevada consoante os níveis de emissividade e absorção das superfícies [24].

A Tabela 2.2. apresenta os coeficientes globais de transferência de calor (U) retirados da literatura para a troca de calor entre os fluidos vapor-ar e gás-ar [24].

Tabela 2.2. Coeficientes globais de transferência de calor (adaptado de [24]*).*

	Permuta vapor-ar	**Permuta gás-ar**
U / W m^{-2} °C^{-1}	30 - 300	10 - 40

U representa o coeficiente global de transferência de calor de um dado sistema. Este parâmetro define a taxa de transferência de calor por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura entre os dois meios envolvidos no processo de troca de calor [24].

O vapor também pode ser aplicado para o aquecimento de água através de aspersores, podendo ser utilizado em diversos processos industriais. Um aspersor de vapor transfere energia do vapor para a água através do contacto direto. O vapor é introduzido na água através de pequenos furos no aspersor e, ao ser libertado na água, condensa, transferindo o seu calor latente de vaporização e sensível para a água fria. A energia absorvida pela água aumenta a sua temperatura. A temperatura da água aquecida depende de diversos fatores como a temperatura da água inicial, a pressão do vapor, o caudal de vapor e a eficiência do processo de transferência de calor [25].

3 Materiais e Métodos

Neste capítulo aborda-se o produto fabricado pela M.A. Silva, assim como o processo produtivo da instalação. Apresenta-se a caracterização dos métodos aplicados ao longo deste trabalho, explicando sucintamente cada passo e método de raciocínio.

3.1 O produto

Dentro do setor das rolhas de cortiça, existem rolhas com propósitos diferentes. É essencial entender cada necessidade, visando encontrar a melhor alternativa. Neste sentido, a empresa M.A. Silva tem um sério compromisso com a qualidade e produz cinco gamas de rolhas: naturais, naturais colmatadas, aglomeradas/microaglomeradas, técnicas e técnicas de espumante.

A M.A. Silva produz rolhas de várias dimensões e de acordo com a preferência dos seus clientes. A Tabela 3.1 mostra as dimensões mais comuns praticadas na empresa. Caso não haja especificação, as dimensões *standard* das rolhas produzidas seguem a norma ISO 16420:2013 [26].

Tabela 3.1. Dimensões mais comuns das rolhas produzidas.

Tipo de rolha	Diâmetro nominal / mm	Comprimento nominal / mm
Natural/Natural colmatada	24 - 26	38, 45, 49, 54
Aglomeradas	24	38 – 44
Técnicas para vinho	23,5	39 - 44
Técnicas para espumante	30,5 - 31	48

Na Figura 3.1 pode-se consultar as percentagens de vendas de rolhas por tipos de rolhas, referente ao ano 2022.

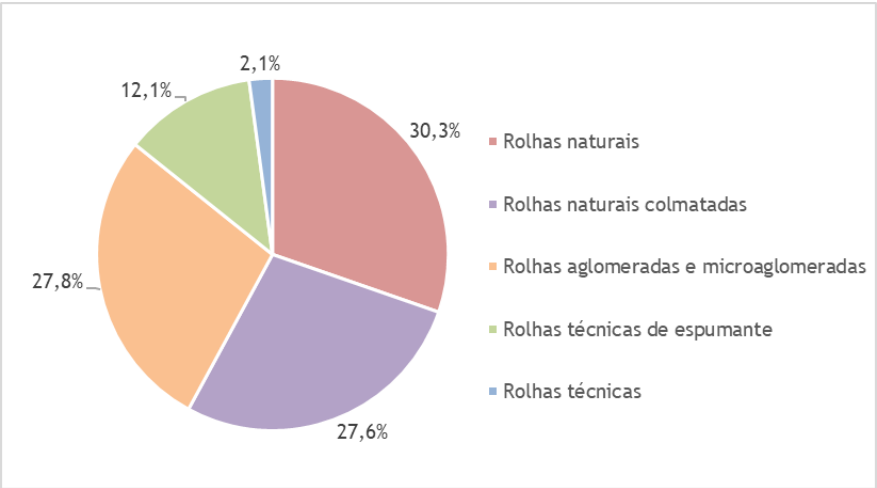


Figura 3.1 – Percentagens de vendas por tipos de rolhas em 2022.

Como se observa pela Figura 3.1, o produto mais vendido são as rolhas naturais, representando 30,3 % das vendas, seguindo as rolhas aglomeradas e microaglomeradas e as rolhas naturais colmatadas, representando 27,8 % e 27,6 % das vendas, respetivamente. De seguida, tem-se as rolhas técnicas de espumante, perfazendo 12,1 % das vendas e, por último, as rolhas técnicas, representando 2,1 % das vendas. Na M.A. Silva 1 (MAS1) produzem-se rolhas naturais e naturais colmatadas, enquanto na NEOTECH produzem-se rolhas aglomeradas e microaglomeradas. As rolhas técnicas e técnicas de espumante são do domínio da M.A. Silva 2 (MAS2).

3.2 O processo

O processo de produção no Grupo M.A. Silva é um processo exigente e muito cuidado, passando por diversas fases, em função do tipo de rolha a produzir: natural ou técnica. Existe uma verticalização total do processo de produção, tomando partida no seu centro de matéria-prima, localizado na instalação M.A. Silva 3 (MAS3), no Alentejo.

Como já foi referido, a instalação MAS1 tem o seu foco na produção de rolhas naturais e naturais colmatadas. A Figura 3.2 apresenta o fluxograma representativo do processo de produção da MAS1 para uma melhor compreensão visual do mesmo.

Inicialmente, ainda na MAS3, a cortiça é estabilizada e cozida para atingir o nível de humidade adequado. Isso evita o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais à matéria-prima. Se a cortiça estiver mais seca e menos maleável do que o desejado na MAS1, ela pode passar pela fase de **humidificação da cortiça**, realizada em água quente, restaurando o nível ideal de humidade para as etapas de rabaneação e brocagem. A **rabaneação** corta as pranchas em traços ou rabanadas, com largura ligeiramente maior que o comprimento da rolha que se pretende fabricar. De seguida, passa à **brocagem**, que consiste em perfurar os traços de cortiça com uma broca, resultando numa rolha cilíndrica em conformidade com o calibre desejado. A **deslenhagem** é a quarta etapa da produção, e tem como objetivo segregar defeitos, selecionar classes e retirar pedaços de cortiça, através de máquinas eletrónicas que fazem uma primeira seleção das rolhas por qualidade visual, em função da sua porosidade. As rolhas necessitam de passar por uma fase de esterilização, efetuada por um processo avançado de vaporização e esterilização, através da tecnologia Sara Advanced®. Esta tecnologia permite a extração de voláteis e a uniformização sensorial, visando melhorar a performance e qualidade no processo pós-perfuração. A rolha resultante da brocagem ainda não possui as dimensões e regularidade superficial desejadas conforme o calibre pretendido, sendo necessário proceder à sua **retificação**, respeitando a Norma NP 4351:2000. Após retificar, a pré-escolha seleciona eletronicamente as rolhas, dividindo-as por qualidade visual em função da sua porosidade (semelhante à deslenhagem, mas mais fina).

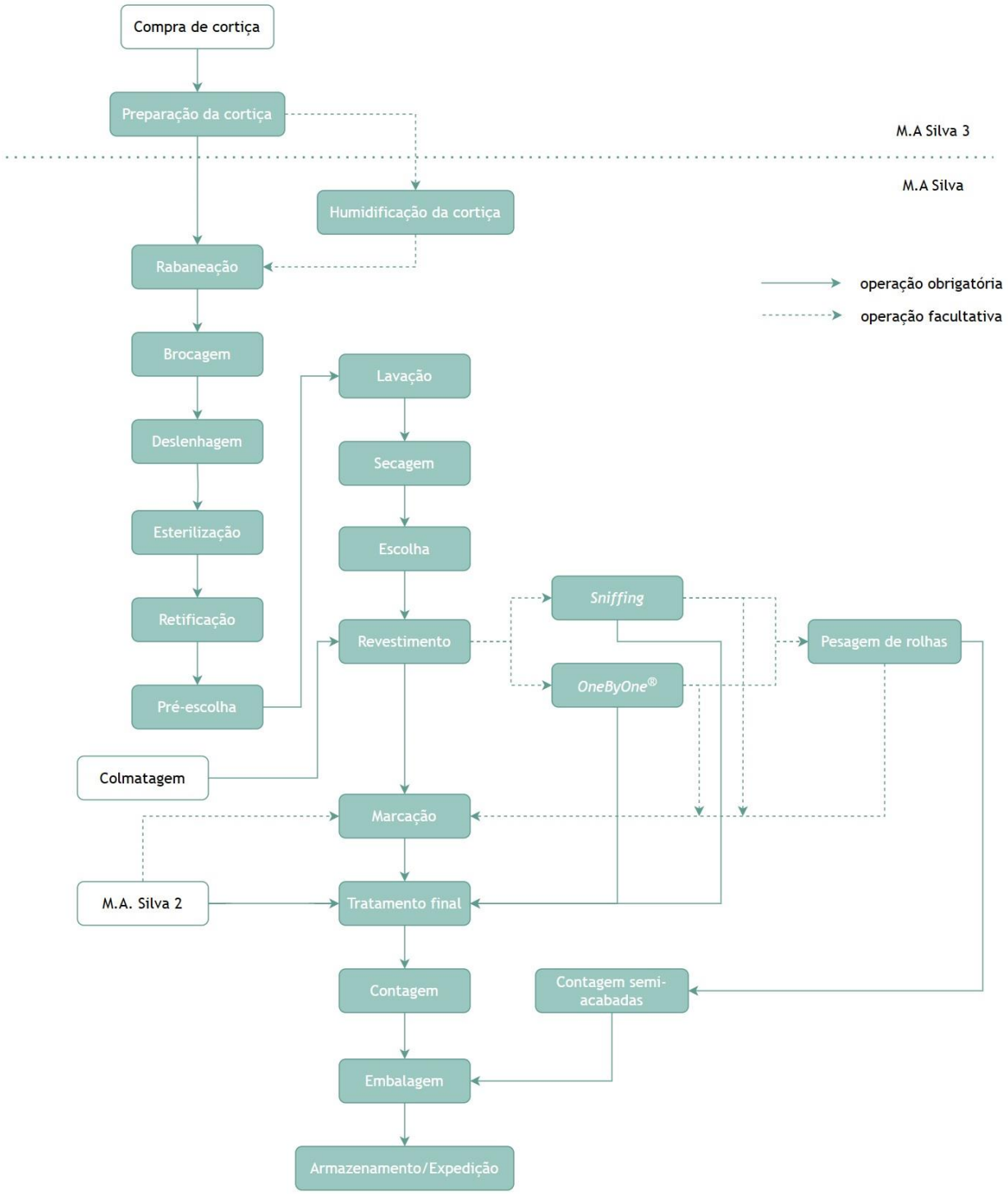


Figura 3.2 – Fluxograma do processo de produção na MAS1.

A **lavação** das rolhas é das etapas mais essenciais da produção, pois permite a desinfeção destas, extração suplementar de compostos, principalmente os fenólicos, e garante o aspeto homogéneo das rolhas, bem como confere a tonalidade final desejada, consoante as especificidades do cliente. A lavação efetua-se através da tecnologia Maszone®, utilizando uma combinação de ozono e peróxido de hidrogénio, que desinfeta e limpa as rolhas de cortiça. Esta solução elimina os microrganismos e os seus esporos, bem como oxida impurezas orgânicas e compostos, como os fenóis e anisóis, que podem ser precursores de compostos com aromas

indesejados. Posteriormente, as rolhas devem passar por uma etapa de **secagem**, efetuada em câmara fechada para a estabilização da humidade das rolhas, otimizando a performance destas como vedantes. De seguida, tem-se a etapa de **escolha**, que se destina a separar as rolhas por classes. Primeiro, é feita uma pré-seleção automática (semelhantes à da pré-escolha), seguida de uma escolha visual, visando excluir as rolhas com defeito. As classes existentes são: Flor, Extra, Superior, 1º, 2º, 3º, 4º e 5º. Os defeitos também são classificados como: Bicho, Verdura, Fenda, Mancha Amarela, Prego, entre outros. As classes das rolhas baseiam-se no seu aspeto visual. Logo, se estas não forem uniformes e/ou apresentarem elevado número de poros, a sua classe será obrigatoriamente fraca, sendo necessário passar por uma etapa de **revestimento**. O objetivo passa pela homogeneização das rolhas através da produção de revestimento. Se o cliente assim o desejar, pode requisitar um serviço *premium*: a seleção sensorial. Esta fase pode ser efetuada por duas vias: através do cheiro (denominado de *Sniffing)* ou do sistema *OneByOne*®. No ***sniffing***, as rolhas são distribuídas por máquinas com várias resistências que as aquecem, de modo a libertar possíveis odores nas rolhas, permitindo às operadoras segregarem possíveis desvios organoléticos. O sistema **OnebyOne®**, um processo que funciona através de um sistema de espetroscopia em fase gasosa, inspeciona rolha a rolha, de forma a detetar vestígios de TCA. Posteriormente, as rolhas devem passar pela etapa de **pesagem de rolhas**, que as separa por peso através do uso de células de carga. A etapa de **marcação** é feita de forma personalizada com o logótipo do cliente, da empresa produtora das rolhas e com o código de rastreabilidade. Para o efeito, a empresa está equipada com marcadeiras a tinta (certificada para o contacto com géneros alimentares de acordo com o Regulamento (CE) n.º 1935/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de outubro de 2004), a fogo e a laser [27]. Como passo final de produção, as rolhas sofrem um tratamento final que consiste no seu revestimento com parafina e/ou silicone. A parafina visa a impermeabilidade, como também uma certa lubrificação, enquanto o silicone promove apenas a lubrificação, que contribuem para o bom engarrafamento e abertura da garrafa. O tipo de tratamento e dosagem dependem do tipo de vinho, tipo de garrafa, tempo de estágio e tipo de máquina de engarrafamento. Por fim, é feita a **contagem e embalagem** das rolhas, sendo que alguns lotes específicos requerem a passagem por um detetor de metais. As rolhas são armazenadas sob vácuo em sacos de polietileno, com a introdução de SO_2, que inibe o desenvolvimento microbiológico. Posteriormente, são acondicionadas em caixas de cartão para um adequado transporte e entrega ao cliente.

3.3 Caracterização energética

De forma a caracterizar energeticamente a MAS1, foi necessário fazer um levantamento energético em detalhe.

Primeiramente, foram disponibilizadas as faturas energéticas dos últimos anos, de forma a analisar os consumos relativos à produção e inventariar os mesmos. Numa segunda fase,

realizou-se um levantamento dos consumos de cada etapa produtiva bem como de outras áreas consumidoras intensivas, discriminando os consumos por equipamento. O consumo de energia elétrica é transversal a todos os setores produtivos, pelo que, na falta de contadores de energia por setor, efetuaram-se medições de consumo instantâneo com o auxílio de equipamento próprio, nomeadamente os equipamentos Fluke T5-600 e o Fluke 1730 Energy Logger (Apêndice A) que mediram a corrente de cada equipamento, considerando o valor médio de tensão de 400 V. Seguidamente, foi feita uma estimativa dos consumos energéticos anuais, referentes ao ano 2022. Os valores apresentados tratam-se, não obstante, de uma estimativa, tão fiel quanto possível à realidade, considerando horários de funcionamento, registos de produção, cadências dos equipamentos, bem como pausas para manutenções, eventuais anomalias e outros motivos dignos de paragens da produção. Nesse sentido, é ajustado um fator de carga quando este é necessário. Os meses do ano foram considerados ter 23 dias laborais, com a exceção de fevereiro (por ser mais curto), agosto e dezembro (devido a períodos de férias) que apresentam 21, 10 e 18 dias, respetivamente. O preço da eletricidade foi considerado 0,13 €/kWh [24].

3.4 Unidade de produção para autoconsumo

A instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) estava assinalada para o ano 2024, tendo sido adiantada e a sua aplicação iniciou-se em fevereiro de 2023.

Os módulos FV selecionados para o projeto são os *JAM72S30-545/MR* da *JA Solar Holdings Co., Ltd.*, com uma potência de 545 W, e os inversores *MAX 100KTL3-X LV* da *GROWATT New Energy Co., Ltd.*, cuja informação relevante para o dimensionamento do sistema FV apresenta-se na Tabela 3.2. De salientar que os módulos FV são compostos por silício monocristalino.

Tabela 3.2. Características principais dos módulos FV e inversores.

Módulos FV		**Inversor**	
Marca	JA Solar	**Marca**	GROWATT
Modelo	*JAM72S30-545/MR*	**Modelo**	MAX 100KTL3-X LV
η (%)	21,1	**η (%)**	98,4
$P_{máx}$ (W)	545	**$P_{nominal}$ (AC) (W)**	100 000
U_{OC} (STC) (V)	49,75	**$P_{máx}$ (AC) (VA)**	110 000
U_{mp} (V)	41,80	**$U_{máx}$ (DC) (V)**	1 100
I_{mp} (A)	13,04	**$U_{mín}$ (V)**	180
Coeficiente de temperatura de tensão U_{OC} (mV $°C^{-1}$)	-0,275 %/°C	**$I_{máx}$ (A)**	32

Conta-se com a instalação de 654 módulos FV e 3 inversores. A área total do gerador FV totaliza-se em 1 689 m^2 e a potência instalada é de 356,43 kWp.

A instalação dos painéis foi projetada para acontecer nos telhados, visando aproveitar a área desocupada destes. A fábrica possui dois pavilhões com vários telhados de diferentes áreas e inclinações. Alguns possuem chaminés, que também influenciam a instalação dos painéis, devido a uma redução de área disponível bem como o sombreamento criado pelas mesmas. Nas Figuras 3.4 e 3.5 é possível ver o planeamento da instalação dos painéis nos dois pavilhões, especificado pela empresa fornecedora.

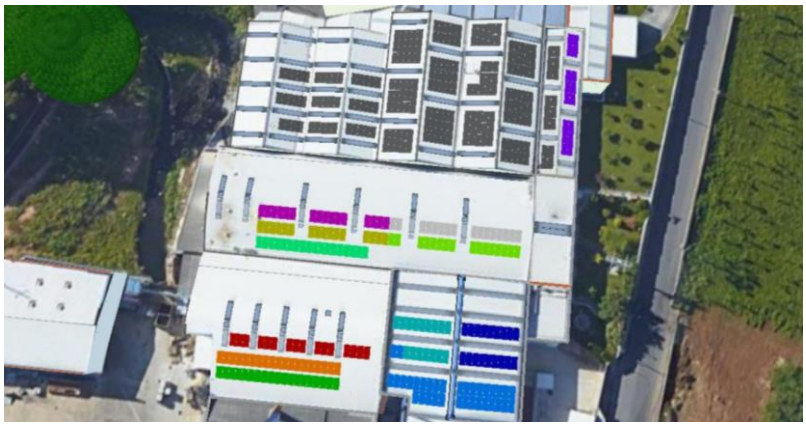


Figura 3.4 – Planeamento da instalação fotovoltaica nos telhados do Pavilhão 1.

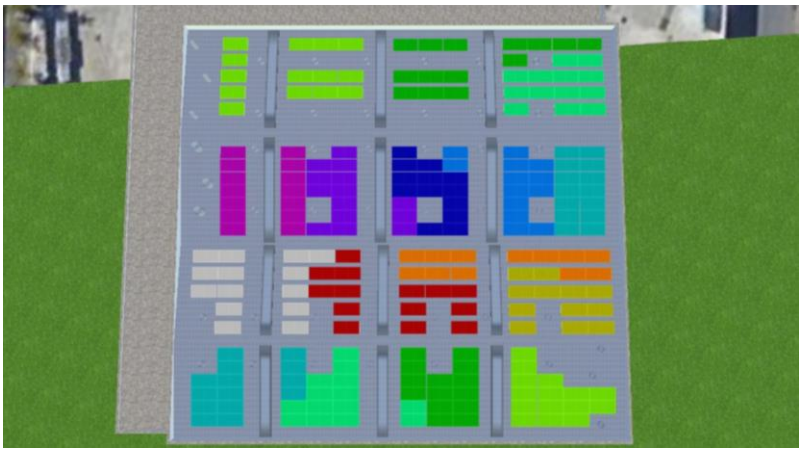


Figura 3.5 – Planeamento da instalação fotovoltaica nos telhados do Pavilhão 2.

De forma a validar este projeto, recorreu-se ao programa PVGIS, um *software online* desenvolvido pelo Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia [29]. Este programa permite obter os valores anuais e mensais da irradiação, estimativa da eletricidade anual e mensal produzida no local, inclinação e orientação ideais para instalação dos painéis. Também se utilizou o *software* PVSOL, desenvolvido pela empresa *Valentin Software* [30], sendo uma ferramenta muito utilizada por diversas empresas de desenvolvimento FV, incluindo a empresa fornecedora desta instalação. Este permitiu uma melhor análise sobre a disposição dos painéis e simulação das estimativas de produção do sistema conforme este foi projetado.

Para compreender a utilidade da UPAC na empresa, calcularam-se os índices de autoconsumo e autossuficiência, através das Equações 3.1 e 3.2:

$$Índice\ de\ autoconsumo = \frac{Energia\ autoconsumida\ da\ UPAC}{Energia\ produzida\ pela\ UPAC} \quad (3.1)$$

$$Índice\ de\ autossuficiência = \frac{Energia\ autoconsumida\ da\ UPAC}{Energia\ elétrica\ total\ consumida\ pela\ empresa} \quad (3.2)$$

Posteriormente, foi feita uma análise económica dos projetos.

3.5 Instalação de caldeira a biomassa

A empresa pretende eliminar o consumo de gás natural (GN) nos setores da Esterilização, Lavação, Revestimento e Secagem da sua produção, assim como o consumo de *pellets* de madeira na etapa de humidificação de cortiça, para passar a utilizar o pó de cortiça, um produto secundário que produz em elevadas quantidades. Para tal, tem como objetivo saber a viabilidade económica da implementação de uma caldeira a biomassa bem como todo o projeto de adaptação ao novo combustível, orçamentado por uma empresa especializada nestes equipamentos. A caldeira proposta é caracterizada conforme apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Caldeira a biomassa orçamentada pela Flucal Caldeiras, S.A.

Tipo	Gastubular
Modelo	APV 170
Fluido	Vapor saturado
Temperatura máx. funcionamento / ºC	191,6
Pressão timbre / bar	12
Produção de vapor / kg h^{-1}	3 500
Consumo combustível (m.m.c) / kg h^{-1}	703
η / %	85,0

Neste sentido, estimou-se o consumo de GN nos setores de interesse, e teve-se em consideração o consumo de *pellets* atual, de forma a calcular o consumo equivalente de pó de cortiça para proceder a esta substituição.

Na Esterilização, o GN é consumido numa caldeira aquotubular que produz vapor, bem como em dois geradores de ar quente. Na Lavação, Revestimento e Secagem, o GN é distribuído por diversos geradores de ar quente. Para obter o consumo de pó de cortiça necessário, calculou-se a energia libertada pela combustão do GN, através da Equação 3.3 [22]:

$$Consumo\ = \frac{Consumo_{GN} \times PCI_{GN} \times \eta_{caldeira\ atual}}{\rho_{GN}} \quad (3.3)$$

Em que *t* representa uma unidade de tempo.

Sabendo a energia libertada, calculou-se a quantidade de pó de cortiça necessária para libertar a mesma quantidade de energia, através da Equação 3.4. É de salientar que não se sabe ao certo a eficiência dos geradores de calor. Nesse sentido, assumiu-se para todos os equipamentos a eficiência da caldeira em uso.

$$Consumo_{pó\ de\ cortiça} = \frac{Consumo}{PCI_{pó\ de\ cortiça} \times \eta_{caldeira}} \tag{3.4}$$

Para a humidificação da cortiça, existe um tanque de cozimento. Através de balanços de massa e energia, calculou-se o caudal de vapor necessário para aquecer a água do tanque. Considerou-se o tanque como um sistema fechado e sem perdas. A Figura 3.6 representa as entradas e saídas do tanque de cozimento.

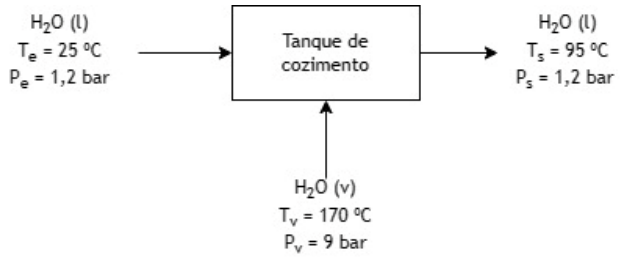


Figura 3.6 - Esquema de entradas e saídas do tanque de cozimento.

O balanço de massa ao tanque é representado pela Equação 3.5:

$$M_S = M_E + M_v \tag{3.5}$$

Sucintamente, a massa final de água é representada pela massa de água inicial e a massa de vapor injetada para aquecer a água fria. Para obter a massa de vapor, efetuou-se um balanço de energia, através da Equação 3.6:

$$M_E \times cp_{H2O}(T_S - T_E) = M_v \times cp_{H2O} \times (T_V - T_S) + M_v \times \Delta H_{vap.} \tag{3.6}$$

Ou seja, o balanço é representado pelo calor latente do vapor, na mudança de fase estado gasoso para o estado líquido, ou seja, a condensação, em que não há variação da temperatura, e pelo calor sensível necessário para diminuir a temperatura do vapor, 170 ºC, até à temperatura final desejada da água, 95 ºC. Através da Equação 3.6 também se pode escrever a Equação 3.7:

$$Q_v = M_v \times cp_{H20} \times (T_V - T_E) + M_v \times \Delta H_{vap.} \tag{3.7}$$

Sabendo o calor contido no vapor, é possível calcular o pó de cortiça necessário para realizar esta operação, através da Equação 3.8:

$$m_{pó\ de\ cortiça} = \frac{Q_v}{PCI_{pó\ de\ cortiça} \times \eta_{caldeira}} \tag{3.8}$$

Posteriormente, foi feita uma análise económica do projeto.

4 Descrição técnica dos resultados

4.1 Levantamento energético

4.1.1 Evolução temporal

Como já foi referido anteriormente, os dados relativos aos consumos energéticos da MAS1 foram disponibilizados pela empresa. Na Figura 4.1 pode-se observar a evolução dos consumos globais de energia bem como da produção ao longo dos últimos 4 anos, de 2019 a 2022.

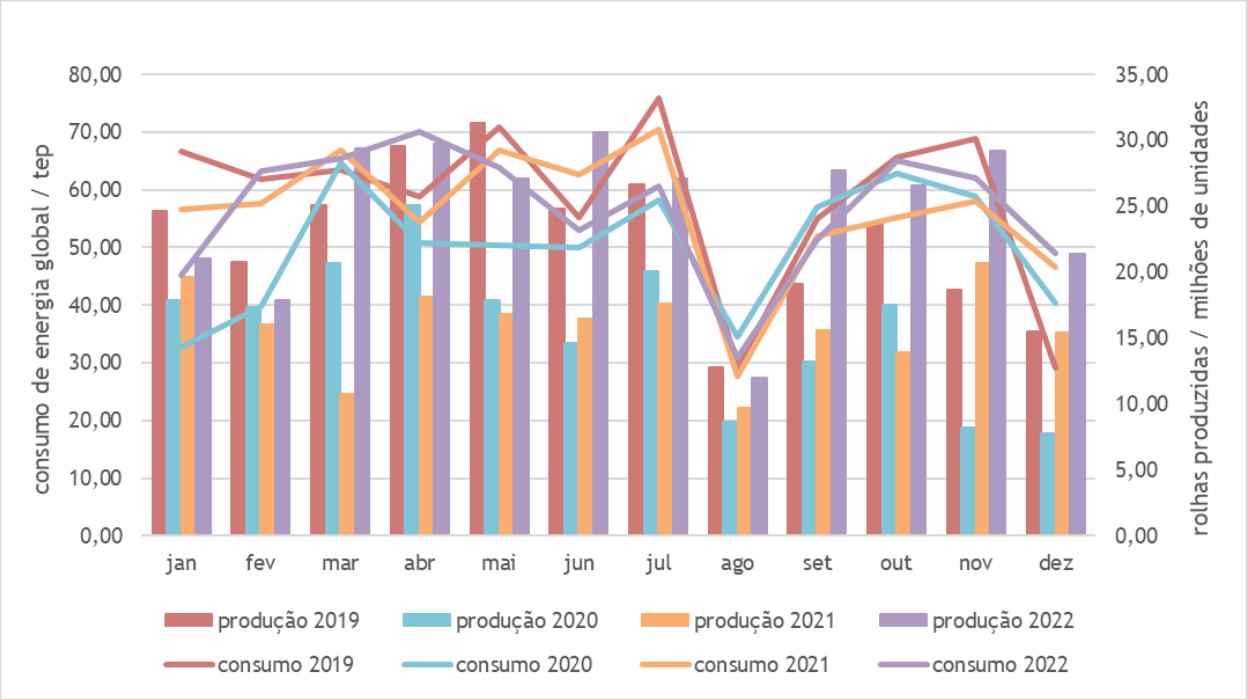


Figura 4.1 - Evolução do consumo energético global (tep) e da produção nos períodos de 2019 - 2022.

Através da Figura 4.1 é possível observar que em 2020, em relação a 2019, o volume de produção desceu consideravelmente em cerca de 30 %, assim como o seu consumo global energético, em cerca de 20 %, encontrando a justificação para esta descida na pandemia que se instalou mundialmente. Em 2021, houve uma subida muito baixa da produção, cerca de 1 % face a 2020, com um aumento do consumo energético em 13 %, comparativamente. Já em 2022, a produção aumentou cerca de 57 % em relação a 2021, e o consumo energético aumentou em 1 %. No entanto, comparando os valores de 2022 com os de 2019, um ano pré-pandémico, verifica-se um aumento da produção em 10 % e uma descida do consumo energético de 10 %, podendo-se constatar que a produção recuperou totalmente dos danos da pandemia e mostra ainda melhorias no seu processo a nível energético.

A MAS1 utiliza na sua globalidade 5 fontes de energia: eletricidade, gás natural, gás propano, *pellets* de madeira e *diesel*. A eletricidade é transversal a todas as zonas da fábrica. O GN é

específico para 4 etapas da produção: a esterilização, a lavação, a secagem, o revestimento e a marcação a fogo. O gás propano é aplicado apenas numa máquina de marcação a fogo e os *pellets* servem de alimentação à fornalha que aquece água para humidificação da cortiça. O *diesel* é usado como combustível dos transportes da empresa. Na Figura 4.2 pode-se observar a distribuição percentual dos consumos energéticos consoante a origem da energia, bem como o peso de energia renovável e não renovável consumida.

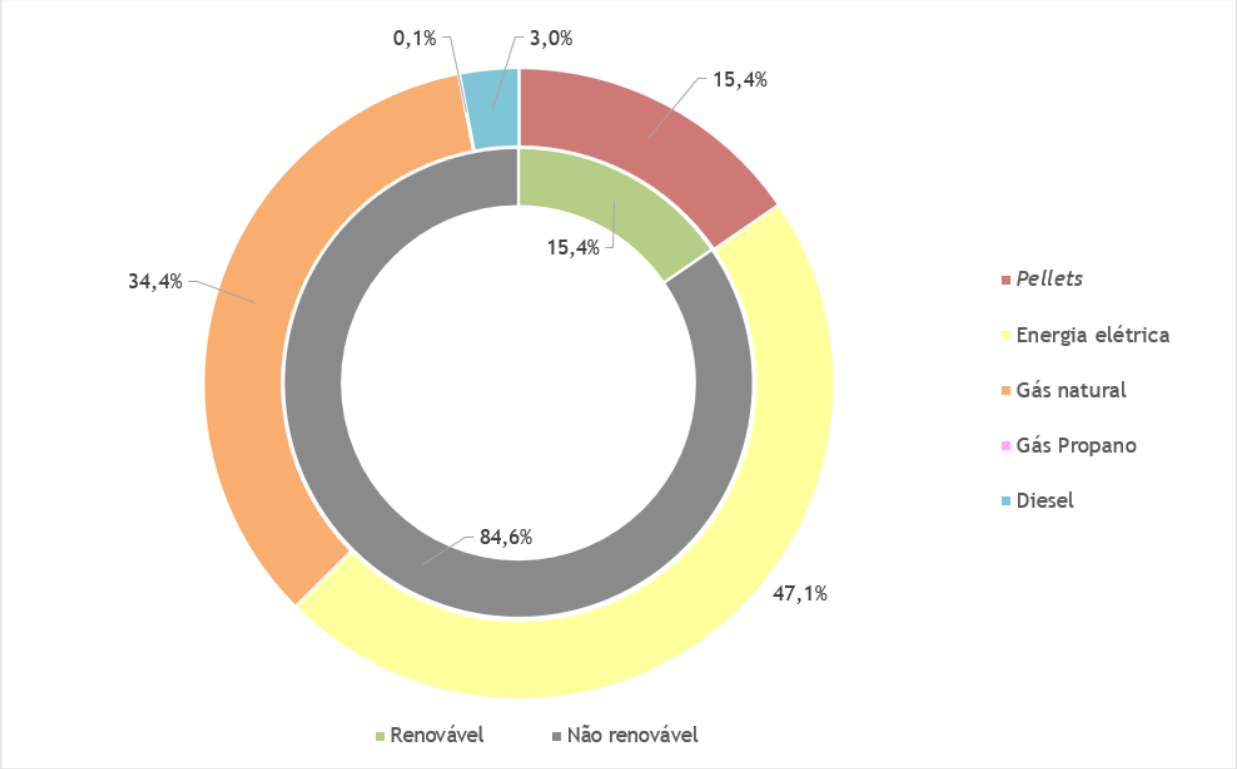


Figura 4.2 – Desagregação do consumo energético por tipo de energia em 2022.

Como se verifica pela Figura 4.2, a percentagem de utilização de energia de fonte não renovável ainda é bastante elevada, representando cerca de 84,6 % do consumo total. A eletricidade é a fonte de energia mais consumida, representando 47,1 % do consumo total. Além disso, o GN é o segundo combustível mais consumido, representando 34,4 % do consumo total. Seguem-se os *pellets*, o *diesel* e o gás propano, por ordem decrescente de consumo, respetivamente.

4.1.2 Indicadores energéticos

Depois de uma auditoria energética realizada em 2020, a empresa planificou o seu PREn, que prevê a implementação de medidas que permitam um período de retorno do investimento igual ou inferior a 3 anos. Além das metas mínimas traçadas pelo PREn, a empresa mostrou ser mais ambiciosa, comprometendo-se a atingir as metas de utilização racional de energia (MURE), conforme apresentado na Tabela 4.1, bem como os indicadores energéticos reais obtidos desde 2020.

Tabela 4.1. Indicadores energéticos segundo as Medidas de Utilização Racional de Energia e reais da empresa.

Indicador	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
IE_{MURE} / kgep €$^{-1}$	0,104	0,104	0,098	0,093	0,086	0,086	0,086	0,086	0,085
IE_{real} / kgep €$^{-1}$	0,104	0,104	0,117	-	-	-	-	-	-
CEE_{MURE} / kgep 1000 un^{-1}	2,967	2,787	2,656	2,441	2,441	2,441	2,441	2,441	2,429
CEE_{real} / kgep 1000 un^{-1}	2,967	3,200	2,151	-	-	-	-	-	-
IC_{MURE} / kg_{CO2e} kgep^{-1}	2,04	2,04	2,02	2,01	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
IC_{real} / kg_{CO2e} kgep^{-1}	2,04	2,10	2,06	-	-	-	-	-	-

Analisando a Tabela 4.1, é possível retirar que apenas o CEE está a cumprir as metas propostas. Os valores de IE e IC ainda precisam de ser melhorados.

4.1.3 Desagregação dos consumos

O levantamento energético permitiu a inventariação dos equipamentos da MAS1. Posteriormente, estimaram-se os consumos energéticos de cada área da produção. Estimou-se que a produção apresentou um consumo de cerca de 1 117 MWh em 2022. A Figura 4.3 apresenta a distribuição dos consumos da produção ao nível percentual referentes.

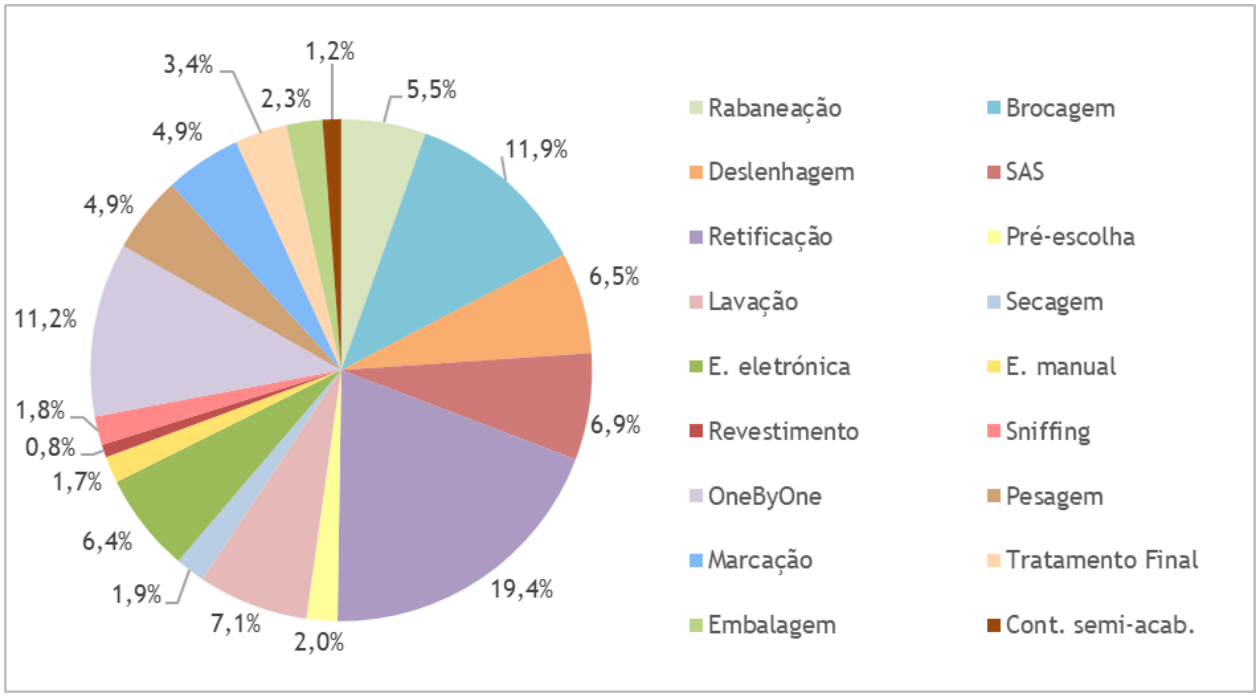


Figura 4.3 - Desagregação dos consumos de eletricidade referentes ao ano 2022.

Como a Figura 4.3 indica, o processo com maior gasto de eletricidade é a Retificação, representando 19,4 % do consumo global de eletricidade da produção. Logo a seguir, tem-se a Brocagem com a segunda maior percentagem de consumo, 11,9 %, e o OneByOne, com 11,2 %.

Já as restantes zonas possuem consumos mais baixos. Além da produção, existem outras zonas consumidoras intensivas de energia, como indica a Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Consumo energético de outras zonas consumidoras intensivas relativo ao ano 2022.

Outros consumos / MWh	**412**
• **Aspiração / MWh**	189
• **Ar Comprimido / MWh**	223

Como se verifica pela Tabela 4.2, a aspiração e o sistema de ar comprimido são zonas consumidoras intensivas e representam, em conjunto, mais de metade do consumo total de eletricidade da produção.

4.2 Identificação de oportunidades de melhoria

4.2.1 Digitalização energética

Com base nos resultados obtidos na Subsecção 4.1.3, aconselha-se a instalação de medidores energéticos que monitorizem o consumo por etapa de produção. A monitorização do consumo do sistema de ar comprimido também é essencial, visto ser um sistema de elevado consumo e sujeito a muitas anomalias/fugas, tornando-se importante monitorizar o consumo deste de forma a detetar qualquer discrepância [31]. Os sistemas de aspiração também são importantes de monitorizar dado o seu elevado consumo.

A alimentação elétrica da empresa é feita em média tensão (MT), sendo a transformação para baixa tensão realizada num posto de transformação composto por dois transformadores, de modo a alimentar dois quadros globais (QGBT), um no pavilhão 1 e um no pavilhão 2. Pela empresa distribuem-se diversos quadros parciais (QP) que possuem diversos setores entre si e que estão conectados aos QGBT dos respetivos pavilhões.

A instalação de contadores elétricos requer um levantamento rigoroso das cargas associadas a cada quadro elétrico, bem como das várias fases do processo a que pertence. A implementação desta medida deve adotar um caráter hierárquico, iniciando pelos contadores do tipo QGBT, seguida dos quadros elétricos parciais e, por fim, nas cargas associadas a cada área. Esta medida irá permitir a monitorização contínua dos consumos elétricos e avaliar custos às várias fases do processo produtivo. Além disso, permitirá o estabelecimento de metas realistas para a redução de consumos, bem como fornecer os dados necessários para detetar ineficiências ao nível dos equipamentos e processos, quer por desajuste do funcionamento das cargas, quer por perda de eficiência das mesas, dando a liberdade de atuar em tempo útil e corrigir as anomalias [2].

Com o intuito de seguir em frente com a implementação desta medida, foram realizadas algumas reuniões com empresas especializadas em digitalização energética.

4.2.2 Implementação de variadores eletrónicos de velocidade

Atualmente, os sistemas de aspiração do pó de cortiça produzido ao longo da produção funcionam sempre com a mesma velocidade, havendo uma excedência de trabalho e, por consequência, de consumo de energia em alturas em que a produção não esteja a funcionar ao máximo. Nesse sentido, é do interesse da empresa instalar VEV nos motores da aspiração, para que esta possa ser controlada consoante as necessidades da produção.

Ao regular a velocidade de rotação dos motores, os VEV proporcionam menor desgaste dos componentes mecânicos, menor ruído de operação e substancial poupança de eletricidade. As taxas de poupança que se obtêm através destes aparelhos são difíceis de estimar. Segundo *Almeida et al. (2005)*, a utilização de VEV pode reduzir em 10 a 20 % os consumos de energia elétrica. Para regimes de operação superiores a 8 400 horas por ano, as poupanças podem ser muito consideráveis [3].

4.3 Unidade de produção para autoconsumo

Uma das questões mais relevantes na instalação de uma UPAC é a boa gestão da produção face à produção da fábrica, de forma a coincidir a produção com os picos de produção. Neste caso, a UPAC a instalar será conectada à rede, para que o excedente de energia produzida seja vendido e, nos períodos de falta, a eletricidade seja adquirida. O objetivo principal passa por reduzir a quantidade de excedente vendido. Antes de passar à análise do sistema FV, é importante compreender os consumos de eletricidade da empresa.

4.3.1 Análise do consumo energético

A potência contratada de 372 kVA corresponde a um contrato de Média Tensão Normal. O contrato compreende um ciclo tetra-horário semanal, ou seja, o preço cobrado por kWh de energia consumida varia em função da altura do dia (horas de ponta, cheia, vazio e super-vazio). Os preços de cada regime também variam conforme as oscilações do mercado, tendo sido selecionados os preços de um mês exemplo, como mostra a Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Tarifário de eletricidade para a empresa.

Parcela	Custo	Parcela	Custo
Audiovisual / € mês^{-1}	2,85	**Potência contratada / € kW^{-1}**	0,016100
Ponta / € kWh^{-1}	0,127153	**Potência horas de Ponta / € kWh^{-1}**	0,219800
Cheia / € kWh^{-1}	0,145688	**Reativa consumida / € kVArh^{-1}**	0,004500
Vazio / € kWh^{-1}	0,132312	**Ajuste DL nº33 2022 / € kWh^{-1}**	0,051170
Super Vazio / € kWh^{-1}	0,132984	**-**	-

Os valores apresentados na Tabela 4.3 não incluem IVA, 6 % para o Audiovisual e de 23 % para os restantes. No entanto, a Guerra entre a Ucrânia e a Rússia provocou grande instabilidade no setor da energia, dentro dos quais, o aumento do preço dos combustíveis, que veio impactar inequivocamente diversos setores da atividade económica e nos consumos das empresas e da população em geral. Nesse sentido, foi redigido o Decreto-Lei nº 33/2022, de 14 de maio, que estabelece um mecanismo excecional e temporário e visa a mitigação da atual instabilidade económica em Portugal [32]. De forma a compreender melhor a utilização energética da fábrica, estudou-se o uso que se faz de cada um dos regimes do tarifário, apresentando o resumo desta análise na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Carga de uso do tarifário de eletricidade.

Regime	Carga horária (%)	Consumo energético (%)	Custo (%)
Ponta	15,9	15,7	10,1
Cheia	55,0	53,8	35,5
Vazio	12,5	16,5	9,5
Super Vazio	16,7	14,0	7,1

A Tabela 4.4 divide-se em três categorias: carga horária, que representa o volume de horas, das 8 760 horas anuais, por cada regime; consumo energético, que representa o peso do consumo total da empresa por cada regime; e o custo que cada regime apresenta face aos consumos gerados por cada regime. A fatura anual de eletricidade teve um custo de 208 942 €, representando um consumo total de 1 529 MWh. Analisando a coluna dos custos, verifica-se que 37,8 % dos custos são para cobrir a potência contratada, a energia reativa, a contribuição audiovisual, o IVA e o ajuste de preço do mercado segundo o Decreto-Lei nº 33/2022. A energia reativa isolada consumida teve um peso de 0,15 % na fatura anual. Mais de 50 % do consumo realiza-se no período de Cheia, como seria de esperar, dado que também é o regime com maior carga horária.

Para uma melhor compreensão dos consumos, recorreu-se à análise das faturas de eletricidade disponibilizadas pela E-Redes. Analisaram-se os consumos mensais referentes ao ano 2022, bem como a sua potência média mensal (Figura 4.4).

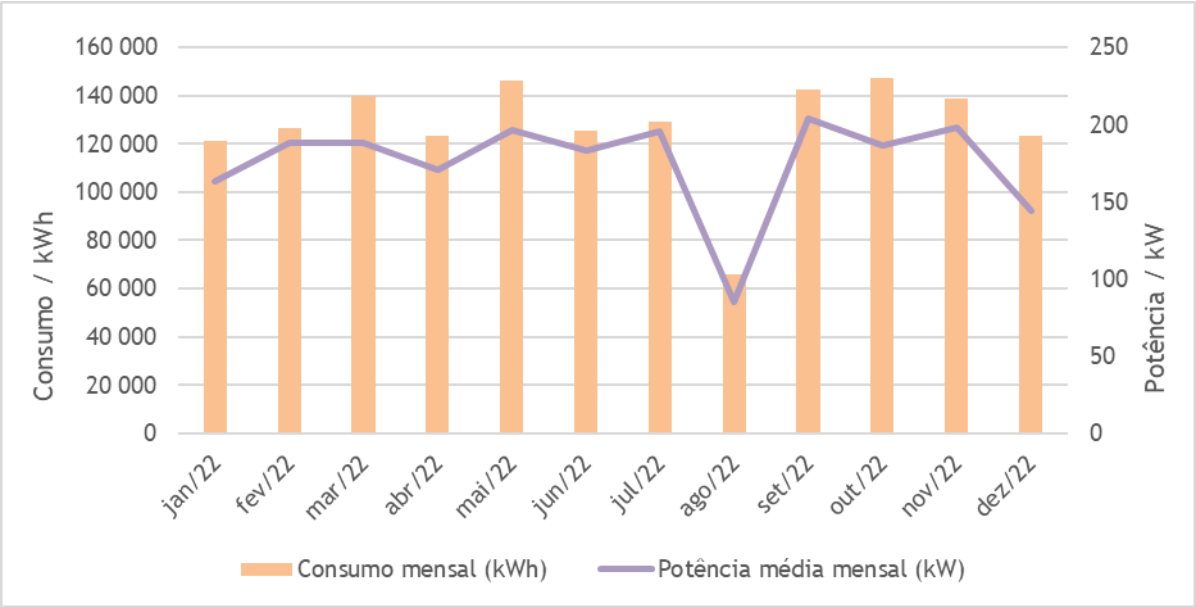


Figura 4.4 - Consumo e potência elétrica média mensal referente ao ano 2022.

Observando a Figura 4.4, retira-se que o consumo mensal varia pouco de mês para mês, com a exceção do mês de agosto, que para 15 dias para férias. Em dezembro, existe também uma paragem de uma semana para férias, embora esse período de pausa não se reflita notoriamente nos consumos. O consumo médio mensal traduz-se em 127 MWh.

É importante averiguar também a variação do consumo de eletricidade por cada hora do dia, de forma a conhecer o consumo de um dia típico da empresa. A Figura 4.5 mostra o perfil de potência usual ao longo de 24 h, de segunda a domingo.

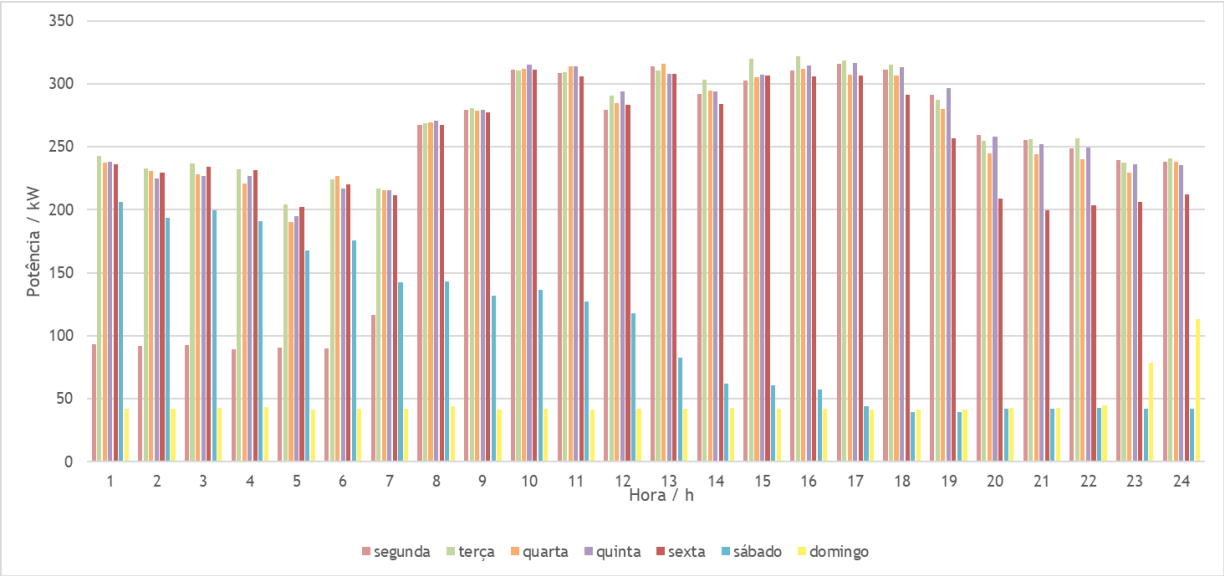


Figura 4.5 - Perfil de potência elétrica ao longo de uma semana típica em kW.

A partir da Figura 4.5 é possível perceber o funcionamento habitual da empresa ao longo da semana. Por norma, a fábrica trabalha a partir de segunda-feira às 6 h até ao sábado, usualmente a terminar às 12 h, com algumas exceções que poderá funcionar até por volta das 16 h. O domingo é dia de folga, podendo haver alguns turnos a começar às 22 h, verificando-se, por isso, um incremento na potência registada. A partir das 17 h, a potência consumida desce, dado que alguns setores não trabalham nos turnos da tarde e da noite. No Apêndice B é possível consultar o desvio-padrão da amostra analisada na forma de tabela. O consumo energético desvia-se em maior grau da média registada nos períodos relativos ao turno da noite de domingo para segunda-feira, uma vez que nem sempre há necessidade da operação desse turno, notando-se o mesmo ao sábado.

4.3.2 Simulação de produção FV

Sabendo o perfil de consumo habitual da empresa, é necessário estimar a produção da energia solar que se obtém com os painéis solares. De acordo com a inclinação e orientação dos painéis e o auxílio do software *PVGIS* foi possível estimar a produção de energia FV anual. Como já foi referido na Subsecção 2.2.3, em Portugal, a inclinação e o ângulo azimute ótimos são 35 ° e 0 °, respetivamente, servindo estes parâmetros como termo de comparação, como mostra a Tabela 4.5 [17, 29].

Tabela 4.5. Estimativa de produção de eletricidade mensal por cada painel FV.

ID	nº módulos	Inclinação	Orientação	FV produzido / kWh	Comparação
ideal	654	35 °	Sul 0 °	580 470	100,00 %
1	16	10 °	Sudoeste 66 °	12 540	2,16 %
2	26	13 °	Nordeste -114 °	18 329	3,16 %
3	14	13 °	Nordeste -114 °	9 870	1,70 %
4	14	13 °	Nordeste -114 °	9 870	1,70 %
5	26	13 °	Nordeste -114 °	18 329	3,16 %
6	36	13 °	Sudoeste 66 °	28 406	4,89 %
7	26	10 °	Sudoeste 66 °	20 377	3,51 %
8	14	13 °	Sudoeste 66 °	11 047	1,90 %
9	15	10 °	Nordeste -114 °	10 773	1,86 %
10	15	10 °	Sudoeste 66 °	11 756	2,03 %
11	14	10 °	Nordeste -114 °	10 055	1,73 %
12	28	6 °	Sul -20 °	22 219	3,83 %

ID	nº módulos	Inclinação	Orientação	FV produzido / kWh	Comparação
13	13	6 º	Sul -20 º	10 316	1,78 %
14	14	5 º	Sul -20 º	11 033	1,90 %
15	26	5 º	Sul -20 º	20 489	3,53 %
16	28	5 º	Sul -20 º	22 065	3,80 %
17	28	5 º	Sul -20 º	22 065	3,80 %
18	24	5 º	Sul -20 º	18 913	3,26 %
19	15	5 º	Sul -20 º	11 821	2,04 %
20	28	5 º	Sul -20 º	22 065	3,80 %
21	14	5 º	Sul -20 º	11 033	1,90 %
22	36	5 º	Nordeste -114 º	26 606	4,58 %
23	16	10 º	Nordeste -114 º	11 491	1,98 %
24	32	10 º	Sudeste -24 º	25 976	4,48 %
25	16	11 º	Sudeste -24 º	13 059	2,25 %
26	19	14 º	Sudeste -24 º	15 740	2,71 %
27	32	14 º	Sudeste -24 º	26 510	4,57 %
28	19	18 º	Sudeste -24 º	15 996	2,76 %
29	18	18 º	Sudeste -24 º	15 154	2,61 %
30	32	5 º	Sudoeste 66 º	24 715	4,26 %
		Total		**508 615**	**87,62 %**

Analisando a Tabela 4.5, a instalação dimensionada consegue obter 87,62 % da produção que nos seus parâmetros ideais obteria.

Através do software PVSOL, foi possível simular a produção FV do sistema proposto, de forma a estudar as produções e consumos mensais obtidas. A Figura 4.6 apresenta a previsão do rendimento com os consumos da empresa, nomeadamente a energia FV consumida, o consumo da rede necessário, a energia injetada FV na rede e o consumo total da empresa.

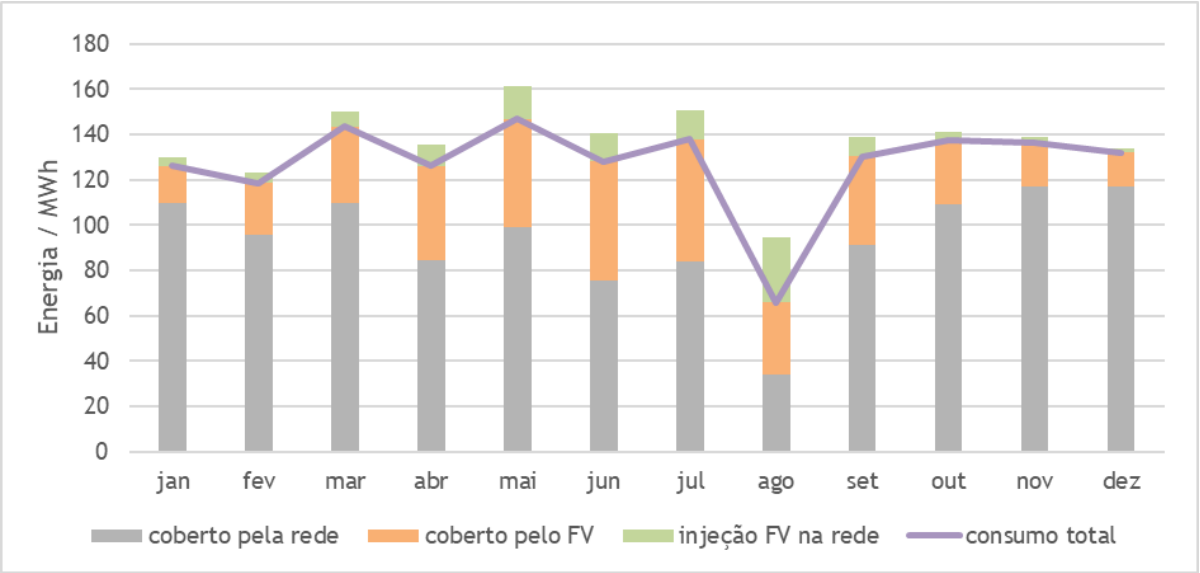


Figura 4.6 - Previsão do consumo de eletricidade coberto pelo sistema FV e da injeção de energia elétrica excedente na rede.

Observando a Figura 4.6 é possível observar a distribuição da energia consumida fornecida pela rede e pelo sistema FV e a energia produzida em excesso injetada na rede. O sistema FV produz 512 MWh anualmente, sendo que 403 MWh são autoconsumidos e 109 MWh injetados nada rede. A empresa passa a consumir da rede 1 126 MWh de eletricidade, comparativamente aos 1 529 MWh que seriam adquiridos da rede sem o sistema FV.

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam o consumo da empresa, o autoconsumo FV e a injeção na rede numa semana típica dos meses de menor e maior produção FV, dezembro e julho, respetivamente.

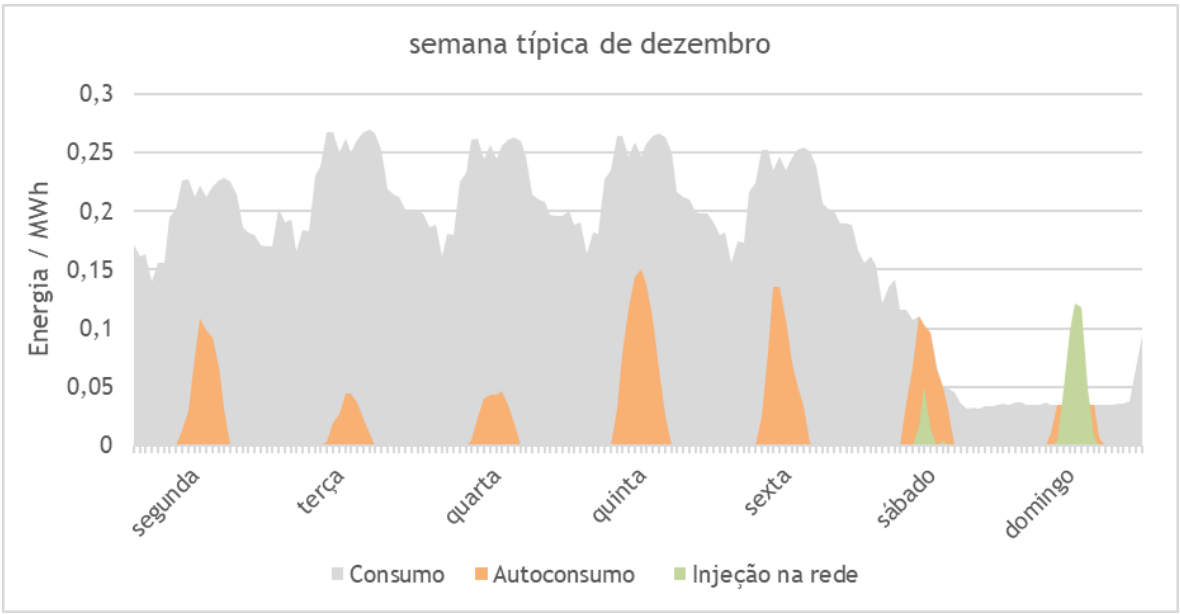


Figura 4.7 - Comparação do consumo de eletricidade da empresa, autoconsumo FV e injeção de FV na rede numa semana típica do mês de dezembro.

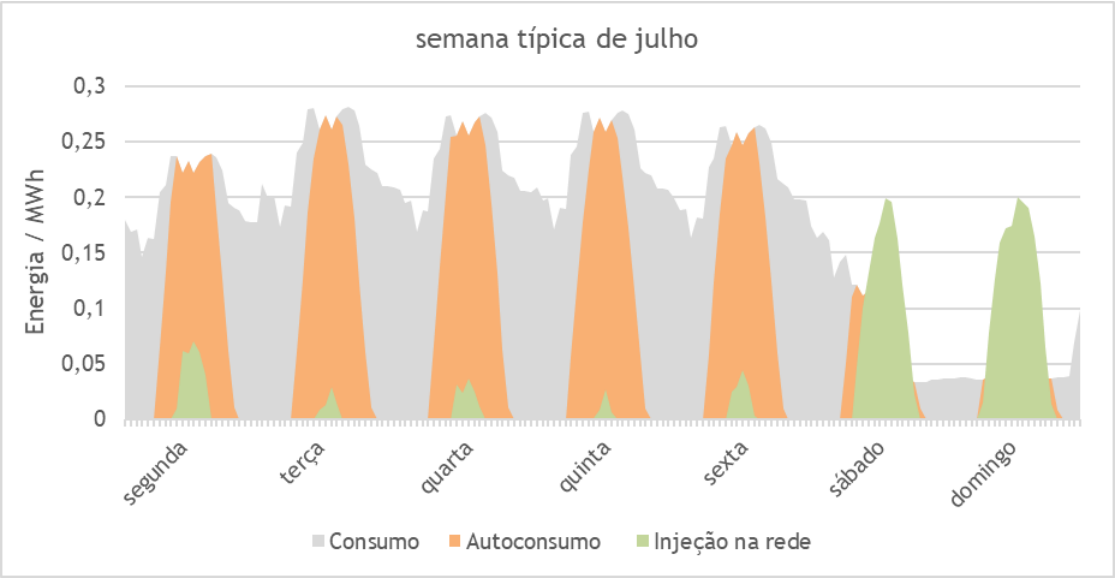


Figura 4.8 – Comparação do consumo de eletricidade da empresa, autoconsumo FV e injeção de FV na rede numa semana típica do mês de julho.

Através das Figuras 4.7 e 4.8 é possível ver que nos meses mais frios, a produção FV é mais baixa, havendo total aproveitamento desta durante a semana e injeção do excedente de energia produzida aos fins de semana. Nos meses mais quentes, há uma maior produção FV e consequente maior injeção de energia na rede aos fins de semana, chegando a haver injeção de energia em excesso durante os dias úteis. A Tabela 4.6 apresenta o resumo da previsão de rendimentos com consumo do sistema FV.

Tabela 4.6. Resumo da previsão da eletricidade produzida pelo sistema FV e dos respetivos índices de autoconsumo e autossuficiência.

Consumo da empresa / MWh	1 529
Energia do gerador FV / MWh	512
Índice de autoconsumo / %	78,7
Índice de autossuficiência / %	26,4

Como se verifica pela Tabela 4.6, a instalação do sistema FV permite obter um índice de autoconsumo de 78,7 %, ou seja, cerca de ¾ da energia produzida pelo sistema FV é consumida pela empresa, sendo que os restantes 21,3 % da energia produzida é injetada na rede. Além disso, apresenta um índice de autossuficiência de 26,4 %, reduzindo assim a dependência da rede elétrica.

4.3.3 Análise económica

Para analisar a rentabilidade do projeto determinaram-se e analisaram-se quatro indicadores financeiros: o Valor Atual Líquido (VAL), o *Período de Retorno* (PR), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e o Índice de Rentabilidade (IR). O VAL representa a diferença entre os

valores atualizados de todas as despesas e receitas de um projeto em relação a um momento comum. A TIR é a taxa máxima de retorno do projeto e corresponde à taxa de atualização que torna o VAL igual a zero. O PR representa o tempo necessário para o investidor reembolsar o capital investido. Por último, o IR expressa a relação entre o dinheiro ganho ou perdido como resultado de um investimento e a quantidade de dinheiro investido [33].

Com base nas estimativas de produção FV, estimou-se também a energia autoconsumida e a energia injetada na rede, calculando as receitas geradas por estas. Considerou-se uma taxa de degradação dos módulos de 0,55 % [34] e uma taxa de inflação de 2 % ano^{-1} para o preço da eletricidade. O preço de venda da eletricidade foi estabelecido em 0,15 € kWh^{-1} para o primeiro ano. Relativamente às despesas geradas pelo sistema, o contrato infere que nos primeiros 2 anos não haverá custos de manutenção. A partir do 3º ano de produção, estimou-se um custo de 1 787,00 € ano^{-1} para as manutenções, aplicando-se uma taxa de inflação de 0,07 % ano^{-1} nesta despesa. Além disso, cada MWh produzido custa 0,0207 €. A taxa de juro (*i*) foi estabelecida em 12 %.

O investimento no sistema FV é de 240 000 €. Sendo este um valor elevado, avaliou-se a viabilidade económica deste projeto em dois cenários. O primeiro cenário avalia o investimento pago na sua totalidade no momento zero, enquanto o segundo reflete um empréstimo bancário, no valor de 75 % do investimento total e 25 % correspondente a capital próprio. Admite-se uma taxa de juro de 12 % ao banco e o empréstimo é feito para o prazo de 10 anos. Geralmente, os sistemas FV possuem tempos de vida útil entre os 20 e 25 anos [14]. Neste caso, o sistema proposto possui uma garantia de vida útil de 25 anos [34]. No entanto, a análise económica é analisada a 10 anos, uma vez que um empréstimo feito para o prazo de 25 anos não seria vantajoso. A Tabela 4.7 (página 31) apresenta os dados do investimento e os indicadores financeiros para ambos os cenários. Os indicadores apresentados foram calculados a partir do mapa de cash-flows apresentado no Apêndice D.

Da Tabela 4.7 pode-se retirar as seguintes conclusões:

- Pagamento da totalidade do investimento na aquisição

Nota-se que: VAL > 0 (1 334 500 € > 0); PR < n (3 anos e 4 meses < 10 anos); TIR > *i* (27,64 % > 12 %) e IR > 1 (1,71 > 1). O projeto é possível de reembolsar em 3 anos e 4 meses.

- Empréstimo bancário no valor de 75 % do investimento total

Retira-se que: VAL > 0 (1 109 732 € > 0); PR < n (4 anos e 3 meses < 10 anos); TIR > *i* (20,43 % > 12 %) e IR > 1 (1,39 > 1). Contraindo um empréstimo ao banco no valor de 180 000 € e uma taxa de juro de 12 % ano^{-1}, o projeto é possível de reembolsar em 4 anos e 3 meses.

Tabela 4.7. Investimento no sistema FV.

S/ empréstimo		C/ empréstimo	
VAL / € ano^{-1}	1 334 500	**VAL / € ano^{-1}**	1 109 732
PR / anos	3,3	**PR / anos**	4,2
TIR / %	27,64	**TIR / %**	20,43
IR	1,71	**IR**	1,39
Investimento / €	240 000	**Investimento / €**	240 000
-	-	**Empréstimo / €**	180 000
-	-	**Capital Próprio / €**	60 000
-	-	**Juros / €**	138 572

4.4 Instalação de caldeira a biomassa

Como anteriormente exposto, o intuito desta secção é avaliar a viabilidade da substituição da caldeira a GN existente, por uma alimentada a biomassa. Neste caso, o combustível de alimentação é o pó de cortiça, produzido como produto secundário da MAS1. Esta solução valoriza tanto a sustentabilidade como a eficiência energética. Além de prezar a redução e despromoção da utilização de combustíveis fósseis em prol do uso de outros mais ecológicos, também promove a economia circular. A aposta no pó de cortiça permite o reaproveitamento de resíduos do processo de fabrico, criando valor a um resíduo que é produzido em grandes quantidades.

4.4.1 Análise dos consumos energéticos

No ano de 2022, registou-se um consumo global de 260 402 Nm^3 (metros cúbicos em condições PTN: 0 ºC e 1 atm) de GN, o que corresponde a 3 034 MWh. O consumo de GN está distribuído pelas etapas de Esterilização, Lavação, Secagem, Revestimento e Marcação e também é utilizado para o aquecimento de água para uso comum. A instalação da caldeira visa a eliminação do consumo de GN para produção de vapor, relativo à etapa da Esterilização, e para produção de ar quente, relativo às etapas da Esterilização, Lavação, Revestimento e Secagem, ficando apenas a Marcação a consumir GN. Além disso, pretende-se que sirva para o aquecimento de água do tanque de cozimento das placas de cortiça, que é, atualmente, alimentada a *pellets*.

Foi analisado o consumo horário de GN ao longo de 3 dias diferentes, durante o horário de trabalho normal, das 8h30 às 17h30. Na Tabela 4.8 apresentam-se os resultados dessa análise.

Tabela 4.8. Consumos globais de gás natural.

Consumo de gás natural	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
$Nm^3\ h^{-1}$	43,3	54,3	31,1	5,6

Como se verifica pela Tabela 4.8, em média, gasta-se 43,3 $Nm^3\ h^{-1}$ de GN, com um desvio padrão de 5,6 $Nm^3\ h^{-1}$.

De forma a perceber as necessidades de GN é necessário distribuí-lo pelos vários pontos consumidores. A Tabela 4.9 apresenta o resumo da distribuição dos consumos de GN.

Tabela 4.9. Distribuição do consumo de gás natural pelos vários processos.

Consumo	Produção de vapor	Geração de ar quente	Marcação (queima direta)
($Nm^3\ h^{-1}$)	18,0	21,0	5,0
($Nm^3\ ano^{-1}$)	110 592	123 770	26 040
(%)	42,0	48,0	10,0

Como se pode observar pela Tabela 4.9, quase metade do consumo do GN é distribuído pelos geradores de ar quente, e outra grande parcela na produção de vapor, sobrando apenas 10 % para a Marcação. Na falta de medidores de GN nos pontos de consumo, com o apoio dos colaboradores da empresa, mediu-se o consumo de GN da Esterilização no contador global, num período de 5 h a um sábado, período em que nenhum outro setor estava a consumir GN. Obteve-se um consumo médio de 25,0 Nm^3 de GN por hora. Dado que na Esterilização se utiliza a caldeira e dois geradores de ar quente, assumiu-se que o gasto de GN para produção de vapor é em média de 18,0 $Nm^3\ h^{-1}$, o que equivale a 42 % do consumo de GN global. Estima-se que a Marcação represente 10 % do consumo global de GN, o que corresponde a 5,0 $Nm^3\ h^{-1}$. Os restantes 48 % são distribuídos pelos geradores de ar quente, o que corresponde a cerca de 21,0 $Nm^3\ h^{-1}$. O GN também é utilizado para o aquecimento de água através de termoacumuladores. No entanto, não foi considerado dado o seu peso insignificante comparativamente aos processos produtivos. A substituição do GN na produção de vapor e na geração de ar quente reduziria em 90 % o consumo de GN.

A Tabela 4.10 apresenta o consumo de *pellets*.

Tabela 4.10. Distribuição do consumo de gás natural pelos vários processos.

Consumo	t $mês^{-1}$	t ano^{-1}
Pellets de madeira	24,0	288,0

Como se pode observar pela Tabela 4.10, todos os meses são consumidos 24 toneladas de *pellets* de madeira, o que se traduz em 288 toneladas anuais de *pellets* de madeira.

4.4.2 Transição do gás natural e *pellets* de madeira para pó de cortiça

Atualmente, encontra-se em funcionamento uma caldeira aquotubular para a produção de vapor que serve para a desinfeção das rolhas nas estufas de esterilização. Além disso, existem geradores de ar quente nos setores da Esterilização, Lavação, Revestimento e Secagem, nomeadamente, um gerador por equipamento. As características dos equipamentos são apresentadas na Tabela 4.11.

Tabela 4.11. Características da caldeira e geradores de ar quente atuais.

Equipamento	Caldeira aquotubular	Gerador de ar quente
Marca	Flucal	-
Modelo	FVR 600	-
Fluido	Água/Vapor	Água/Vapor
Potência Calorífica / kW	445	-
Caudal térmico / kW	-	90,0 – 170,0
Temperatura Máxima de Serviço / °C	175	-
Pressão Máxima de Serviço / bar	8	-
Capacidade / L	327	-

Como se verifica pela Tabela 4.11, a caldeira atual está dimensionada para libertar 445 kW através da combustão do GN. Já os geradores de ar quente, no total 11, possuem caudais térmicos variados, entre 90 e 170 kW.

Para verificar o correto dimensionamento do novo equipamento, é necessário ter em conta as necessidades energéticas da empresa e os consumos mínimos correspondentes de biomassa. A Tabela 4.12 apresenta a comparação das necessidades de pó de cortiça às de GN, com base nos consumos de 2022, referente aos processos de produção de vapor e geração de ar quente. O Apêndice C permite ver em maior detalhe estes consumos, com base na forma de cálculo apresentada na Secção 3.5.

Tabela 4.12. Necessidades de gás natural e equivalentes de pó de cortiça.

Consumo de GN / kg ano^{-1}	Consumo de GN / kg h^{-1}	Qtd. necessária de pó de cortiça / kg ano^{-1}	Qtd. necessária de pó de cortiça / kg h^{-1}
280 666	46,4	604 187	100,0

O poder calorífico inferior (PCI) do GN é de 9 519 kcal kg^{-1} e o PCI do pó de cortiça é de 4 895 kcal kg^{-1}. Analisando a Tabela 4.12, pode-se retirar que as necessidades de pó de cortiça são mais do dobro das necessidades de GN, o que seria de esperar, dado que o PCI do GN é cerca

de 2 vezes superior ao do pó de cortiça. Em suma, para substituir o GN nos pontos assinalados, serão necessárias 618 toneladas por ano de pó de cortiça.

Pretende-se que o aquecimento do ar seja realizado pelo intermédio de permutadores de calor, utilizando o vapor como fluido de aquecimento. Com base na literatura revista na Secção 2.3, o coeficiente global de transferência de calor para o sistema vapor-ar possui valores bastante superiores. Com base nas temperaturas dos fluidos de aquecimento, calculou-se o intervalo da transferência de calor por unidade de área, como indicado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13. Comparação da transferência de calor por unidade de área.

	Permuta gás-ar	**Permuta vapor-ar**
T_{ar} (°C)	25	
T_{fluido} (°C)	260	170
Q/A (W m^{-2})	2 350 – 9 400	4 350 – 43 500

Analisando a Tabela 4.13, verifica-se que o intervalo de valores obtido para o calor transferido por unidade de área é muito superior para a permuta vapor-ar, comparativamente à permuta gás-ar, mesmo operando a uma temperatura mais baixa. Isto significa que a transferência de calor no sistema vapor-ar é mais eficiente que no anterior.

Para a humidificação da cortiça existe um tanque de cozimento, com uma capacidade de 250 toneladas, em que a água é aquecida através da queima direta de *pellets* de madeira numa fornalha. Visa-se a instalação de um aspersor que injete o vapor diretamente no fundo do tanque de cozimento, substituindo os *pellets* e alterando o sistema de aquecimento. Através de um balanço de massa ao tanque, é possível determinar a quantidade de vapor necessária para aquecer a água do tanque fechado. A Tabela 4.14 apresenta o resumo dos resultados obtidos, cujos cálculos se apresentam no Apêndice C, com base na forma de cálculo apresentada na Secção 3.5.

Tabela 4.14. Resultados do balanço mássico.

Condições de operação		**Resultados do balanço**	
$M_{água,f}$ / kg	250 000	**$M_{água,i}$ / kg**	222 474
$T_{i,\ água}$ / °C	25	**M_{vapor} / kg**	27 526
$T_{f,\ água}$ / °C	95	**$m_{pó\ de\ cortiça}$ / kg**	4 206
T_{vapor} / °C	175	-	-

Analisando a Tabela 4.14, verifica-se que, por renovação da água do tanque, ou seja, para aquecer 250 000 kg de água até 95 °C, é necessário encher o tanque com 222 474 kg de água fria, e injetar 27 526 kg de vapor para aquecer a mesma. Isto traduz-se numa necessidade de

4 206 kg de pó de cortiça para alimentar a caldeira. É de notar que a caldeira proposta na Secção 3.5 possui uma capacidade de consumo de 703 kg h^{-1}. Para que esta adaptação fosse possível e visando realizar o projeto completo, o aquecimento da água teria de ter uma duração de 7 horas, passando a ter um consumo de 600 kg h^{-1} de pó de cortiça, somando os 100 kg h^{-1} para as restantes utilizações, perfazendo 700 kg h^{-1}. Considerando que apenas se realizam algumas renovações totais de água por mês, a opção por esta solução não é a mais adequada.

Outra solução seria substituir os *pellets* de madeira pelo pó de cortiça (atualmente consome-se cerca de 24 toneladas por mês), mantendo o sistema atual. O pó de cortiça possui um PCI de 4 895 kcal kg^{-1}, comparativamente ao PCI dos *pellets* de madeira de 4 019 kcal kg^{-1} [35]. Dado que o PCI do pó de cortiça é mais elevado, será necessária uma menor quantidade deste combustível comparativamente aos *pellets*.

4.4.3 Instalação do projeto

Neste sentido, analisou-se o projeto da caldeira em estudo apenas para a substituição do consumo de GN dos setores da Esterilização, Lavação, Revestimento e Secagem. A Tabela 4.15 apresenta o resumo dos consumos e custos associados ao GN, fazendo uma comparação com as necessidades equivalentes de pó de cortiça.

Tabela 4.15. Consumos/necessidades e custos de GN, pellets de madeira e pó de cortiça.

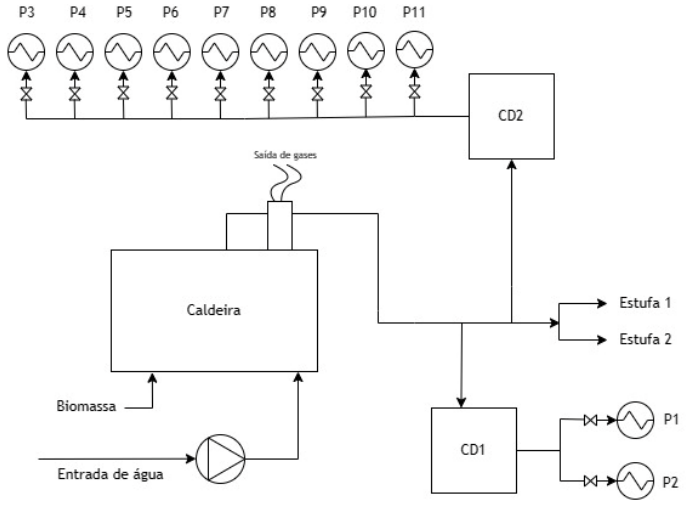
Combustível	Consumo/Necessidades	Custo
Gás natural	234 362 Nm^3	328 106 €*
Pó de cortiça	604 187 kg	-
internamente	616 432 kg	0,00 €

*Custo estimado do GN nos pontos a substituir.

A fatura global anual de GN em 2022 totalizou-se em 364 710 €, apresentando-se na Tabela 4.15 uma estimativa do custo de GN, em relação aos pontos de interesse, de cerca de 328 106 €. O custo do GN foi estabelecido em 0,13 € kWh^{-1} [36]. Com base nos resultados obtidos, retira-se que as necessidades de pó de cortiça anuais são cerca de 604 187 kg. A empresa já produz pó de cortiça como produto secundário, bem como recebe outra parcela de outros clientes que não a necessitam. No período de 1 ano, a empresa teve à disposição 616 432 kg de pó de cortiça. Isto significa que possui pó de cortiça suficiente para as necessidades.

Considerando apenas a substituição do GN na instalação deste equipamento, a caldeira proposta está sobredimensionada, visto que os processos requerem um consumo mínimo de 100 kg h^{-1}. Neste sentido, assumiu-se uma capacidade de consumo de pó de cortiça de 200 kg h^{-1}, permitindo assim que haja crescimento futuro da empresa e, consequentemente, do consumo de pó de cortiça na caldeira.

Na Figura 4.9 apresenta-se um esquema exemplificativo deste projeto (não desenhado à escala real).



Legenda:
CD1 – Coletor de distribuição 1;
CD2 – Coletor de distribuição 2;
P1 – Permutador de calor estufa 1;
P2 – Permutador de calor estufa 2;
P3 – Permutador de calor lavação 1;
P4 – Permutador de calor lavação 2;
P5 – Permutador de calor lavação 3;
P6 – Permutador de calor lavação 4;
P7 – Permutador de calor revestimento 1;
P8 – Permutador de calor revestimento 2;
P9 – Permutador de calor secagem;
P10 - Permutador de calor estufa de secagem 1;
P11 - Permutador de calor estufa de secagem 2.

Figura 4.9 – Esquema exemplificativo do projeto da instalação da caldeira a biomassa.

Analisando a Figura 4.9, espera-se que seja instalada uma caldeira a biomassa que irá produzir o vapor desejado e enviado para as estufas de Esterilização, como já é feito atualmente. Visa-se a instalação de permutadores de calor (P1 e P2) bem como a tubagem de ligação, com um coletor de distribuição (CD1) entre a fonte e os pontos de consumo. Idealiza-se a mesma aplicação no setor da Lavação, Secagem e Revestimento, instalando permutadores de calor novos (P3 a P11), com um segundo coletor de distribuição (CD2) e a respetiva tubagem de ligação a anteceder os permutadores. A entrada de vapor nos pontos de consumo será regulada por uma válvula ON/OFF e uma sonda de temperatura.

4.4.4 Produção de cinzas

Um fator que deve de ser tido em consideração, que com a queima do GN não é uma preocupação, é a produção de cinzas obtida pela queima do combustível. Sabendo o consumo mínimo teórico do combustível e usando a percentagem de cinzas presente no pó de cortiça baseada na literatura revista na Secção 2.3, é possível estimar a produção teórica de cinzas, conforme apresentada na Tabela 4.16.

Tabela 4.16. Produção teórica de cinzas.

Teor de cinzas / %	3,89
Consumo mínimo teórico pó de cortiça / kg h^{-1}	100
Produção de cinzas / kg h^{-1}	3,9
Produção de cinzas / kg dia^{-1}	93,3
Produção de cinzas / kg $mês^{-1}$	1 958,6
Produção de cinzas / kg ano^{-1}	23 502,9

Pela observação da Tabela 4.16, verifica-se que haverá uma produção de cerca de 3,9 kg de cinzas diárias, o que, num ano, se traduz em quase 23,5 toneladas de cinzas. Uma vez que existe um produto final residual resultante do novo equipamento, o destino final das cinzas é um ponto a ser estudado.

O Decreto-Lei nº 102-D/2020, de 10 de dezembro aprova o regime geral da gestão de resíduos, assim como o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro. Este documento determina os resíduos admissíveis ou não admissíveis em aterro, bem como os classifica face à sua perigosidade: inertes, não perigosos ou perigosos [38]. No caso da biomassa, as suas cinzas são consideradas um resíduo inerte, sendo por isso uma opção viável a sua deposição em aterro. No entanto, na possibilidade de valorizar os resíduos produzidos, esta opção deve ser preferida. A Resolução do Conselho de Ministros nº 107/2019 aprovou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) que apresenta alguns dos principais vetores de descarbonização e linhas de atuação, de entre os quais a redução da deposição de resíduos em aterro [39].

Existem outras alternativas que podem dar valor às cinzas produzidas, como por exemplo, a sua aplicação na compostagem. O uso de cinzas como aditivo na compostagem permite enriquecer o produto final com minerais essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, as propriedades físicas e químicas das cinzas diferem consoante a sua origem, podendo impedir a sua aplicação. Nesse sentido, é importante saber a sua composição [40]. Além da compostagem, as cinzas provenientes da queima de biomassa também podem ser utilizadas para a produção de materiais de cimento. As cinzas permitem substituir o papel da areia na produção de cimento, com as suas propriedades aglomerantes, valorizando o resíduo [41].

Cabe à empresa decidir qual a melhor solução para a disposição correta deste resíduo.

4.4.5 Análise económica

Para analisar a rentabilidade do projeto determinaram e analisaram-se os mesmos indicadores financeiros já mencionados na Subsecção 4.4.3.

Para o cálculo da poupança obtida com a substituição do GN pelo pó de cortiça, teve-se em conta o valor do custo da fatura do GN no ano 2022, o custo de aquisição de pó de cortiça por ano, bem como o custo de manutenção anual das caldeiras.

Uma vez que a caldeira proposta se encontra sobredimensionada, teve-se em conta o seu preço por kg de pó de cortiça consumido, dimensionado o seu custo com base na capacidade desejada para a mesma. Neste caso, analisa-se o investimento numa caldeira com capacidade de consumo de 200 kg h^{-1} de pó de cortiça.

O investimento deste projeto possui 2 alternativas: a aquisição de uma caldeira com grelha plana ou com grelha móvel autolimpante. A aquisição da grelha móvel pressupõe menores gastos em manutenção, uma vez que o próprio equipamento irá recolher as cinzas formadas

para um contentor. Considerou-se um custo de manutenção de 2000 € ano^{-1} para a caldeira com grelha plana e 1000 € ano^{-1} para a caldeira com grelha móvel. O preço de compra do equipamento é de 153 493 € ou de 179 776 €, respetivamente, para a caldeira com grelha plana e para a caldeira móvel autolimpante. O custo das obras de adaptação da fábrica à caldeira é de 363 563 €, sendo o custo total do projeto de 517 056 € ou de 543 339 €, dependendo se a caldeira for de grelha plana ou móvel, respetivamente. O custo do projeto já inclui 23 % de IVA.

Dado o valor elevado de ambos os investimentos, avaliou-se a viabilidade económica do projeto em que se recorre a um empréstimo bancário de 85 % do investimento total. Como já foi referido, admite-se uma taxa de juro de 12 % ao ano. A Tabela 4.17 apresenta os dados do investimento e os indicadores financeiros para o primeiro cenário. Os indicadores apresentados foram calculados a partir do mapa de fluxos de caixa apresentado no Apêndice D.

Tabela 4.17. Investimento na implementação do pó de cortiça como combustível do processo produtivo.

C/ grelha plana		**C/ grelha móvel**	
VAL / € ano^{-1}	5 924 886	**VAL / € ano^{-1}**	5 888 681
PR / anos	1,9	**PR / anos**	2,0
TIR / %	53,53	**TIR / %**	50,61
IR	3,16	**IR**	2,99
Investimento / €	517 056	**Investimento / €**	543 339
Empréstimo / €	439 498	**Empréstimo / €**	461 838
Capital Próprio / €	77 558	**Capital Próprio / €**	81 501
Juros / €	338 344	**Juros / €**	355 542

Da Tabela 4.17 pode-se retirar as seguintes conclusões:

- Projeto c/ grelha plana

Desta proposta, nota-se que: VAL > 0 (5 924 886 € > 0); PR < n (1 ano e 11 meses < 10 anos); TIR > *i* (53,53 % > 12 %) e IR > 1 (3,16 > 1). Recorrendo a um empréstimo bancário no valor de 85 % do investimento total, é possível de reembolsar em 1 ano e 11 meses.

- Projeto c/ grelha móvel

Desta proposta, retira-se que: VAL > 0 (5 888 681 € > 0); PR < n (2 anos < 10 anos); TIR > *i* (50,61 % > 12 %) e IR > 1 (2,99 > 1). Recorrendo a um empréstimo bancário no valor de 85 % do investimento total, é possível de reembolsar em 2 anos.

4.5 Impactos esperados após implementação dos projetos

Relativamente às medidas de melhoria analisadas na Secção 4.2, a obtenção das estimativas das poupanças não é um procedimento simples. É esperado que, através da digitalização energética, seja possível criar uma melhor gestão da produção e que os VEV permitam reduzir o consumo dos motores de aspiração nos períodos de menor necessidade, o que irá diminuir os consumos de energia elétrica em algum grau.

Relativamente aos projetos analisados nesta dissertação, é possível estimar as reduções que se poderão obter com a implementação da UPAC assim como a inserção do pó de cortiça como nova fonte de energia, substituindo o GN em algumas etapas da produção. A Figura 4.10 permite observar a desagregação dos consumos energéticos por origem de energia obtida após a implementação das medidas, que pode ser comparada com a Figura 4.2 abordada previamente na Subsecção 4.1.1.

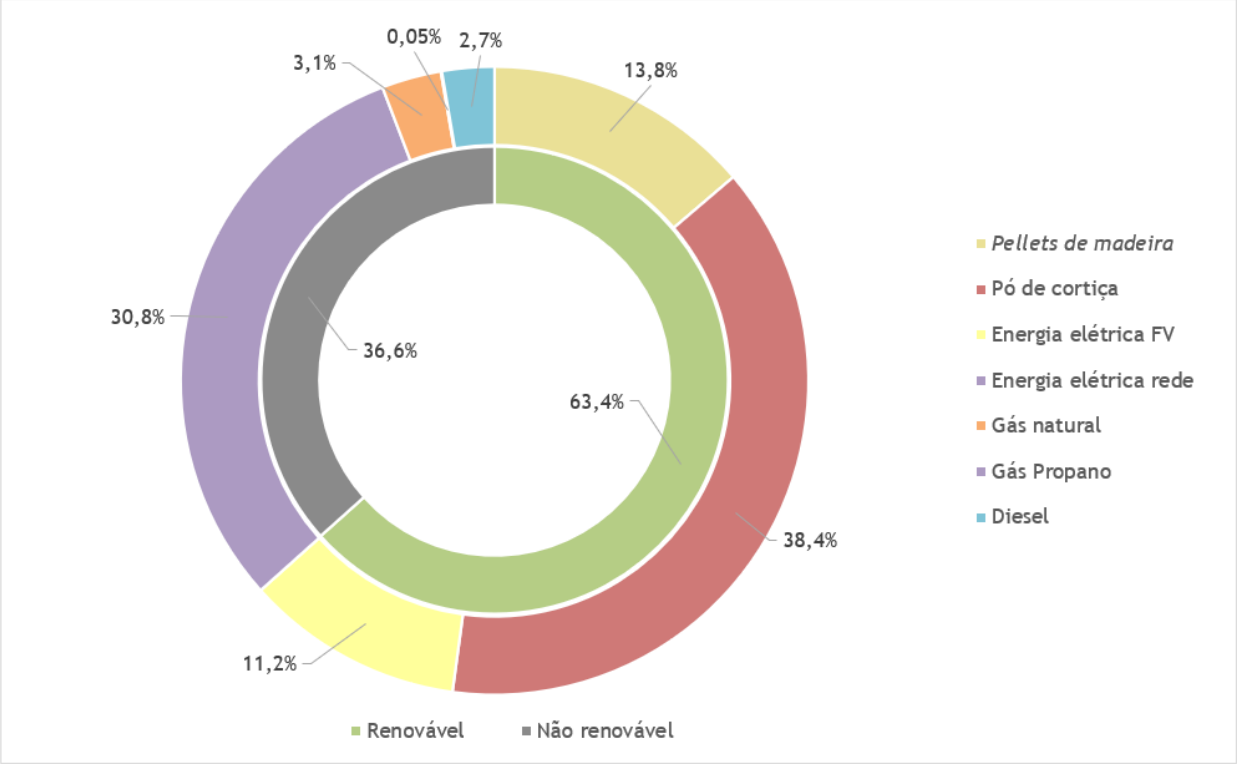


Figura 4.10 - Desagregação do consumo energético por origem da energia da MAS1 após implementação dos projetos.

Como se verifica pela Figura 4.10, os projetos aumentam o uso de energias renováveis para 63,4 %, comparativamente aos 15,4 % atuais. O pó de cortiça passa a ter um papel de 38,4 % do consumo de energia da fábrica, enquanto a energia elétrica FV e os pellets de madeira passam a representar um consumo de cerca de 11,2 % e 13,8 %, respetivamente. A energia elétrica proveniente da rede continua a ter um peso elevado de 30,8 %, enquanto o GN passa a 3,1 % e o diesel e o gás propano representam apenas 2,7 e 0,05 %, respetivamente.

Com base nos dados do ano de 2022, é possível estimar como é que estas medidas se poderão refletir nos indicadores energéticos previamente analisados na Subsecção 4.1.2. A Tabela 4.18 apresenta as previsões calculadas. É possível ver o exemplo de cálculo no Apêndice E.

Tabela 4.18. Indicadores energéticos após implementação dos projetos.

Indicador	
CEE / kgep 1000 un^{-1}	1,507
IE / kgep €$^{-1}$	0,077
IC / kg$_{CO2e}$ kgep^{-1}	1,04

É de salientar que, no cálculo dos indicadores IE e CEE, considera-se apenas 50 % da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis, neste caso, a energia solar FV, o pó de cortiça e os *pellets* de madeira.

Comparando a Tabela 4.18 com os dados analisados previamente na Tabela 4.1 presente na Subsecção 4.1.2, conclui-se que o CEE, que já se encontra abaixo das metas estabelecidas, reduz de 2,151 para 1,507 kgep 1000 un^{-1}. O IE, que se encontra acima das metas estabelecidas, mostra ser possível de reduzir de 0,117 para 0,077 kgep €$^{-1}$, passando a cumprir as metas de utilização racional de energia estabelecidas. Já o IC, que também se encontra acima das metas estabelecidas, baixa substancialmente de 2,06 para 1,04 kg$_{CO2e}$ kgep^{-1}, passando a cumprir as metas estabelecidas. É necessário ter em consideração que os valores apresentados neste capítulo são estimativas e dependem da produção, consumo energético total e VAB que a empresa apresentar anualmente. Não obstante, as estimativas apresentadas mostram potencial.

5 Conclusões e recomendações para trabalho futuro

A avaliação de medidas de eficiência energética e a implementação de energias renováveis em contexto da M.A. Silva consistiu em quatro etapas: i) o levantamento dos consumos energéticos da unidade de produção; ii) a determinação de oportunidades de melhoria; iii) a avaliação dos benefícios da instalação de uma unidade de produção para autoconsumo e; iv) a avaliação da viabilidade técnica da instalação de uma caldeira a biomassa.

No inventário dos consumos energéticos estimou-se um consumo anual de cerca de 710 MWh no processo produtivo, tendo sido feita uma desagregação do consumo total por setor produtivo. Salientam-se 412 MWh noutras áreas consumidoras intensivas, nomeadamente, a aspiração e a central de ar comprimido.

Na análise de oportunidades de melhoria, abordaram-se as medidas de digitalização energética dos setores produtivos, dos sistemas de aspiração e do sistema de ar comprimido e a instalação de variadores eletrónicos de velocidade nos motores da aspiração, para ambas as instalações. A digitalização energética dos setores permite a monitorização e controlo quase imediato dos consumos energéticos a um grau mais pormenorizado, tendo-se iniciado reuniões com empresas especializadas neste tipo de equipamentos. Os variadores eletrónicos de velocidade permitem a regulação da intensidade de aspiração do pó na produção, que pode assim ser controlada de acordo com as necessidades.

Na análise da viabilidade de instalação dos painéis fotovoltaicos, comparou-se o perfil de consumos da empresa com o perfil de produção do sistema fotovoltaico, concluindo que o sistema permite atingir um índice de autoconsumo de 78,7 % e um índice de autossuficiência de 26,4 %. A parcela de energia fotovoltaica não consumida pela empresa é vendida à rede. A análise de investimento realizada a este projeto resultou num período de retorno de 3 anos e 4 meses, sem recorrer a um empréstimo, ou 4 anos e 3 meses, recorrendo a um empréstimo ao banco de 75 % do valor do investimento total a uma taxa de juro de 12 %. Como sugestões de trabalho futuro, propõe-se a exploração da viabilidade de acoplar um sistema de baterias ao sistema fotovoltaico, visando diminuir ou eliminar por completo a injeção de energia na rede, passando a ter um índice de autoconsumo de 100 % e reduzir ainda mais a dependência da rede elétrica.

A análise da viabilidade da instalação de uma caldeira a biomassa visa a substituição do gás natural dos setores da Esterilização, Lavação, Revestimento e Secagem, bem como da substituição dos *pellets* de madeira na etapa de Humidificação. O projeto, proposto e

orçamentado por uma empresa especializada neste tipo de instalações, tem como objetivo a produção de vapor numa caldeira a biomassa que será utilizada como fluido de esterilização através do contacto direto, como fluido de aquecimento na geração de ar quente através da permuta de calor num permutador, e como fluido de aquecimento de água através do contacto direto com água fria num tanque. Calculou-se a quantidade de pó de cortiça necessária para produzir o vapor atualmente utilizado na Esterilização, assim como a biomassa necessária para o aquecimento do ar, o que resultou em cerca de 604 toneladas anuais. Relativamente à etapa de Humidificação, calculou-se o vapor necessário para renovar a água do tanque, convertendo depois essas necessidades na quantidade de pó de cortiça necessária, o que resultou em cerca de 4 206 kg de pó de cortiça. Para que a caldeira proposta realize esta operação, são necessárias 7 horas de aquecimento. Considerando que apenas se realizam algumas renovações totais de água por mês, concluiu-se que esta solução não é a mais adequada. Neste sentido, procedeu-se à análise financeira do projeto, considerando apenas a adaptação da fábrica ao pó de cortiça para substituir o gás natural nos pontos de consumo já mencionados. Substituindo apenas o gás natural, a caldeira encontra-se sobredimensionada, podendo consumir até 703 kg h^{-1} de pó de cortiça, quando são apenas necessários 100 kg h^{-1}. Redimensionou-se a caldeira proposta considerando o preço da mesma por kg de pó de cortiça consumido, considerando uma capacidade de 200 kg h^{-1}, permitindo assim o crescimento futuro da empresa e, consequentemente, o consumo de pó de cortiça. Concluiu-se que o período de retorno do investimento neste projeto é de 1 ano e 11 meses ou de 2 anos, recorrendo a um empréstimo bancário de 85 % do valor total do investimento, uma taxa de juro de 12 % e consoante a escolha por uma caldeira com grelha plana ou grelha autolimpante, respetivamente. Como propostas de trabalho futuro, sugere-se o estudo da viabilidade de substituir as *pellets* de madeira pelo pó de cortiça no tanque de cozimento, mantendo o sistema atual de aquecimento de água. Uma vez que o PCI do pó de cortiça é superior ao das *pellets*, será necessária uma menor quantidade deste combustível comparativamente aos *pellets*. Noutra alternativa, sugere-se o estudo da viabilidade da instalação de tanques mais pequenos, o que permitiria distribuir as necessidades de vapor como fluido de aquecimento, reduzindo os caudais de consumo de pó de cortiça, mantendo assim esta parcela no projeto da instalação da caldeira a biomassa.

Através da implementação dos projetos de instalação de painéis fotovoltaicos e da caldeira a biomassa (substituindo apenas o consumo de gás natural), é possível aumentar o uso de energias renováveis de 15,4 % para 63,4 %. Além disso, é possível melhorar os indicadores energéticos alvo de melhoria no Plano de Racionalização de Consumo de Energia. É de salientar que estes resultados são apenas estimativas. Não obstante, mostram grande potencial de melhoria.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

Com o objetivo de determinar oportunidades de melhoria bem como otimizar a utilização de energias renováveis na empresa, o trabalho dividiu-se em 5 etapas. Primeiramente, tomou-se conhecimento da produção da empresa, tendo esta sido descrita no corpo de trabalho. Posteriormente, foi feito o levantamento dos consumos energéticos da unidade de produção, procedendo à sua inventariação e medindo o consumo instantâneo dos equipamentos. Através deste trabalho foi possível estimar os consumos de cada zona da produção, com o apoio dos colaboradores acerca do funcionamento da fábrica, horários da empresa e outros pressupostos. O levantamento energético da instalação permitiu o estudo e análise de propostas de melhoria, nomeadamente, a instalação de um sistema de monitorização dos consumos de cada área e a instalação de variadores de velocidade em equipamentos consumidores intensivos que carecem de trabalhar sempre à carga máxima. Numa segunda fase do trabalho, estudou-se a viabilidade de investimento em dois projetos: a instalação de painéis solares e a instalação de uma caldeira a biomassa que visa a substituição do gás natural em diversos pontos de consumo assim como os *pellets* de madeira usados no tanque de cozimento. Para a análise de investimento da instalação de painéis solares, foi disponibilizada uma proposta por parte de um fornecedor para validação. Teve-se em consideração a distribuição do consumo de eletricidade pelos diferentes regimes do tarifário de eletricidade da empresa, assim como o consumo de eletricidade total mensal e anual. A proposta dos painéis a instalar já estava selecionada, pelo que se procedeu a diversas simulações com os dados fornecidos. Através do *software* PVGIS, foi possível comparar a produção fotovoltaica nas condições ideais com as condições reais. Traçou-se o perfil de consumos diário da empresa que, com o software PVSOL, permitiu simular a produção fotovoltaica possível de obter, distinguindo a energia autoconsumida e a energia injetada na rede, visando compreender os índices de autoconsumo e autossuficiência possíveis de atingir. Por fim, fez-se a análise económica do investimento, considerando os respetivos custos e poupanças/receitas geradas, validando o projeto. Relativamente ao projeto de instalação de uma caldeira a biomassa, a empresa disponibilizou uma proposta de investimento para validação. Iniciou-se por analisar o consumo de gás natural nos diferentes pontos de consumo, procurando distribuir os consumos o mais fidedignamente possível. De forma a substituir o gás natural atualmente consumido, calculou-se a biomassa necessária para produzir o mesmo vapor que o gás natural produz. Em relação ao tanque de cozimento, calculou-se o vapor necessário para aquecer a água normalmente gasta num dia de trabalho, convertendo os resultados para necessidades de pó de cortiça. Desta análise retirou-se que a caldeira proposta está

sobredimensionada. Não obstante, realizou-se uma análise económica ao projeto de forma a analisar a sua viabilidade económica.

Todos os objetivos propostos foram realizados de forma satisfatória, pelo que cabe à empresa a tomada de decisão face à análise apresentada.

6.2 Outros Trabalhos Realizados

Após o levantamento energético realizado na empresa, foi pedido que o mesmo levantamento fosse realizado na instalação NEOTECH. Esta tarefa pode ser consultada no Apêndice F.

Também foi requisitado que se analisasse a viabilidade de substituir a estufa de secagem da marcação a tinta por máquinas de secar UV, com o objetivo de tornar a etapa de marcação mais rápida. Para tal, estimou-se o consumo das novas máquinas com a produção atual, comparando o mesmo com o consumo da estufa. Concluiu-se que o investimento não era viável uma vez que o consumo energético mostrou ser muito superior. Esta tarefa pode ser consultada no Apêndice G.

6.3 Apreciação Final

De uma forma geral, sinto-me muito realizada com o trabalho que desenvolvi na M.A. Silva. Este período de desenvolvimento da dissertação permitiu-me ter um contacto direto com a indústria corticeira, proporcionando-me a oportunidade de aprofundar os meus conhecimentos e aplicá-los em casos reais. Tive a oportunidade de entrar em contacto com diversos setores da empresa, ganhando uma maior perceção do funcionamento de uma empresa. Este trabalho contribuiu para o meu desenvolvimento não só a nível pessoal, como profissional, sendo um complemento de formação académica que venho a percorrer nestes últimos 5 anos. Foi uma experiência verdadeiramente enriquecedora que me fez crescer como engenheira e adquirir novas bases para entrar no mercado de trabalho.

Referências

[1] W. Kahlenborn, S. Kabisch, J. Klein, I. Richter, e S. Schürmann, «Energy Management Systems in Practice. ISO 50001: A Guide for Companies and Organisations», *Procedia CIRP*, vol. 83, n. January, 2015, Acedido: 20 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329210103_Energy_Management_Systems_in_Practice_ISO_50001_A_Guide_for_Companies_and_Organisations

[2] I. Soares, *Eficiência Energética e a ISO 50001*, 1.ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, Lda., 2015.

[3] A. T. de Almeida, C. Patrão, P. Fonseca, e P. Moura, «Manual de boas práticas de eficiência energética», Lisboa, Nov. 2005. Acedido: 17 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/publ-2005-Manual-boas-praticas-eficiencia-energetica.pdf

[4] Ministério da Economia e da Inovação, *Decreto-lei 71/2008, de 15 de Abril*. Diário da República n.º 74/2008, Série I de 2008-04-15., 2008. Acedido: 27 de Fevereiro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://files.dre.pt/1s/2008/04/07400/0222202226.pdf

[5] V. Magueijo, M. C. Fernandes, H. A. Matos, C. P. Nunes, e J. P. Calau, «Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto», 2010. Acedido: 3 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://manualzz.com/doc/6088319/medidas-de-efici%C3%AAncia-energ%C3%A9tica-aplic%C3%A1veis-%C3%A0

[6] S. Fawkes, K. Oung, e D. Thorpe, «Best Practices and Case Studies for Industrial Energy Efficiency Improvement», 2016.

[7] E. A. Abdelaziz, R. Saidur, e S. Mekhilef, «A review on energy saving strategies in industrial sector», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, n. 1. 2011. doi: 10.1016/j.rser.2010.09.003.

[8] K. O'Rielly e J. Jeswiet, «Strategies to improve industrial energy efficiency», em *Procedia CIRP*, 2014. doi: 10.1016/j.procir.2014.06.074.

[9] R. Vieira, J. Neto, e Á. Silva, «Radiação Solar Global Anual: Portugal Continental», Dez. 2008. doi: 10.13140/RG.2.2.31629.18402.

[10] REN21, «RENEWABLES 2022 GLOBAL STATUS REPORT.», Jun. 2022. Acedido: 10 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf

[11] «Anuário 2022 APREN», Lisboa, Jul. 2022. Acedido: 15 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://anuario.apren.pt/wp-content/themes/APREN/imgs/pdf/APREN_anuario2022.pdf

[12] A. McEvoy, T. Markvart, e L. Castaner, *Practical Handbook of Photovoltaics*. 2012. doi: 10.1016/C2011-0-05723-X.

[13] N. I. Abdul Aziz, S. I. Sulaiman, S. Shaari, I. Musirin, e K. Sopian, «Optimal sizing of stand-alone photovoltaic system by minimizing the loss of power supply probability», *Solar Energy*, vol. 150, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.04.021.

[14] M. M. E. Ali e S. K. Salih, «A visual basic-based tool for design of stand-alone solar power systems», em *Energy Procedia*, 2013. doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.142.

[15] F. A. de S. Pereira e M. Â. S. Oliveira, *Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica*, 2.ª ed. PUBLINDUSTRIA, 2015.

[16] J. T. Pinho e M. A. Galdino, *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Cresesb - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014.

[17] IST, «Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projeto e instalação», 2014. Acedido: 12 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf

[18] D. Aelenei, R. A. Lopes, L. Aelenei, e H. Gonçalves, «Investigating the potential for energy flexibility in an office building with a vertical BIPV and a PV roof system», *Renew Energy*, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.07.140.

[19] H. Huang *et al.*, «Biomass briquette fuel, boiler types and pollutant emissions of industrial biomass boiler: A review», *Particuology*, vol. 77, 2023, doi: 10.1016/j.partic.2022.08.016.

[20] J. H. Clark e F. E. I. Deswarte, *Introduction to Chemicals from Biomass*. 2008. doi: 10.1002/9780470697474.

[21] I. Malico, R. N. Pereira, P. Mesquita, A. M. O. Sousa, e A. C. Gonçalves, «Energy use of cork residues in the Portuguese cork industry», Universidade de Évora, Out. 2017. Acedido: 20 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320455861

[22] ISQ, *Manual de Auditorias Energéticas na Indústria*. Lisboa, 2019.

[23] P. R. Laranjeira, J. A. G. Bronzatti, R. Q. de Souza, e K. U. Graziano, «Esterilização pelo vapor: aspectos fundamentais e recursos técnicos para redução do consumo de água», *Revista SOBECC*, vol. 22, n. 2, 2017, doi: 10.5327/z1414-4425201700020009.

[24] Y. A. Cengel, «Heat Transfer: A Practical Approach», *MacGraw-Hill*, vol. 4, n. 9, 2004.

[25] J. L. Muñoz-Cobo, D. Blanco, C. Berna, e Y. Córdova, «Review of instabilities produced by direct contact condensation of steam injected in water pools and tanks», *Progress in Nuclear Energy*, vol. 153. 2022. doi: 10.1016/j.pnucene.2022.104404.

[26] International Organization for Standardization, *Liège — Bouchons de liège pour vins tranquilles — Spécifications mécaniques et physiques*. 2013. Acedido: 15 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.iso.org/standard/56718.html

[27] Serviço das Publicações da União Europeia, *Regulamento (CE) n.o 1935/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de outubro de 2004*. Direção-Geral da Saúde e da Segurança dos Alimentos, 2004. Acedido: 20 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/LSU/?uri=CELEX:32004R1935

[28] N. Fatela, «Saiba O Melhor Preço De Eletricidade Em 2023». https://www.comparamais.pt/blog/saiba-qual-o-melhor-preco-de-eletricidade-em-2021-e-poupe-nas-faturas (acedido 15 de Março de 2023).

[29] European Commission Joint Research Centre, «PVGIS background information». joint-research-centre.ec.europa.eu (acedido 20 de Maio de 2023).

[30] Valentin software, «Valentin software: about us». https://valentin-software.com/en/company/about-us/ (acedido 1 de Junho de 2023).

[31] Atlas Copco, *Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido*. ADENE, 2016.

[32] Ambiente e Ação Climática, *Decreto-lei 33/2022, de 14 de Maio*. Diário da República n.º 93-A/2022, Série I de 2022-05-14, 2022, pp. 2–8. Acedido: 28 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://files.diariodarepublica.pt/1s/2022/05/093a00/0000200008.pdf

[33] R. Rodrigues, «Cálculo Financeiro e Contabilidade». Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2005.

[34] JA Solar, «Photovoltaic modules technical sheet». www.jasolar.com/uploadfile/2021/0706/20210706053524693.pdf (acedido 22 de Maio de 2023).

[35] Direção-Geral de Energia e Geologia - Ministério da Economia e da Inovação, *Despacho n.º 17313/2008*. Diário da República - 2.ª série, Nº 122, de 26.06.2008, Pág. 27912, 2008.

[36] M. Pinto, «Preço do m^3 de gás natural: Conversão para kWh».

[37] Cortiça24, «Preço pó de cortiça», 2023. https://cortica24.pt/loja/158-poacute-de-corticcedila-0---05-mm/ (acedido 22 de Maio de 2023).

[38] Presidência do Conselho de Ministros, *Decreto-Lei n.º 102-D/2020*. Diário da República n.º 239/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-10, 2020. Acedido: 2 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/102-d-2020-150908012

[39] Presidência do Conselho de Ministros, *Resolução do Conselho de Ministros 107/2019, de 1 de Julho*. Diário da República n.º 123/2019, Série I de 2019-07-01, 2019. Acedido: 2 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/107-2019-122777644

[40] G. A. Turp, A. Celebi, e S. Ozdemir, «Enhancing energy potential of sweet sorghum by biomass ash compost in the context of climate change and agroecosystem», *Ind Crops Prod*, vol. 199, Set. 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116776.

[41] T. A. Cacuro e W. R. Waldman, «Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades», *Revista Virtual Química*, vol. 7, n. 6, pp. 2154–2165, 2015.

[42] ERSE, «Estrutura Tarifária do Setor Elétrico em 2022 », Dez. 2021. Acedido: 2 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.erse.pt/media/s3mdkbcx/estrutura-tarif%C3%A1ria-se-2022.pdf

Anexo A – Ciclo tetra-horário semanal

Tabela A.1. Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal continental em 2022 [42].

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal continental			
Período de hora legal de Inverno		***Período de hora legal de Verão***	
De segunda-feira a sexta-feira		***De segunda-feira a sexta-feira***	
Ponta:	*09:30/12:00 h* *18:30/21:00 h*	*Ponta:*	*09:15/12:15 h*
Cheias:	*07:00/09:30 h* *12:00/18:30 h* *21:00/24:00 h*	*Cheias:*	*07:00/09:15 h* *12:15/24:00 h*
Vazio Normal:	*00:00/02:00 h* *06:00/07:00 h*	*Vazio Normal:*	*00:00/02:00 h* *06:00/07:00 h*
Super vazio:	*02:00/06:00 h*	*Super vazio:*	*02:00/06:00 h*
Sábado		***Sábado***	
Cheias:	*09:30/13:00 h* *18:30/22:00 h*	*Cheias:*	*09:30/14:00 h* *20:00/22:00 h*
Vazio Normal:	*00:00/02:00 h* *06:00/09:30 h* *13:00/18:30 h* *22:00/24:00 h*	*Vazio Normal:*	*00:00/02:00 h* *06:00/09:00 h* *14:00/20:00 h* *22:00/24:00 h*
Super vazio:	*02:00/06:00 h*	*Super vazio:*	*02:00/06:00 h*
Domingo		***Domingo***	
Vazio Normal:	*00:00/02:00 h* *06:00/24:00 h*	*Vazio Normal:*	*00:00/02:00 h* *06:00/24:00 h*
Super vazio:	*02:00/06:00 h*	*Super vazio:*	*02:00/06:00 h*

Apêndice A – Equipamento de medição

Para a medição dos consumos elétricos de cada equipamento associado à produção, foi necessário o auxílio de equipamentos próprios, nomeadamente o *Fluke T5-600* e o Fluke 1730 Energy Logger, demonstrados nas Figuras A.1.1 e A.1.2, respetivamente. Estes equipamentos são capazes de medir a corrente (em Amperes), a tensão (em Volts), bem como a resistência (em Ohms). A diferença entre o *Fluke T5-600* e o *Fluke 1730 Energy Logger* baseia-se no facto de o primeiro medir a corrente instantânea, enquanto o segundo permitir fazer uma leitura num período desejado, registando máximos, mínimos e médias que, para equipamentos de consumo variável ao longo do seu funcionamento, foi essencial.



Figura A.1 – Fluke T5-600



Figura A.2 – 1730 Energy Logger

Apêndice B – Desvio-padrão da amostra de potência horária

Analisou-se a potência consumida em 8 semanas diferentes, em que não houveram feriados ao longo dos dias úteis da semana, calculando a respetiva média para cada dia da semana, procurando assim obter o comportamento habitual diário. Na Tabela B.1 apresenta-se o desvio-padrão da amostra analisada.

Tabela B.1. Desvio-padrão da amostra de potência horária.

Hora (h)	Desvio-padrão da potência (kW)						
	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	sábado	domingo
0	62	16	17	16	20	25	6
1	62	14	17	17	19	25	5
2	61	21	16	21	15	29	6
3	59	16	23	26	22	31	5
4	60	28	31	14	24	32	6
5	63	10	27	31	23	34	6
6	28	15	12	15	24	52	6
7	22	14	14	19	13	49	5
8	12	13	17	18	14	53	3
9	13	9	19	21	15	66	4
10	12	10	13	23	24	59	5
11	18	24	25	25	20	53	3
12	17	18	15	16	21	28	3
13	15	20	14	15	19	20	4
14	14	18	19	20	11	21	3
15	18	16	27	21	13	15	4
16	16	11	27	24	18	12	4
17	13	8	24	21	24	6	2
18	20	18	15	17	28	6	3
19	9	16	11	12	22	6	4
20	13	15	16	16	24	6	5
21	11	11	15	19	26	6	4
22	15	9	13	20	24	6	31
23	19	11	16	19	20	7	62

Apêndice C - Avaliação das necessidades de pó de cortiça

C.1 Substituição do gás natural

Exemplo de cálculo para o mês de janeiro

Através da Equação 3.3:

$$Consumo_{GN} = \frac{21528 \times 12{,}53 \times 0{,}8404}{0{,}85} = 266699 \frac{kWh}{mês_{janeiro}}$$

Converteu-se a energia consumida em necessidades de pó de cortiça, utilizando a Equação 3.4:

$$Consumo_{pó\ de\ cortiça} = \frac{266699}{5{,}69 \times 0{,}85} = 55144 \frac{kg}{mês_{janeiro}}$$

$$Consumo_{pó\ de\ cortiça} \left(\frac{kg}{h}\right) = \frac{55144}{552} = 100 \frac{kg}{h}$$

A Tabela C.1 apresenta o resumo das necessidades mensais bem como as totais anuais de pó de cortiça de modo a substituir o GN nas etapas da Esterilização, Lavação, Revestimento e Secagem.

Tabela C.1. Necessidades de pó de cortiça mensais e totais.

2022	Nº horas	Consumo de GN / kWh	Quantidade necessária pó de cortiça / kg	Quantidade necessária pó de cortiça / kg h^{-1}
jan	552	266 652	55 144	100
fev	504	243 465	50 349	100
mar	552	266 652	55 144	100
abr	528	255 058	52 746	100
mai	552	266 652	55 144	100
jun	528	255 058	52 746	100
jul	552	266 652	55 144	100
ago	240	115 936	23 976	100
set	528	255 058	52 746	100
out	552	266 652	55 144	100
nov	528	255 058	52 746	100
dez	432	208 684	43 156	100
Total	6 048	2 921 578	604 187	-

Para perceber a diferença entre a transferência de calor entre gás de combustão-ar e vapor-ar, comparou-se a transferência de calor por unidade de área, uma vez que os dados acerca dos permutadores de calor são desconhecidos. Para isso, utilizou-se a Equação D.1:

$$Q = UA\Delta T \tag{D.1}$$

Exemplo de cálculo para a permuta vapor-ar:

$$\frac{Q_{mín}}{A} = 30 \times (170 - 25) = 4350 \frac{W}{m^2}$$

C.2 Substituição dos *pellets* de madeira

De forma a perceber o pó de cortiça necessário para substituir os *pellets* de madeira, é preciso calcular o volume de vapor necessário para aquecer a água que se utiliza numa renovação total da água do tanque. Para tal, recorreu-se ao balanço de massa apresentado na Secção 3.5. O calor latente varia em função da temperatura e da pressão. Consultando as tabelas de vapor de água, retirou-se que a 170 ºC e 9 bar, o calor latente do vapor de água é 2 030,47 kJ kg^{-1} = 485,76 kcal kg^{-1}. Sabendo que, por renovação, se gasta, em média, 250 m^3 de água, utilizou-se a ferramenta *Solver* para obter a quantidade de vapor necessária para aquecer o volume de

água, aplicando a Equação 3.6, de modo a que o balanço igualasse a zero, variando o caudal de vapor (M_v):

$$M_E \times 1 \times (95 - 25) = M_v \times 1 \times (175 - 95) + M_v \times 485{,}76$$

$$\leftrightarrow M_v = 27526\ kg$$

Ou seja,

$$Q = 27526 \times (485{,}76 + 1 \times (175 - 25)) = 17500000\ kcal$$

Uma vez que $PCI_{pó\ de\ cortiça}$ = 4894,7 kcal kg^{-1}, utilizou-se a Equação 3.8:

$$m_{pó} = \frac{17500000}{4894{,}7 \times 0{,}85} = 4206\ kg$$

Apêndice D - Resultados detalhados da análise económica

Sabendo o valor das receitas (R) e dos custos (C), os mapas de cash-flows foram traçados através das seguintes equações:

$$CFG = CFE - CFI_0 \quad \text{(E.1)}$$

$$CFE = R - C - Juros\ (E.F.) \quad \text{(E.2)}$$

$$CFI = investimento\ total\ deduzido \text{ à } taxa\ de\ fundo\ perdido$$

Em que:

- CFG – Fluxo de Caixa global (€);
- CFE – Fluxo de caixa de exploração (€);
- CFI – Fluxo de caixa de investimento (€);
- E.F. - Encargos financeiros (juros; €); são apenas considerados em situação de empréstimo ao banco.

Sabendo o valor das receitas (R) e dos custos (C), calculou-se o VAL através da Equação E.3:

$$VAL = -CFI_0 + \Sigma[CFG_n \times (1+i)^{-1}] \quad \text{(E.3)}$$

Em que:

Para o cálculo do PR utilizou-se a Equação E.4:

$$PR = t + \frac{Investimento - \Sigma CFE_t}{CFE_{t+1}} \quad \text{(E.4)}$$

Em que:

- t – ano com último CFE negativo;
- t+1 – ano a partir do qual CFE passa a positivo

Para calcular a TIR, pretende-se igualar o VAL a zero e obter o valor de x, segundo a Equação E.5:

$$VAL = -CFI_0 + \Sigma[CFG_n \times (1+x)^{-n}] \quad \text{(E.5)}$$

Em que x representa a TIR.

Para o cálculo do IR, utilizou-se a Equação E.6:

$$IR = \frac{\Sigma[CFE_n \times (1+i)^{-n}]}{\Sigma[CFI_n \times (1+i)^{-n}]} \quad \text{(E.6)}$$

Além de se fazer a análise de viabilidade económica dos projetos através do investimento com 100 % de capital próprio, simulou-se também os mesmos investimentos com empréstimos ao banco. Os mapas de serviço de dívidas permitem visualizar e calcular as prestações e juros a pagar, de forma a liquidar o empréstimo realizado. As prestações e a amortização do capital foram calculadas segundo as Equações E.7 e E.8, respetivamente:

$$Prestação = \frac{Empréstimo}{\frac{1-(1+i)^{-10}}{i}} \quad \text{(E.7)}$$

$$Amortização\ do\ capital = \frac{Empréstimo}{\frac{(1+i)^{10}-1}{i}} \quad \text{(E.8)}$$

$$Juros\ = Capital\ em\ dívida\ \times i \quad \text{(E.9)}$$

$$Capital\ amortizado_n\ = Amortização\ do\ capital_n - Amortização\ do\ capital_{n-1} \quad \text{(E.10)}$$

$$Capital\ em\ dívida_n\ = Capital\ em\ dívida_0 - Capital\ amortizado_n \quad \text{(E.11)}$$

D.1. Projeto FV

A produção total da central distribuída pelos diferentes regimes bem como a produção em autoconsumo foi obtida através da simulação no *software* PVSOL.

Com base nos dados apresentados na Tabela 4.4 da Secção 4.2:

$$Poupança_{ponta} = 122475 \times 0{,}127153 = 15573{,}07\ €$$

Tabela D.1. Estimativa de produção FV para o 1º ano de produção, respetiva poupança e consumo necessário da rede.

	Produção total central / kWh	Produção / %	Produção autoconsumo / kWh	Poupança / €	Injeção na rede / €	Consumo RESP / kWh
Ponta	155 665	30,38	122 475	15 573,07	-	131 734
Cheia	240 189	46,87	188 821	27 508,91	-	436 135
Vazio	116 594	22,75	91 891	12 158,32	-	301 733
Super-vazio	-	0,00	-	-	-	256 624
Total	512 447	100,00	403 187	240,30	16 371,59	1 126 226

Tabela D.2. Análise do sistema FV para 25 anos.

Ano	Produção / kWh	Injeção/Receitas / €	Poupança / €	Custos de produção / €	Custos O&M / €	Investimento / €	$CF_{Acumulado}$ / €
0	512 447	16 371,59 €	55 240,30 €	10,61 €	0,00 €	240 000,00 €	-168 398,72 €
1	509 629	16 607,18 €	53 246,12 €	10,55 €	0,00 €	0,00 €	-98 555,97 €
2	506 826	16 515,84 €	51 323,94 €	10,49 €	1 787,00 €	0,00 €	-32 513,69 €

Ano	Produção / kWh	Injeção/Receitas / €	Poupança / €	Custos de produção / €	Custos O&M / €	Investimento / €	$CF_{Acumulado}$ / €
3	504 038	16 425,00 €	49 471,14 €	10,43 €	1 799,51 €	0,00 €	31 572,51 €
4	501 266	16 334,66 €	47 685,23 €	10,38 €	1 812,11 €	0,00 €	93 769,92 €
5	498 509	16 244,82 €	45 963,80 €	10,32 €	1 824,79 €	0,00 €	154 143,43 €
6	495 767	16 155,48 €	44 304,50 €	10,26 €	1 837,56 €	0,00 €	212 755,59 €
7	493 040	16 066,62 €	42 705,11 €	10,21 €	1 850,43 €	0,00 €	269 666,69 €
8	490 329	15 978,25 €	41 163,46 €	10,15 €	1 863,38 €	0,00 €	324 934,87 €
9	487 632	15 890,37 €	39 677,46 €	10,09 €	1 876,42 €	0,00 €	378 616,18 €
10	484 950	15 802,98 €	38 245,10 €	10,04 €	1 889,56 €	0,00 €	430 764,66 €
11	482 283	15 716,06 €	36 864,45 €	9,98 €	1 902,79 €	0,00 €	481 432,40 €
12	479 630	15 629,62 €	35 533,64 €	9,93 €	1 916,10 €	0,00 €	530 669,64 €
13	476 992	15 543,66 €	34 250,88 €	9,87 €	1 929,52 €	0,00 €	578 524,78 €
14	474 369	15 458,17 €	33 014,42 €	9,82 €	1 943,02 €	0,00 €	625 044,53 €
15	471 760	15 373,15 €	31 822,60 €	9,77 €	1 956,63 €	0,00 €	670 273,90 €
16	469 165	15 288,60 €	30 673,81 €	9,71 €	1 970,32 €	0,00 €	714 256,27 €
17	466 585	15 204,51 €	29 566,48 €	9,66 €	1 984,11 €	0,00 €	757 033,49 €
18	464 018	15 120,88 €	28 499,13 €	9,61 €	1 998,00 €	0,00 €	798 645,89 €
19	461 466	15 037,72 €	27 470,31 €	9,55 €	2 011,99 €	0,00 €	839 132,39 €
20	458 928	14 955,01 €	26 478,64 €	9,50 €	2 026,07 €	0,00 €	878 530,46 €

Ano	Produção / kWh	Injeção/Receitas / €	Poupança / €	Custos de produção / €	Custos O&M / €	Investimento / €	$CF_{Acumulado}$ / €
21	456 404	14 872,76 €	25 522,76 €	9,45 €	2 040,26 €	0,00 €	916 876,28 €
22	453 894	14 790,96 €	24 601,39 €	9,40 €	2 054,54 €	0,00 €	954 204,69 €
23	451 397	14 709,61 €	23 713,28 €	9,34 €	2 068,92 €	0,00 €	990 549,31 €
24	448 915	14 628,71 €	22 857,23 €	9,29 €	2 083,40 €	0,00 €	1 025 942,55 €

Exemplo de cálculo da Tabela D.2:

De acordo com a ficha técnica dos módulos FV, estes sofrem uma percentagem de degradação de 0,55% ano^{-1}.

$$Produção_n = Produção_{n-1} \times (1 - 0{,}0055)$$

Com base na simulação, 21,3 % da energia elétrica produzida é injetada na rede. O preço da eletricidade foi estabelecido a 0,14999 € kWh^{-1}, assumindo uma inflação de 2 % ano^{-1}.

$$Receitas_n = Produção_n \times 0{,}213 \times 0{,}14999 \times (1 + 0{,}02)$$

Para o cálculo das poupanças, assumiu-se o grau de degradação anual dos módulos FV bem como a inflação anual no preço da eletricidade.

$$Poupança_n = Poupança_{n-1} \times (1 - 0{,}0055) \times (1 + 0{,}02)$$

Está associado um custo de 0,0207 € por cada MWh produzido.

$$Custos\ de\ produção_n = Produção_n \times 0{,}0207$$

A empresa fornecedora estimou que não seria necessária a manutenção do sistema no 1º e 2º anos de funcionamento, ou seja, n=0 e n=1, começando apenas no 3º (n=2). A fornecedora estabeleceu um custo de 1787,00 € para manutenção, com um aumento de 0,7 % ano^{-1}.

$$Custos\ de\ manutenção_n = Custos\ de\ manutenção_{n-1} \times (1 + 0{,}007)$$

O *Cash-Flow* acumulado representa todos os custos e poupanças gerados pelo sistema.

$$Cash-Flow\ Acumulado_n = Cash-Flow\ Acumulado_{n-1} - Investimento_n - Custos\ de\ produção_n - Custos\ de\ manutenção_n + Receitas_n + Poupança_n$$

Exemplo de cálculo para o ano n=4:

$$Produção_{n=4} = 504\,038 \times (1 - 0{,}0055) = 501\,266\ kWh$$

$$Receitas_{n=4} = 501\,266 \times 0{,}213 \times 0{,}14999 \times (1 + 0{,}02) = 16\,425{,}00\ €$$

$$Poupança_{n=4} = 49\,471{,}14 \times (1 - 0{,}0055) \times (1 + 0{,}02) = 53\,246{,}12\ €$$

$$Custos\ de\ produção_{n=4} = 501\,266 \times 0{,}0207 = 10{,}38\ €$$

$$Custos\ de\ manutenção_{n=4} = 1\,799{,}51 \times (1 + 0{,}007) = 1\,812{,}11\ €$$

$$Cash-Flow\ Acumulado_n = 31\,572{,}51 - 0 - 10{,}38 - 1\,812{,}11 + 16\,425{,}00 + 47\,685{,}23 = 93\,769{,}92\ €$$

D.1.1 Análise de investimento sem empréstimo

Tabela D.3. Mapa de cash-flows do investimento no sistema FV sem empréstimo.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	240 000,00 €										
CFE		71 601,28 €	73 033,57 €	73 003,25 €	73 003,31 €	73 003,37 €	73 003,43 €	73 003,48 €	73 003,54 €	73 003,59 €	73 003,65 €
CFG	-240 000,00 €	71 601,28 €	73 033,57 €	73 003,25 €	73 003,31 €	73 003,37 €	73 003,43 €	73 003,48 €	73 003,54 €	73 003,59 €	73 003,65 €

D.1.2 Análise de investimento com empréstimo

Tabela D.4. Mapa de cash-flows do investimento do sistema FV com empréstimo.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	240 000,00 €										
Juros		21 600,00 €	20 369,14 €	18 990,58 €	17 446,59 €	15 717,33 €	13 780,55 €	11 611,36 €	9 181,86 €	6 460,82 €	3 413,27 €
CFE		50 001,28 €	52 664,43 €	54 012,67 €	73 013,74 €	57 286,04 €	59 222,88 €	61 392,13 €	63 821,68 €	66 542,77 €	69 590,38 €
CFG	-240 000,00 €	50 001,28 €	52 664,43 €	54 012,67 €	73 013,74 €	57 286,04 €	59 222,88 €	61 392,13 €	63 821,68 €	66 542,77 €	69 590,38 €

Tabela D.5. Mapa do serviço de dívida do projeto.

Vida útil	Capital dívida inicial	Juros	Prestação	Amortização capital	Capital amortizado	Capital dívida final
0	180 000,00 €	-	-	-	-	180 000,00 €
1	180 000,00 €	21 600,00 €	31 857,15 €	10 257,15 €	10 257,15 €	169 742,85 €
2	169 742,85 €	20 369,14 €	31 857,15 €	11 488,01 €	21 745,16 €	158 254,84 €
3	158 254,84 €	18 990,58 €	31 857,15 €	12 866,57 €	34 611,73 €	145 388,27 €
4	145 388,27 €	17 446,59 €	31 857,15 €	14 410,56 €	49 022,28 €	130 977,72 €
5	130 977,72 €	15 717,33 €	31 857,15 €	16 139,82 €	65 162,11 €	114 837,89 €
6	114 837,89 €	13 780,55 €	31 857,15 €	18 076,60 €	83 238,71 €	96 761,29 €
7	96 761,29 €	11 611,36 €	31 857,15 €	20 245,79 €	103 484,50 €	76 515,50 €
8	76 515,50 €	9 181,86 €	31 857,15 €	22 675,29 €	126 159,79 €	53 840,21 €
9	53 840,21 €	6 460,82 €	31 857,15 €	25 396,32 €	151 556,12 €	28 443,88 €
10	28 443,88 €	3 413,27 €	31 857,15 €	28 443,88 €	180 000,00 €	0,00 €
Total	-	138 571,50 €	-	-	-	-
Investimento total	240 000,00 €	-	-	-	-	-
Empréstimo	180 000,00 €	-	-	-	-	-
Capital próprio	60 000,00 €	-	-	-	-	-

D.2 Projeto caldeira a biomassa

De forma a estudar a viabilidade de investimento da caldeira, foi necessário estimar os custos e receitas que vão ser gerados.

Para o cálculo dos custos, foi tido em conta os custos de manutenção associados à caldeira, e o custo do pó de cortiça necessário de ser comprado. É difícil saber os custos de manutenção de uma caldeira, pelo que se assumiu 1 000 € ano^{-1}. Para a caldeira com grelha móvel e 2 000 € ano^{-1} para a caldeira com grelha plana. Relativamente aos custos de pó de cortiça, totalizam-se em 7 482 €. Não se considerou os custos associados à disposição das cinzas geradas.

$$C = Custos\ de\ manutenção_{caldeira\ g.plana} + Compras_{pó\ de\ cortiça} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow R = 1000 + 7481{,}09 = 8481{,}09 \frac{€}{ano}$$

Para o cálculo das receitas/poupanças geradas, considerou-se o GN que deixará de ser consumido. Também se assumiu um custo de 1000 € ano^{-1} para manutenção da caldeira.

$$R = Custo_{GN} + Custos\ de\ manutenção_{caldeira} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow R = \ 328106{,}52 + 1000 = \ 329106{,}52 \frac{€}{ano}$$

D.2.1 Análise de investimento ao projeto com grelha plana

Tabela D.6. Mapa de cash-flows do investimento ao projeto com grelha plana.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	517 056,20 €										
Juros		52 739,73 €	49 734,40 €	46 368,43 €	42 598,55 €	38 376,28 €	33 647,33 €	28 350,91 €	22 418,93 €	15 775,10 €	8 334,02 €
CFE		266 885,70 €	269 891,03 €	273 257,00 €	277 026,88 €	281 249,15 €	285 978,10 €	291 274,52 €	297 206,50 €	303 850,33 €	311 291,41 €
CFG	-517 056,20 €	266 885,70 €	269 891,03 €	273 257,00 €	277 026,88 €	281 249,15 €	285 978,10 €	291 274,52 €	297 206,50 €	303 850,33 €	311 291,41 €

Tabela D.7. Mapa do serviço de dívida do projeto com grelha plana.

Vida útil	Capital dívida inicial	Juros	Prestação	Amortização capital	Capital amortizado	Capital dívida final
0	439 497,77 €	-	-	-	-	439 497,77 €
1	439 497,77 €	52 739,73 €	77 784,15 €	25 044,41 €	25 044,41 €	414 453,36 €
2	414 453,36 €	49 734,40 €	77 784,15 €	28 049,74 €	53 094,16 €	386 403,62 €
3	386 403,62 €	46 368,43 €	77 784,15 €	31 415,71 €	84 509,87 €	354 987,90 €
4	354 987,90 €	42 598,55 €	77 784,15 €	35 185,60 €	119 695,47 €	319 802,31 €
5	319 802,31 €	38 376,28 €	77 784,15 €	39 407,87 €	159 103,33 €	280 394,44 €
6	280 394,44 €	33 647,33 €	77 784,15 €	44 136,81 €	203 240,15 €	236 257,62 €
7	236 257,62 €	28 350,91 €	77 784,15 €	49 433,23 €	252 673,38 €	186 824,39 €
8	186 824,39 €	22 418,93 €	77 784,15 €	55 365,22 €	308 038,60 €	131 459,18 €
9	131 459,18 €	15 775,10 €	77 784,15 €	62 009,04 €	370 047,64 €	69 450,13 €
10	69 450,13 €	8 334,02 €	77 784,15 €	69 450,13 €	439 497,77 €	0,00 €
Total	-	338 343,69 €	-	-	-	-
Investimento total	517 056,20 €	-	-	-	-	-
Empréstimo	439 497,77 €	-	-	-	-	-
Capital próprio	77 558,43 €	-	-	-	-	-

D.2.1 Análise de investimento ao projeto com grelha móvel

Tabela D.8. Mapa de cash-flows do investimento ao projeto com grelha móvel.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	543 339,36 €										
Juros		55 420,61 €	52 262,52 €	48 725,45 €	44 763,93 €	40 327,03 €	35 357,70 €	29 792,06 €	23 558,53 €	16 576,99 €	8 757,65 €
CFE		265 204,82 €	268 362,91 €	271 899,98 €	275 861,50 €	280 298,40 €	285 267,73 €	290 833,37 €	297 066,90 €	304 048,44 €	311 867,78 €
CFG	-543 339,36 €	265 204,82 €	268 362,91 €	271 899,98 €	275 861,50 €	280 298,40 €	285 267,73 €	290 833,37 €	297 066,90 €	304 048,44 €	311 867,78 €

Tabela D.9. Mapa do serviço de dívida do projeto com grelha móvel.

Vida útil	Capital dívida inicial	Juros	Prestação	Amortização capital	Capital amortizado	Capital dívida final
0	461 838,46 €	-	-	-	-	461 838,46 €
1	461 838,46 €	55 420,61 €	81 738,09 €	26 317,48 €	26 317,48 €	435 520,98 €
2	435 520,98 €	52 262,52 €	81 738,09 €	29 475,58 €	55 793,05 €	406 045,40 €
3	406 045,40 €	48 725,45 €	81 738,09 €	33 012,64 €	88 805,70 €	373 032,76 €
4	373 032,76 €	44 763,93 €	81 738,09 €	36 974,16 €	125 779,86 €	336 058,59 €
5	336 058,59 €	40 327,03 €	81 738,09 €	41 411,06 €	167 190,92 €	294 647,53 €
6	294 647,53 €	35 357,70 €	81 738,09 €	46 380,39 €	213 571,31 €	248 267,14 €
7	248 267,14 €	29 792,06 €	81 738,09 €	51 946,04 €	265 517,35 €	196 321,11 €
8	196 321,11 €	23 558,53 €	81 738,09 €	58 179,56 €	323 696,91 €	138 141,55 €
9	138 141,55 €	16 576,99 €	81 738,09 €	65 161,11 €	388 858,02 €	72 980,44 €
10	72 980,44 €	8 757,65 €	81 738,09 €	72 980,44 €	461 838,46 €	0,00 €
Total	-	355 542,48 €	-	-	-	-
Investimento total	543 339,36 €	-	-	-	-	-
Empréstimo	461 838,46 €	-	-	-	-	-
Capital próprio	81 500,90 €	-	-	-	-	-

Apêndice E – Cálculo dos novos indicadores energéticos

Os dados de conversão dos consumos energéticos para toneladas equivalentes de petróleo e toneladas equivalentes de CO_2 foram retiradas do Despacho nº 17313/2008 [35].

A Tabela E.1 apresenta a estimativa dos consumos energéticos após a implementação do projeto solar fotovoltaico bem como o projeto da caldeira a biomassa.

Tabela E.1. Estimativa dos consumos energéticos após implementação dos projetos.

Combustível	**kgep**	**kg_{CO2e}**
Pellets	105 864,0	0
Pó de cortiça	147 633,1	0
Energia elétrica FV	86 430,0	0
Energia elétrica rede	237 010,0	518 114,8
Gás natural	23 619,8	63 388,4
Gás Propano	384,7	1 014,6
Diesel	20 699,3	64 130,6
Total	**621 640,8**	**646 648,4**

A Tabela E.2 apresenta a produção e o VAB referentes ao ano de 2022.

Tabela E.2. Produção e VAB da M.A. Silva em 2022.

Produção / 1000 un.	**VAB / €**
299 767	5 868 254,86

Utilizando as fórmulas apresentadas na Subsecção 2.1.1:

$$IE = \frac{451677{,}3}{5868254{,}86} = 0{,}077 \frac{kgep}{€}$$

$$IC = \frac{646648{,}4}{621640{,}8} = 1{,}04 \frac{kg_{CO_2e}}{kgep}$$

$$CEE = \frac{451677{,}3}{299767} = 1{,}507 \frac{kg_{ep}}{1000\ un}$$

Apêndice F - Caracterização energética da NEOTECH

F.1 Processo produtivo

Como já foi mencionado, a NEOTECH produz rolhas aglomeradas e microaglomeradas, recebendo a sua matéria-prima proveniente da MAS1, após serem perfuradas as rolhas naturais dos traços de cortiça, sendo o resto do material aproveitado para produção das restantes qualidades de rolhas. A Figura F.1 apresenta o fluxograma representativo do processo de produção da NEOTECH, para uma melhor compreensão visual do mesmo.

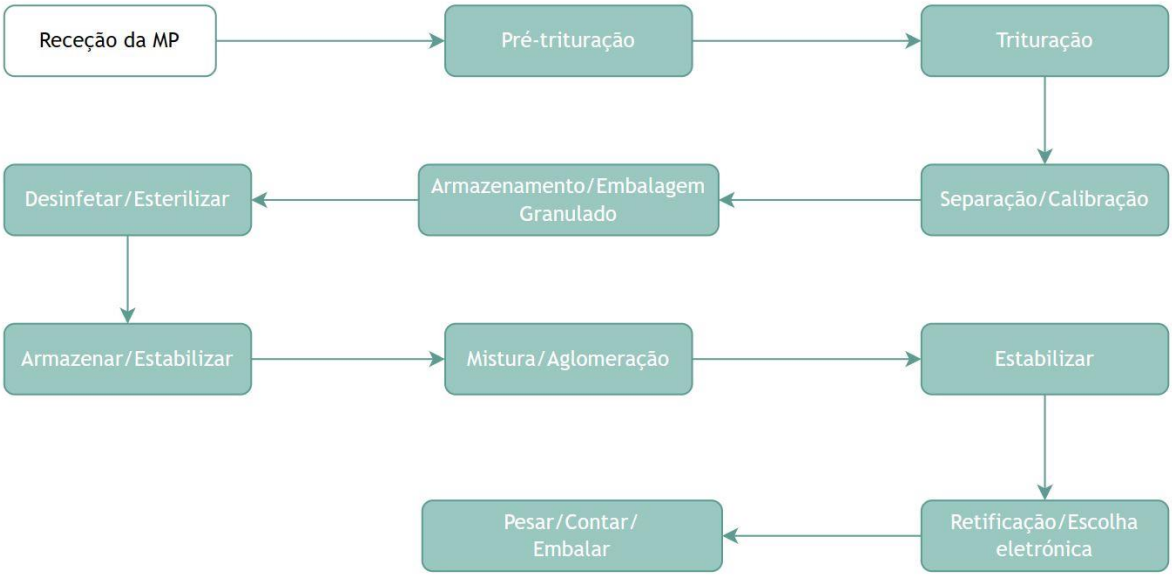


Figura F.1 – Fluxograma do processo de produção na NEOTECH

A etapa de **pré-trituração** serve para a primeira fase de triturar a cortiça recebida na NEOTECH, passando por quebradores e destroçadores que desfazem a cortiça em pedaços menores. Após a Pré-trituração, os pedaços de cortiça continuam muito grandes para serem trabalhados, sendo por isso enviados para moinhos de **trituração** que reduzem cortiça pré-triturada a granulados. Esta etapa de **calibração/separação** separa o granulado consoante o seu tamanho e densidade, recorrendo a equipamentos como um peneiro, um *rotex* e a mesas densimétricas. Numa fase intermédia, procede-se ao **embalamento/armazenamento** para silos de armazenamento e *big-bags*, conforme as necessidades. O granulado necessita de ser desinfetado antes de ser processado em rolhas, passando por um longo processo de **esterilização** em maquinaria própria. De seguida, o granulado passa pela fase de **estabilização**. Após estabilizada a cortiça, inicia-se a etapa de **mistura/aglomeração**, em que o aglomerado é moldado em rolhas aglomeradas e microaglomeradas com aglutinante para granulado de cortiça. Finalizada a mistura, passa-se

pela fase de **estabilização das rolhas**, por períodos não inferiores a 48 horas. Posteriormente, as rolhas moldadas passam à sua **retificação** e **escolha eletrónica**, para obter a regularidade superficial e calibre pretendidos, classificando as mesmas, numa só linha. Por fim, segue-se a etapa de **pesar/contar/embalar**. As rolhas são pesadas através de células de carga, sendo de seguida contadas e armazenadas em sacos de polietileno. Posteriormente, são acondicionadas em caixas de cartão e enviadas para a MAS1 (como indica a Figura 3.1) ou para a instalação estrangeira mais próxima do cliente, para terminarem o seu processo produtivo e serem entregues ao cliente.

F.2 Levantamento energético

Após o levantamento energético da MAS1, foi pedido que se fizesse o mesmo à instalação NEOTECH, procedendo à inventariação de todos os equipamentos e respetiva desagregação por setor, seguida da estimativa dos consumos energéticos.

Estimou-se que a produção apresentou um consumo de cerca de 1 400 MWh em 2022. Na Figura F.2 pode-se observar a distribuição dos consumos da produção ao nível percentual.

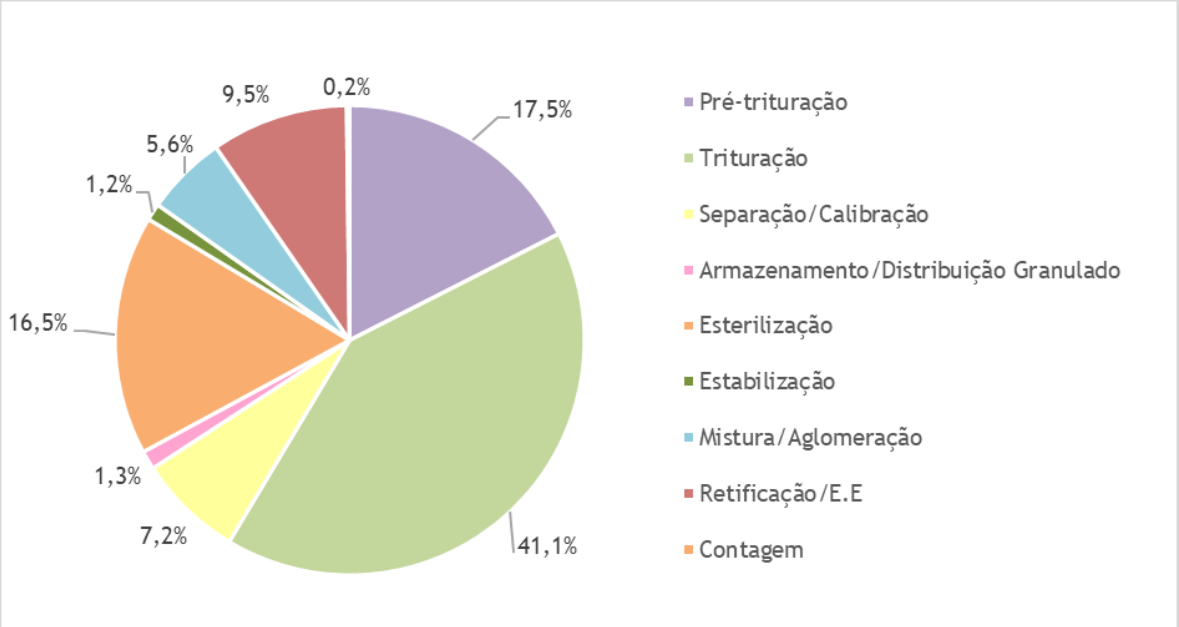


Figura F.2 – Desagregação dos consumos de eletricidade da NEOTECH referentes ao ano 2022

Como a Figura F.2 indica, o processo com maior gasto de eletricidade é a Trituração, representando 41,1 % do consumo global de eletricidade da produção. Logo a seguir, tem-se a Pré-Trituração com a segunda maior percentagem de consumo, 17,5 %, e o Esterilização, com 16,5 %. Além da produção, existem outras zonas consumidoras intensivas de energia, como indica a Tabela F.1.

Tabela F.1. Consumo energético de outras zonas consumidoras intensivas da NEOTECH relativo ao ano 2022.

Outros consumos / MWh	**1 620**
• **Aspiração / MWh**	1 409
• **Ar Comprimido / MWh**	211

Como se observa na Tabela F.1, a aspiração e a central de ar comprimido também representam zonas altamente consumidoras da empresa, com um consumo estimado cerca de 1,2 vezes superior ao consumo da produção.

Apêndice G – Análise da viabilidade de instalação de máquinas de secagem de rolhas UV

Atualmente existe uma estufa que serve para a secagem das rolhas de cortiça marcadas a tinta, quando estas são urgentes ou a humidade é tal que exige uma secagem mais rápida.

A máquina de secagem UV proposta é um equipamento novo no mercado, como mostra a Figura G.1, com uma potência de 1,0 kW e uma velocidade máxima de 12 000 rolhas h^{-1}.



Figura G.1 – UV dryer LED cork

O objetivo é que estas máquinas sejam acopladas às marcadeiras a tinta e assim efetuar a sua secagem, podendo estas passar para a fase de tratamento final imediatamente. Dado o acoplamento, é de referir que as máquinas UV terão de trabalhar pelo menos à mesma velocidade que as marcadeiras a tinta. A Tabela G.1 apresenta o resultado desta análise. Não foi possível disponibilizar mais informação de modo a não partilhar informações acerca dos equipamentos da empresa e do seu funcionamento.

Tabela G.1. Resultados dos consumos dos equipamentos para a produção apresentada em 2022.

Consumo / kWh ano^{-1}	
Secadores UV	Estufa de secagem
5 195	1 182

Através da Tabela G.1, retira-se que o consumo dos secadores UV é superior ao consumo da estufa de secagem, tornando inviável a sua instalação, do ponto de vista energético.