



# ESTUDO NUMA EMPRESA DO CONSUMO ATUAL DE VAPOR E DO IMPACTO DE UMA MÁQUINA NOVA

**VASCO BASTOS DA FONSECA**

outubro de 2024

**ESTUDO NUMA EMPRESA DO CONSUMO ATUAL  
DE VAPOR E DO IMPACTO DE UMA MÁQUINA  
NOVA**

**Vasco Bastos da Fonseca**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em  
Energias**

**Orientador: Leonardo José da Silva Ribeiro, Doutor do ISEP**

**Júri:**

Presidente:

Rui Filipe Neves de Araújo Rego, Professor Adjunto do ISEP

Vogais:

Adélio Cavadas, Professor Adjunto do IPVC

Porto, setembro 2024



# Agradecimentos

Aproveito este espaço para agradecer a várias pessoas pela disponibilidade e pela ajuda que me foi dada ao longo destes meses.

Começo por agradecer aos meus orientadores, Doutor Leonardo Ribeiro e Engenheiro João Tinoco pelo apoio, disponibilidade e por tudo o que aprendi ao longo da realização deste trabalho.

Um agradecimento a todos os trabalhadores da empresa Petibol, S.A – Embalagens de Plástico pela ajuda e disponibilidade na recolha de material e informação necessária para a realização deste trabalho.

Para finalizar quero agradecer aos meus pais, por todo o apoio, dedicação e amor. Obrigado por tudo.



# Resumo

A Petibol, S.A. – Embalagens de plástico, é uma empresa cuja atividade sobressai na produção de plástico a partir da matéria-prima de Poliestireno Expandido (EPS) e Polipropileno Expandido (EPP). A aplicação deste material ocorre em diversas indústrias, tais como a eletrónica, alimentar, civil e, mais recentemente, desportiva. Ao longo da última década a empresa tem vindo a inovar-se e tem feito vários estudos na unidade industrial para identificar falhas e pontos a melhorar. Recentemente foi estudada a qualidade da água e a otimização dos seus consumos tal como os consumos de energia elétrica. Estes estudos contribuíram para a poupança de recursos da empresa e para menor pegada ambiental; a Petibol vê, de facto, a importância em continuar a investir neste tipo de análises à unidade industrial.

A linha de vapor é neste momento o foco de estudo e inovação da unidade industrial. Neste estudo, primeiramente fez-se um levantamento de todo o circuito de vapor e respetivos consumíveis, o que permitiu concluir que seriam necessárias melhorias na instalação para adequá-la aos consumos e tarefas que lhe são exigidos.

Após este levantamento, estudaram-se, teoricamente, todos os consumidores e produtores que integram a linha de vapor, que se compararam com valores reais obtidos mediante caudalímetros. Em seguida, com base na avaliação realizada na linha de vapor, averiguou-se o impacto da introdução de um novo consumidor de energia na linha de produção da Petibol. Com base nos consumidores atuais da empresa e na sua perspetiva de crescimento de produção será feito o dimensionamento ideal dos acumuladores de vapor e da caldeira.

No final, será apresentada uma proposta de melhorias que seja capaz de garantir o bom funcionamento dos equipamentos, com a utilização mais eficiente uso de recursos.

**Palavras-chave:** Energia; Vapor; Otimização energética; Instalação Industrial.



# Abstract

Petibol, S.A. – Plastic Packaging, is a company that excels in the production of plastic from raw materials such as Expanded Polystyrene (EPS) and Expanded Polypropylene (EPP). These materials are used in various industries, including electronics, food, construction, and more recently, sports. Over the past decade, the company has been continuously innovating and has conducted several studies at its industrial facility to identify areas for improvement. Recently, the quality of water and the optimization of its consumption, as well as the consumption of electricity, were studied. These studies have contributed to the company's resource savings and a reduced environmental footprint; Petibol recognizes the importance of continuing to invest in such analyses of the industrial unit.

Currently, the steam line is the focus of study and innovation at the industrial facility. In this study, the entire steam circuit and its components were first surveyed, which led to the conclusion that improvements to the installation would be necessary to meet the demands and tasks required of it.

After this assessment, all the consumers and producers within the steam line were theoretically studied and compared with real values obtained from flow meters. Next, based on the evaluation of the steam line, the impact of introducing a new energy consumer into Petibol's production line was investigated. The ideal sizing of steam accumulators will be based on the current consumers within the company and its projected production growth.

Finally, a proposal for improvements will be made to ensure the optimal functioning of the equipment with the most efficient use of resources.

**KEYWORDS:** Energy; Steam; Energy Optimization; Industrial Plant.



# Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Gráficos.....	xv
Acrónimos e Símbolos.....	xvii
1. Petibol, S.A. – Embalagens de plástico .....	1
1.1. Caracterização empresarial .....	1
1.1.1. Enquadramento geográfico .....	1
1.1.2. História da empresa.....	2
1.1.3. Matéria-prima.....	3
1.1.4. Aplicação do produto e serviços.....	5
1.1.5. Processo de fabrico.....	6
1.1.6. Política de qualidade.....	8
1.1.7. Compromisso com o ambiente.....	8
1.2. Unidade industrial.....	12
1.2.1. Estação de bombagem.....	12
1.2.2. Estação da caldeira .....	13
1.2.3. Estação dos acumuladores.....	18
1.2.4. Estação técnica .....	19
2. Consumo de gás.....	22
2.1. Análise ao ano 2023 .....	23
2.2. Análise ao ano 2022 .....	24
3. Produção de vapor .....	26
3.1. Custo do vapor .....	27
3.2. Rendimento da caldeira .....	28
3.3. Quantidade de vapor disponível para consumo .....	31
3.3.1. Caldeira .....	31
3.3.2. Acumuladores .....	31
4. Dados de produção.....	36
4.1. Consumo teórico das máquinas.....	36
4.2. Consumos estimados das máquinas consoante a produção .....	40
4.2.1. Análise ano 2023.....	40
5. Valores práticos .....	46
5.1. Análise e comparação entre o consumo de vapor e consumo de gás.....	46
5.2. Análise de picos de consumo de vapor e validação dos equipamentos de vapor.....	48

5.2.1. Acumulador 1.....	48
5.2.2 Acumulador 2.....	54
6. Conclusões .....	58
6.1. Dimensionamento da caldeira .....	59
6.2. Dimensionamento dos acumuladores .....	60
7. Propostas de melhoria .....	64
Referências.....	68
Declaração de Integridade .....	70
Anexo A .....	72
Anexo B .....	76
Anexo C .....	77
Anexo D.....	87

# Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa de Matosinhos, Porto. [1] .....	1
Figura 2 - Localização da Petibol. [3].....	2
Figura 3 – Um dos três pré-expansores de EPS que integram a linha de produção dos moldados. .....	3
Figura 4 - Silos de EPS.....	4
Figura 5 - Linha de produção dos moldados .....	6
Figura 6 - Máquina de blocos.....	7
Figura 7 - Máquina de corte de blocos. ....	7
Figura 8 - Esquema global da unidade industrial. ....	9
Figura 9- Percurso da água ao longo da estação de bombagem, sala da caldeira e sala técnica. .....	11
Figura 10 - Bombas balão que equipam a estação de bombagem da Petibol.....	12
Figura 11 - Desferrizadores que equipam a linha de tratamento de água da Petibol.....	13
Figura 12 - Descalcificadores que equipam a linha de tratamento de água da Petibol. ....	14
Figura 13 - Explicação ilustrativa do funcionamento do descalcificador. [15] .....	14
Figura 14 - Desgasificador presente na Petibol. ....	15
Figura 15 - Explicação esquemática do funcionamento do economizador. [17].....	15
Figura 16 - Caldeira presente na Petibol.....	16
Figura 17 - Esquema representativo de uma caldeira tubular. [20] .....	17
Figura 18 -Esquema de montagem típico de caldeira e acumulador. [22] .....	19
Figura 19 - Compressor Nirvana R110. ....	20
Figura 20 - Central de vácuo instalada na estação técnica. ....	20
Figura 21 - Torres de arrefecimento. ....	21
Figura 22 - Tanque de água quente, saída dos condensados. ....	21
Figura 23- Limites sugeridos de qualidade de água em caldeiras de acordo com a ASME. ....	72
Figura 24- Características técnicas, BMVT 8-8.....	73
Figura 25 - Características técnicas, BMVT 8-18.....	74
Figura 26- Linha de vapor na instalação industrial da Petibol. ....	75
Figura 27- Análise dos gases de combustão. ....	90



# Lista de Tabelas

Tabela 1- Especificações técnicas, Caldeira L.G.I. ....	17
Tabela 2-Principais características do queimador. ....	18
Tabela 3- Consumo médio de gás distribuído pelos meses do ano de 2023. ....	24
Tabela 4 - Consumo médio de gás distribuído pelos meses do ano de 2022. ....	24
Tabela 5- Informações operacionais da caldeira. ....	30
Tabela 6- Consumo teórico de energia por máquina. ....	39
Tabela 7- Consumo de vapor ao longo do mês de janeiro 2023. ....	42
Tabela 8-Consumo de vapor ao longo do mês de fevereiro 2023. ....	43
Tabela 9- Consumo de vapor ao longo do mês de março 2023. ....	44
Tabela 10 - Análise comparativa do consumo de energia registado pelo caudalímetro com o consumo de energia registado nas faturas de gás. ....	47
Tabela 11 - Capacidade de resposta de Vapor Instantâneo dos acumuladores VS Pico de consumo de vapor registado. ....	58
Tabela 12 - Consumo teórico de vapor por máquina. ....	61
Tabela 13- Registo dos consumos de gás kWh. ....	76
Tabela 14 - Registo de ciclos executados pelas 20 máquinas da linha de moldados ao longo dos três primeiros meses do ano de 2023, juntamente com o seu consumo teórico de energia. ....	77
Tabela 15- Composição do gás natural. ....	88



# Lista de Gráficos

Gráfico 1- Registo dos consumos de gás kWh. ....	22
Gráfico 2- Distribuição do consumo de vapor pelas máquinas. ....	38
Gráfico 3- Distribuição do consumo de vapor pelos acumuladores. ....	38
Gráfico 4- Pico de carga de vapor   Acumulador 1. ....	49
Gráfico 5 - Pico de carga de vapor   Acumulador 2. ....	53
Gráfico 6 - Distribuição do consumo teórico de vapor entre os acumuladores. ....	62



# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
EPS	Poliestireno Expandido
EPP	Polipropileno Expandido
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
CFC	Clorofluorcarboneto
HCFC	Hidrofluorcarboneto
SGA	Sistemas de Gestão Ambiental
ISO	Organização Internacional de Normalização

## Lista de Símbolos

<i>M</i>	massa	kg
<i>T</i>	temperatura	°C
Hab	Habitante	-
km	quilometro	-
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono	-
SO <sub>2</sub>	dióxido de enxofre	-
Na <sup>+</sup>	sódio	-
NaCl	cloreto de sódio	-
Mg <sup>+</sup>	magnésio	-
m	metro	-
kW	quilowatt	-
h	hora	-



# 1. Petibol, S.A. – Embalagens de plástico

A Petibol, S.A. – Embalagens de plástico, é uma empresa que produz peças moldadas em plástico a partir da matéria-prima de Poliestireno Expandido (EPS) e Polipropileno Expandido (EPP). Estes materiais aplicam-se em diversas indústrias, tais como a eletrónica, alimentar, civil e mais recentemente desportiva, produzindo embalagens ou equipamentos técnicos. Para mais informações sobre o contacto da empresa e sua localização pode consultar-se [www.petibol.pt](http://www.petibol.pt).

A empresa tem vindo a crescer, tendo atualmente 70 trabalhadores, o que corresponde a um aumento de cerca de 40% na última década.

A fábrica de acordo com o volume de encomendas pode operar num regime de até três turnos diários, vinte e quatro horas por dia, das oito horas da manhã de segunda-feira, às oito horas da manhã de sábado.

## 1.1. Caracterização empresarial

### 1.1.1. Enquadramento geográfico

É na freguesia de Leça do Balio, a Este do concelho de Matosinhos, que se encontra a empresa, como se pode observar pela Figura 1.



Figura 1 - Mapa de Matosinhos, Porto. [1]

## 1. PETIBOL, S.A. – EMBALAGENS DE PLÁSTICO

Baseando em dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística em 2014, Leça do Balio é uma vila com 17 571 habitantes e uma área de 8,8 km<sup>2</sup>, o que corresponde a uma densidade habitacional de 1 978,7 hab/km<sup>2</sup>. [2]

A zona onde se insere a Petibol tem elevada acessibilidade, a freguesia é atravessada por extensas linhas rodoviárias, uma via ferroviária e a linha do metro do Porto, sendo a estação do Araújo situada a menos de 1 minuto da empresa, Figura 2.

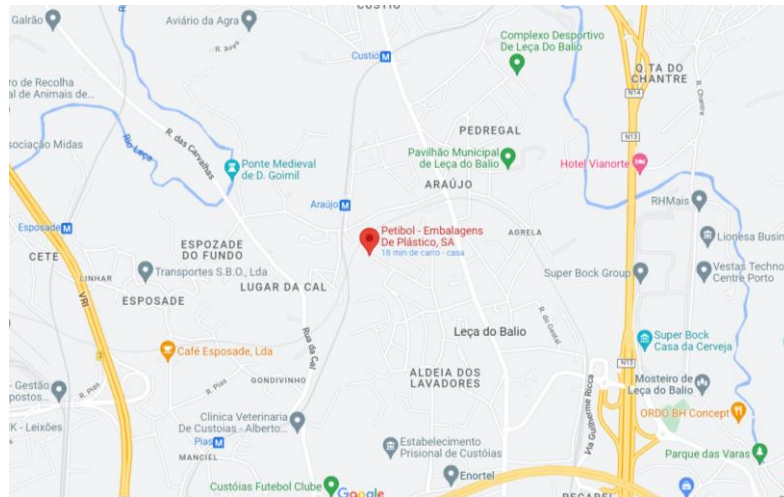


Figura 2 - Localização da Petibol. [3]

### 1.1.2. História da empresa

A Petibol iniciou a sua atividade em 1980. Os seus sócios fundadores foram Jorge Araújo, Carlos Monteiro, Luís Monteiro e Emmanuel Falisse, este último de nacionalidade belga o que, desde o início, acentuou a tendência da empresa para a internacionalização. Inicialmente, a atividade da Petibol consistia exclusivamente na transformação de EPS para aplicação em diversas indústrias, tais como a eletrónica e alimentar, entre outras. Nessa altura também desenvolveu soluções para a construção civil, uma área que tem vindo a aprofundar ao longo do tempo.

Em agosto de 2000, a Petibol mudou-se para Leça do Balio, com o objetivo de oferecer aos clientes melhores instalações e soluções mais adequadas às suas necessidades. Para isso, a nova unidade foi concebida e equipada com a mais avançada tecnologia do setor.

Em 2002 a Petibol iniciou a transformação de Polipropileno Expandido (EPP) no âmbito de um projeto que envolveu uma empresa norueguesa e parceiros portugueses de elevado valor tecnológico.

Atualmente, a Petibol é uma empresa com cerca de 70 colaboradores, que combina profissionais com mais de 30 anos de experiência no setor e jovens altamente qualificados. [4]

### 1.1.3. Matéria-prima

A Petibol produz peças moldadas em EPS e EPP para empresas de diversos setores, tal como, automóvel, construção, alimentar, eletrónica, sanitária, entre outras.

#### **Poliestireno expandido**

O EPS, Poliestireno expandido é considerado um polímero da família dos termoplásticos e as suas principais características são: [5] [6]

- Baixo peso;
- Baixa condutibilidade térmica;
- Resistência mecânica;
- Baixa absorção de água;
- Versatilidade;
- Resistência química;
- Reciclável.

O Poliestireno expandido contém um agente expensor, o pentano, obtido a partir do petróleo.

A sua produção passa por um processo de transformação física constituída por três etapas, pré-expansão, estabilização nos silos e moldagem.

#### **Pré-expansão**

O primeiro processo de transformação física da matéria-prima é realizado num pré-expansor, Figura 3, este, tal como o nome indica vai numa fase inicial expandir o EPS. Aquecendo o Poliestireno com vapor de água, o pentano começa a reagir e o EPS dilata, sendo possível aumentar o seu volume até cinquenta vezes maior que o inicial.



*Figura 3 – Um dos três pré-expansores de EPS que integram a linha de produção dos moldados.*

### **Estabilização nos silos**

O EPS depois de pré-expandido é armazenado nos silos, Figura 4. Este período de estabilização é essencial para que o granulado de EPS atinja as propriedades/estado pretendido para a moldagem. O tempo de maturação, dependendo do tipo de material e massa volúmica varia entre 8 a 72 horas.

]



*Figura 4 - Silos de EPS.*

### **Moldagem**

Por último, o granulado depois do período de estabilização está pronto a ser injetado nos moldes. Depois do material ser injetado nos moldes é novamente aquecido, com vapor de água e dá-se nova expansão. Através do molde, a expansão do material fica limitada, gerando uma aglomeração das bolas de EPS e, conseqüentemente, obtém-se o produto final com a forma pretendida.

### **Polipropileno expandido**

Quanto ao EPP, Polipropileno expandido, este também se encontra na mesma família que o EPS e as suas principais características são: [7] [6]

- Leveza;
- Resistência mecânica;
- Proteção contra impactos;
- Propriedades acústicas;
- Propriedades térmicas;
- Resistência química;
- Reciclável.

O Polipropileno expandido não necessita das etapas de pré-expansão e estabilização nos silos como no EPS, o material é logo injetado para a máquina dos moldados. No entanto, é necessária muito mais energia para produzir a mesma peça, aproximadamente três vezes mais

vapor do que se fosse em EPS, e também as máquinas de EPP devem aguentar maiores pressões em comparação com as de EPS.

#### **1.1.4. Aplicação do produto e serviços**

O EPS e o EPP são soluções para várias aplicações, adequando-se às mais exigentes necessidades dos dias de hoje. As propriedades destas matéria-prima permitem que haja uma grande aplicabilidade em diferentes áreas: [8]

i) Embalagens:

- (1) Alimentar, as propriedades de isolamento térmico do EPS ajudam a manter os alimentos frescos e evitam a condensação em toda a cadeia de distribuição;
- (2) Industrial, estes materiais protegem e isolam produtos sensíveis, tais como equipamentos médicos, componentes eletrónicos, entre outros.

ii) Peças técnicas:

- (1) Segurança, núcleos de capacetes altamente resistentes ao choque feitos em EPS e EPP reduzem o risco de lesões graves em atividades desportivas e de lazer;
- (2) Automóvel, componentes de absorção de choque, sistemas de armazenamento e retenção;
- (3) Sistemas sanitários, o EPS é utilizado no fabrico de tanques de autoclismos, devido às suas propriedades de isolamento acústico, leveza e baixa capacidade de absorção de água.

iii) Construção, o EPS é amplamente utilizado na indústria da construção civil graças às suas propriedades de isolamento. É resistente e pode ser usado em fachadas, paredes, tetos e pisos em edifícios e ainda como material de flutuação na construção de marinas e pontões e como aterro leve na construção de estradas.

### 1.1.5. Processo de fabrico

A Petibol distribui a sua produção por três áreas de fabrico: uma destinada à produção de peças moldadas, outra para produção de Betisol e, por último, uma secção reservada para a produção de blocos e corte de placas.

#### **Produção de peças moldadas, zona dos moldados**

Esta área de produção está equipada com dezassete máquinas reservadas ao processamento de peças moldadas em EPS e três máquinas destinadas a peças moldadas em EPP. Na Figura 5, encontra-se ilustrada a linha de produção dos moldados.



*Figura 5 - Linha de produção dos moldados.*

Quando as peças saem da máquina são avaliadas para averiguar se estão dentro das conformidades previamente estabelecidas e no caso de possuírem todos os pré-requisitos são embaladas.

No caso das peças de EPP, estas necessitam de passar pela estufa, durante um período de 8h a 80 °C para ser atingida a massa volúmica e formato da peça pretendidos.

#### **Produção de Betisol**

O Betisol é um produto utilizado na construção civil para ser misturado com o cimento e obter betão. São várias as vantagens do Betisol: é possível obter uma massa volúmica vinte vezes inferior à dos inertes tradicionais, a capacidade do betão de Betisol chega a ser até trinta vezes mais isolante que o betão normal, entre outras. [9]

A produção deste material, consiste na mistura de EPP reciclado com material virgem, sendo o material reciclado proveniente de:

- Peças não conformes;
- EPS para reciclagem, recolhido de ecopontos pertencentes à Sociedade Ponto Verde.

Após a trituração no moinho, ao granulado é adicionado um aditivo líquido, que irá facilitar a posterior mistura do Betisol com o cimento.

### **Produção de blocos e corte de placas**

A área de produção de blocos está equipada por duas máquinas de blocos. Estas máquinas funcionam pelo mesmo princípio de que as das peças moldadas, como anteriormente abordado no capítulo 1.1.3, a única diferença é que a configuração do bloco final irá ser limitado pela geometria própria da máquina. Na Figura 6, encontra-se ilustrada uma máquina de blocos.



*Figura 6 - Máquina de blocos.*

A produção destes blocos destina-se maioritariamente à construção civil, como por exemplo, produção de caixilharias de isolamento térmico de edifícios.

Esta área é também equipada por uma zona de corte, por onde passam os blocos para serem cortados na espessura pretendida. O processo do corte é baseado no fenómeno físico conhecido por efeito de Joule em que se faz passar corrente eléctrica num cabo que faz com que este aqueça. Na Figura 7, está representada uma das máquinas que equipa a secção de corte dos blocos.



*Figura 7 - Máquina de corte de blocos.*

### **1.1.6. Política de qualidade**

A Petibol segue um sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) que garante a satisfação de todas as exigências do cliente, bem como a prevenção de falhas e a melhoria contínua dos processos de produção.

Assim, o SGQ da Petibol é implantado interna e externamente. Internamente, no envolvimento de todos os colaboradores para a melhoria contínua e, externamente, na satisfação das necessidades dos clientes.

O sistema de garantia da qualidade encontra-se certificado pela norma NP ISO 9001/2015.

### **1.1.7. Compromisso com o ambiente**

O fabrico e utilização de EPS e EPP não representam nenhum risco para a saúde humana ou para o meio ambiente, e o seu impacto ambiental é praticamente inexistente. O EPS representa uma porção muito pequena dos resíduos sólidos urbanos (inferior a 0,1%).

As matérias-primas são 100% recicláveis, havendo inúmeras aplicações para os materiais recuperados.

O EPS e o EPP não danificam a camada do ozono, pois no seu processo de fabrico não utilizam gases CFC e HCFC. Estes materiais são insolúveis em água e não libertam substâncias nocivas para o ambiente. Os processos de fabrico do EPS e do EPP consomem pouca energia quando comparados com os processos de fabrico de outros materiais alternativos.

A utilização de EPS no isolamento térmico de edifícios permite uma poupança de energia, contribuindo para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

A Petibol está certificada pela norma ISO 14001/2015 – Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). [10]

**PETIBOL**  
 Elaborado por: Vasco Fonseca  
 Aprovado por: João Tinoco  
 Data: 15/03/2023

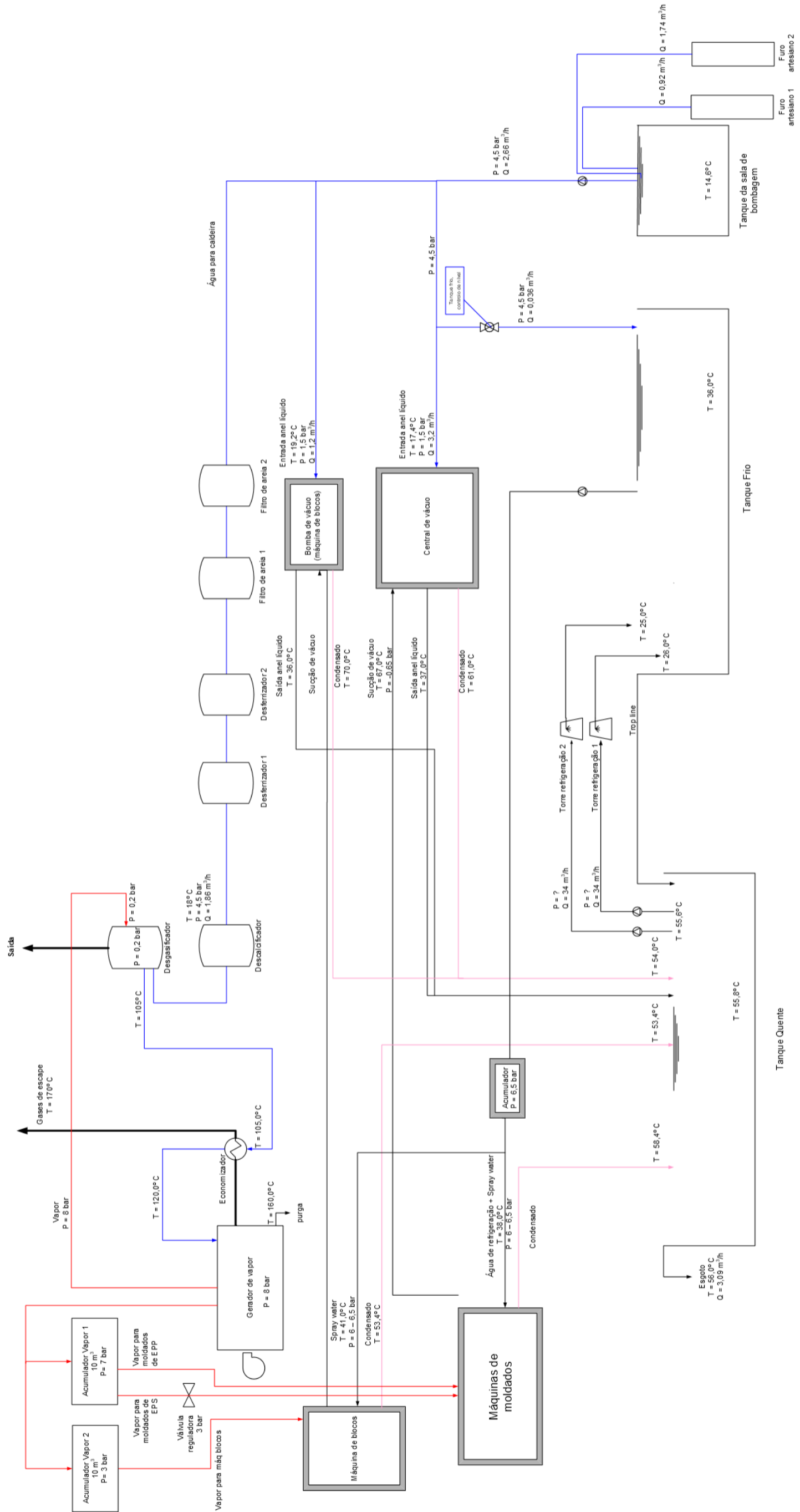


Figura 8 - Esquema global da unidade industrial.



## 1.2. Unidade industrial

A instalação industrial da Petibol é composta por diferentes estações, incluindo a estação de bombagem, a estação da caldeira, a estação dos acumuladores e a estação técnica. A Figura 8 ilustra a configuração geral da unidade industrial da empresa Petibol e a Figura 9, representa o circuito da água ao longo das estações de bombagem, caldeira e estação técnica.

### 1.2.1. Estação de bombagem

A estação de bombagem, resumidamente, está equipada por um tanque de bombagem, duas bombas balão, como ilustrado na Figura 10, e um filtro de areia. O tanque de bombagem é abastecido recorrendo a duas bombas balão que bombeiam a água desde os poços artesianos. Este processo é realizado diariamente durante doze horas e é controlado por um sistema de pressão.

Com a intenção de remover os sólidos em suspensão que estejam dissolvidos na água recorre-se a um filtro de areia. O filtro de areia pode ser descrito como um tanque preenchido de areia com um fluxo drenante, onde ocorre a remoção de poluentes. [11]

A água após sair do filtro de areia é dividida e segue para a estação da caldeira e para a estação técnica.

As bombas que equipam esta estação são duas bombas do tipo verticais, BMVT8-8 e as suas características podem ser consultadas no catálogo do fabricante que se encontra na Figura 24 do Anexo A.



*Figura 10 - Bombas balão que equipam a estação de bombagem da Petibol.*

### 1.2.2. Estação da caldeira

Nesta estação o objetivo é gerar vapor que depois se segue para a estação dos acumuladores. A estação da caldeira é equipada por diferentes equipamentos por onde passa a água com o propósito de ser tratada antes de seguir para a caldeira. A água deve chegar à caldeira o mais convenientemente tratada, de acordo com os padrões definidos pela *American Boiler and Affiliated Industries Manufactures Association's (ASME)*. A falta de atenção a este aspeto pode prejudicar o bom funcionamento da caldeira, originando problemas na produção de vapor e na durabilidade dos equipamentos. As especificações pormenorizadas da *ASME* podem ser consultadas na Figura 23 do Anexo A.

#### **Desferrizador**

O desferrizador, tal como o nome indica, tem como finalidade a remoção do ferro e do manganês da água; este tratamento é comum em águas extraídas de poços tal como é o caso. Na Figura 11, estão ilustrados os desferrizadores equipados na linha de tratamento da água.

O ferro e o manganês são removidos da água utilizando um meio que promove a reação entre os contaminantes e o oxigénio presente na água. A reação forma um precipitado insolúvel que pode ser posteriormente filtrado pelo meio filtrante. O meio filtrante atua como catalisador, o que significa que embora promova a reação não é consumido no processo, permitindo ao meio filtrante uma longa vida. [12]



*Figura 11 - Desferrizadores que equipam a linha de tratamento de água da Petibol.*

#### **Descalcificador**

O descalcificador tem como objetivo remover a dureza da água através de um processo de permuta de iões. Na Figura 12, estão ilustrados os descalcificadores equipados na linha de tratamento da água.



Figura 12 - Descalcificadores que equipam a linha de tratamento de água da Petibol.

O processo de remoção da dureza da água consiste na substituição dos catiões supracitados por compostos mais solúveis baseados em sódio ( $\text{Na}^+$ ), no interior de um vaso de pressão cheio de resina. Quando a resina é carregada com salmoura ( $\text{NaCl}$ ), ela fica carregada com catiões  $\text{Na}^+$ , os quais são, em seguida, trocados pelos catiões  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Mg}^+$ . Assim que a reserva de catiões  $\text{Na}^+$  fica esgotada, é necessário um processo de regeneração para recarregar a resina, este processo de regeneração acontece de 24 em 24 horas. [13] [14]

Na Figura 13, está representado de forma ilustrativa a explicação do funcionamento do descalcificador.

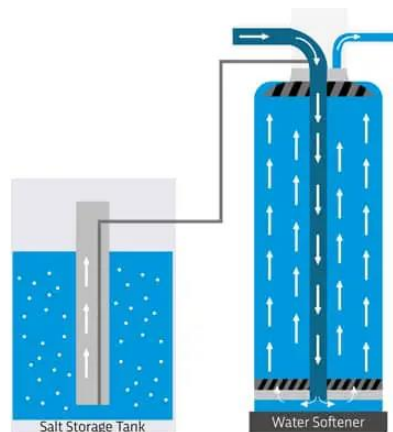


Figura 13 - Explicação ilustrativa do funcionamento do descalcificador. [15]

### Desgasificador

A água assim que saí do descalcificador segue para o desgasificador térmico, ilustrado na Figura 14. Este tratamento tem como finalidade a extração de gases dissolvidos na água, que são potencialmente agentes corrosivos dos equipamentos, nomeadamente o oxigénio.

Esta tecnologia tem por base a lei de Henry-Dalton: a quantidade (massa ou moles) de gás dissolvido num líquido é proporcional à pressão parcial do gás na fase gasosa. Deste modo, o oxigénio e outros gases dissolvidos podem ser removidos da água aumentando a temperatura da água. [16] [14]

Este equipamento trabalha a uma pressão de 0,2 bar e ao aquecer a água contribui para a aceleração do processo de geração de vapor por parte da caldeira. A temperatura a que a água se encontra no desgasificador varia entre os 97 e os 105°C.



Figura 14 - Desgasificador presente na Petibol.

### Economizador

Este equipamento tem a capacidade de efetuar a troca de calor entre os gases de escape da caldeira e água de alimentação à caldeira; deste modo é feito o reaproveitamento do calor dos gases de combustão. O economizador permite-nos elevar a eficiência energética e minimizar o choque térmico entre a água que vai entrar na caldeira e a água que já se encontra no seu interior. [17]

A utilização deste equipamento tem um impacto na poupança de gás natural de até 5%.

A transferência de calor entre os gases à saída da caldeira e a água proveniente do desgasificador resulta em uma diminuição da temperatura dos gases à saída da caldeira. Com o economizador a temperatura dos gases é reduzida de aproximadamente 245°C para cerca de 175°C. Por sua vez, a água proveniente do desgasificador tem aumento de temperatura, passando de cerca de 105°C para aproximadamente 120°C.

Na Figura 15, encontra-se um esquema do funcionamento do economizador.

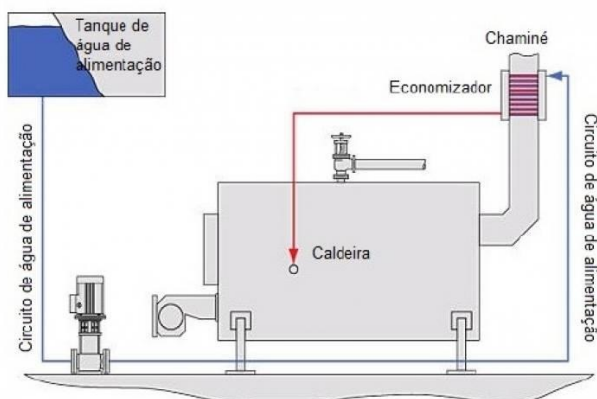


Figura 15 - Explicação esquemática do funcionamento do economizador. [17]

## Caldeira

A caldeira que equipa a unidade industrial da Petibol, ver Figura 16, foi instalada e construída pela empresa Luiz Gonçalvez & Irmãos e trata-se de uma caldeira de tubos de fumos.



*Figura 16 - Caldeira presente na Petibol.*

Os tubos, submersos na água da caldeira, transmitem o calor dos gases aquecendo a água e produzindo vapor. [18] Na Figura 17 encontra-se um exemplo ilustrativo de uma caldeira tubular.

A caldeira instalada na Petibol tem três passagens: tem um arranjo de tubos de fumos que proporciona um caminho para os gases quentes passarem três vezes através da caldeira antes de saírem pela chaminé. Esse processo melhora a transferência de calor e a eficiência da caldeira.

### 1. Primeira passagem: combustão e troca de calor primária

- A primeira passagem segue-se à queima do combustível, gás natural, no queimador da caldeira.
- A queima do combustível gera fumos que passam dentro do tubo de fogo.
- Esses gases quentes transferem calor (prevalece a radiação) para a água circundante que está no exterior do tubo de fogo, resultando na vaporização da água.

### 2. Segunda passagem: troca de calor secundária

- Os fumos resultantes da primeira passagem são direcionados para a segunda passagem.
- Nesta etapa, ocorre mais troca de calor (prevalece a convecção) entre os gases quentes, que passam dentro dos tubos, e a água que está no corpo da caldeira, no exterior dos tubos.
- Esta segunda passagem vaporiza ainda mais água.

### 3. Terceira passagem: troca de calor adicional e saída de gases

## 1. PETIBOL, S.A. – EMBALAGENS DE PLÁSTICO

- Os gases restantes, que agora estão mais frios, passam pela terceira passagem, onde continuam a transferir calor (prevalece a convecção) para a água no exterior dos tubos.
- Nessa etapa final, a transferência de calor adicional melhora a eficiência térmica da caldeira.
- Após a terceira passagem, os gases de combustão são expelidos pela chaminé para a atmosfera.

Esta sequência de passagens permite que a caldeira aproveite de forma otimizada o calor gerado durante a combustão, melhorando a eficiência térmica ao reduzir a temperatura dos gases de exaustão e minimizando as perdas de calor para o ambiente. [19]



Figura 17 - Esquema representativo de uma caldeira tubular. [20]

Na Tabela 1, é possível consultar as especificações da caldeira instalada na Petibol.

Tabela 1- Especificações técnicas, Caldeira L.G.I.

<b>Pressão máxima admissível (bar)</b>	9,81
<b>Pressão relativa (bar)</b>	7,0
<b>Temperatura máxima de funcionamento (°C)</b>	184
<b>Temperatura de funcionamento (°C)</b>	170
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	12,12
<b>Combustível</b>	Gás natural
<b>Superfície de transferência de calor (m<sup>2</sup>)</b>	125
<b>Potência de saída (kW)</b>	3800
<b>Capacidade de produção de vapor (kg/h)</b>	5000

No interior da caldeira são criados precipitados que necessitam de ser removidos através da purga. Esta extração acontece de 40 em 40 minutos, durante 10 segundos.

À entrada da caldeira encontram-se duas bombas, conforme representado na Figura 9. Quando a caldeira está cheia, a bomba 1 é ativada, operando a uma pressão inferior à pressão de trabalho da caldeira. Neste cenário, a água retorna ao desgasificador. Se a caldeira necessitar de mais água, entra em funcionamento a bomba 2, encaminhando a água para o economizador antes de entrar na caldeira. Este sistema é regulado por válvulas de pressão ON/OFF.

As bombas adotadas são do tipo vertical, BMVE 8-18, e as suas características podem ser consultadas no catálogo do fabricante, apresentado na Figura 25.

Relativamente ao queimador da caldeira, trata-se de um R510 da Proterm, na Tabela 2 podem ser consultadas as suas características.

*Tabela 2-Principais características do queimador.*

<b>Ano</b>	2000
<b>Tipo de queimador</b>	Difusão tipo chama
<b>Potência térmica</b>	8 kW
<b>Consumo de combustível</b>	53-393 Nm <sup>3</sup> /h
<b>Potência do motor ventilador</b>	7,5 kW
<b>Tipo de funcionamento</b>	Modulante

### 1.2.3. Estação dos acumuladores

A estação dos Acumuladores é equipada por dois acumuladores, Acumulador 1 e Acumulador 2, ambos com uma capacidade de 10 mil litros. Na Figura 26, encontra-se representado o esquema da linha de vapor na sala dos acumuladores na instalação industrial.

O Acumulador 2 serve para alimentar as máquinas de blocos e a máquina #20 da linha dos moldados, enquanto o Acumulador 1 alimenta as restantes máquinas da linha dos moldados e a estufa. A jusante de cada um dos acumuladores está instalado um caudalímetro que nos permite ler os caudais e pressões com que o vapor entra para os acumuladores.

O objetivo de um acumulador de vapor é libertar vapor quando a solicitação é maior do que a capacidade da caldeira de fornecer naquele momento e aceitar vapor quando o consumo é baixo.

Na Figura 18, está representado um esquema com o típico arranjo entre uma caldeira e um acumulador.

Na Figura 26 do Anexo A, é possível observar de forma esquemática a linha de vapor ao longo da estação dos acumuladores.

### Princípio de funcionamento, “Vapor instantâneo”

Quando a água saturada de alta pressão é sujeita a baixa pressão, uma percentagem dessa água irá transformar-se em vapor saturado, usando o calor sensível restante na água. A percentagem de calor que se vai transformar depende da variação de pressão a que a água saturada é sujeita.

Quando o consumo de vapor é menor do que o vapor gerado pela caldeira, o excesso de vapor, que não é utilizado, é injetado na água armazenada no acumulador sob o efeito de pressão.

Algum tempo depois, a temperatura da água armazenada aumenta para a temperatura de saturação de acordo com a pressão de operação da caldeira.

Quando o consumo de vapor é superior ao gerado pela caldeira, é criada uma queda de pressão no acumulador, o que resulta na transição da água no estado líquido para vapor de água. Deste modo é possível responder aos picos de consumo de energia sem afetar a operação normal da caldeira. [21]

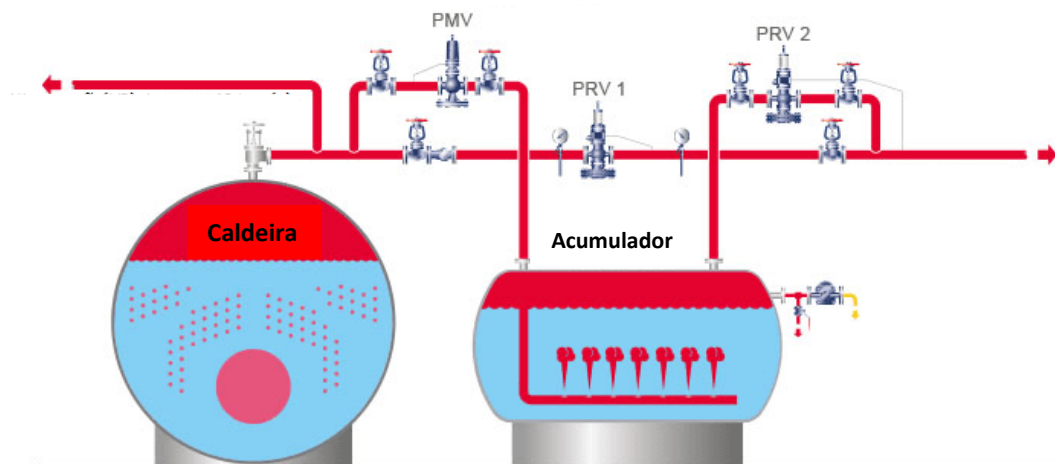


Figura 18 -Esquema de montagem típico de caldeira e acumulador. [22]

### 1.2.4. Estação técnica

A estação técnica é formada por três zonas, uma responsável pela produção de ar comprimido, uma destinada à produção de vácuo e por último uma zona dedicada à refrigeração da água derivada do tanque de água quente.

#### Central de ar comprimido

A central de ar comprimido é equipada por três compressores, dois da Atlas Copco, um com potência de 75 kW e outro de 55 kW e um da Nirvana com potência de 110 kW, Figura 19.

O ar comprimido, que é proveniente do exterior, é aplicado em vários processos de diversos sectores na empresa, como por exemplo, no acionamento das electroválvulas. [23]



Figura 19 - Compressor Nirvana R110.

### Central de vácuo

As bombas de vácuo de anel líquido são uma escolha segura e confiável para o manuseamento de fluxos de gás sujos e potencialmente perigosos.

A central de vácuo resulta da combinação de duas bombas de água e quatro bombas de vácuo por anel líquido. Na Figura 20, está ilustrada a central de vácuo instalada na Petibol.



Figura 20 - Central de vácuo instalada na estação técnica.

Um impulsor montado em posição excêntrica roda no interior do corpo da bomba parcialmente cheio com o fluido operacional. As lâminas do impulsor mergulham no fluido e a força centrífuga exercida pela sua rotação forma um chamado anel líquido dentro do corpo.

O meio bombeado é transportado pelos espaços entre as lâminas e o anel líquido. A rotação excêntrica do impulsor altera o volume nestes espaços. Assim, o gás é aspirado, comprimido e expulso. [24] [25]

### Central de refrigeração

A central de refrigeração é equipada por duas torres de arrefecimento, ilustradas na Figura 21, duas bombas de água para pulverizar a água na torre e duas bombas de circulação para circular a água pela instalação.



*Figura 21 - Torres de arrefecimento.*

A água que vem dos condensados das máquinas dos moldados, de blocos e da bomba de anel líquido é conduzida para um tanque de água quente, Figura 22. Esta água segue para as torres de arrefecimento onde é arrefecida e libertada para o tanque de água fria. Assim que o tanque de água fria fica cheio, a água retorna para o tanque de água quente, quando este excede o seu volume, a água é libertada para o esgoto. [14]



*Figura 22 - Tanque de água quente, saída dos condensados.*

Após este processo de arrefecimento a água está disponível a ser impulsionada pelas bombas de água e de circulação para arrefecer os moldes.

## 2. Consumo de gás

A análise do consumo de gás desempenha um papel crucial na compreensão e gestão eficiente do consumo do mesmo nas empresas e indústrias. O gás natural é uma fonte de energia amplamente utilizada em diversos setores, fornecendo calor, eletricidade e combustível para uma variedade de aplicações. No caso da Petibol, o gás natural serve como combustível do queimador da caldeira.

Esta análise visa examinar e avaliar os padrões de consumo de gás ao longo do tempo, identificar tendências, determinar os principais impulsionadores do consumo e indicar formas para otimizar o uso de gás e reduzir custos. Através da análise de dados relacionados ao consumo de gás, é possível identificar oportunidades de economia, melhorar a eficiência energética e tomar decisões informadas para uma utilização mais sustentável e económica do recurso.

Nesta análise de consumos de gás, serão exploradas diferentes métricas e métodos, como análise de tendências, análise comparativa entre períodos, identificação de picos de consumo e análise de sazonalidade. A compreensão detalhada desses padrões e comportamentos permitirá que sejam tomadas medidas proativas para melhorar a eficiência energética, reduzir desperdícios e promover uma gestão inteligente e sustentável do consumo de gás, beneficiando tanto as organizações quanto o meio ambiente.

No Gráfico 1 segue-se o registo do consumo de gás em kWh nos últimos 5 anos, gráfico esse com valores extrapolados da Tabela 13 que pode ser consultada na página 76.

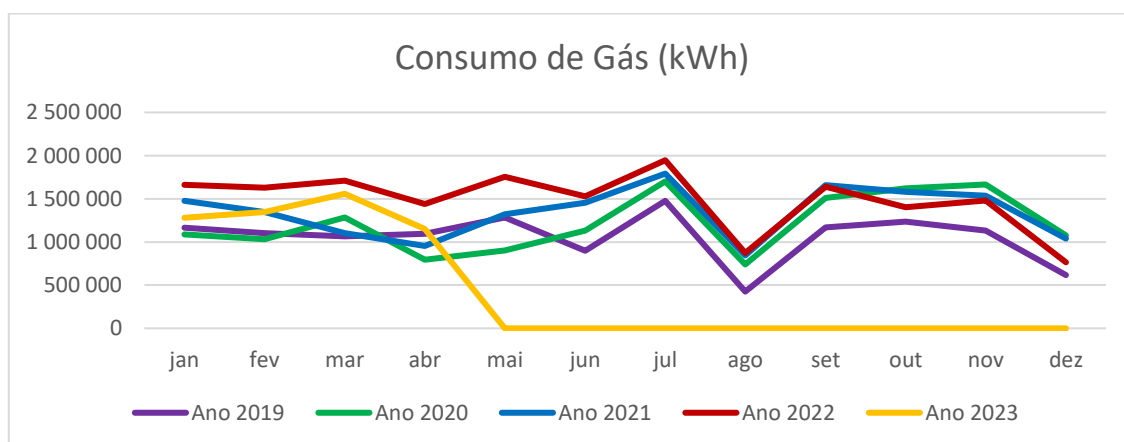


Gráfico 1- Registo dos consumos de gás kWh.

## 2. Consumo de gás

Ano 2019: Durante o primeiro ano do período analisado, observou-se um consumo estável de gás, com variações típicas nos meses de agosto e dezembro devido ao período de encerramento para férias da empresa.

Ano 2020: Durante o 1º semestre deste ano, notou-se um ligeiro declínio no consumo de gás. Isso pode ser atribuído à pandemia. Em contrapartida, no segundo semestre desse mesmo ano, o consumo de gás foi superior comparativamente ao mesmo período no ano anterior.

Anos 2021 e 2022: Durante o terceiro e quarto ano de período analisado, notou-se um aumento geral no consumo de gás. Isso pode ser atribuído a fatores como o crescimento económico, a expansão de atividades comerciais ou indústrias, e possíveis mudanças nos hábitos de consumo.

Ano 2023: No último ano de análise, observou-se uma estabilização no consumo de gás, o que pode estar relacionado com uma diminuição de produção ou com esforços de conservação de energia, no início do ano foram implementadas melhorias na eficiência dos equipamentos.

De modo geral, pelas linhas do gráfico é possível observar uma coerência nos valores ao longo dos cinco anos, os meses de menor consumo são agosto e dezembro, e o mês de maior consumo é julho. Isso pode ser atribuído a uma maior produção já a preparar stock para o mês de agosto em que a produção se encontra parada por um período de 14 dias.

O ano em que existiu maior consumo foi no ano de 2022, o seu somatório foi de 17,9 KWh de gás.

### 2.1. Análise ao ano 2023

Com o objetivo de facilitar a análise do consumo de gás, foi realizado um levantamento dos turnos de trabalho ao longo dos meses e calculada uma média diária de consumo para cada mês.

No entanto, é importante salientar que essas médias são apenas referências, uma vez que pressupõem um consumo uniforme de gás, o que não reflete necessariamente a realidade prática.

#### **Mês de janeiro**

Tendo em conta que a Petibol trabalhou 54 turnos de 8 horas durante o mês de janeiro, podemos calcular o total de horas trabalhadas.

$$54 \text{ turnos} * 8 \text{ horas de trabalho} = 432 \text{ horas trabalhadas.}$$

Portanto, a Petibol trabalhou um total de 432 horas em janeiro.

Verificou-se um consumo total de 1 279 337 kWh de gás neste primeiro mês do ano. Dividindo este consumo pelas 432 horas trabalhadas, obtemos o valor do consumo médio por hora; e se dividirmos pelos 54 turnos de trabalho, obtemos o valor do consumo médio por turno.

$$\frac{1\,279\,337\text{ kWh}}{432\text{ horas}} = 2961,4\text{ kWh/h}$$

$$\frac{1\,279\,337\text{ kWh}}{54\text{ turnos}} = 23691,4\text{ kWh/turno}$$

Para os restantes meses foi utilizada a mesma metodologia, e os resultados obtidos podem ser encontrados na Tabela 3 para consulta.

Tabela 3- Consumo médio de gás distribuído pelos meses do ano de 2023.

Ano 2023	Mês	Consumo de gás (kWh)	Turnos trabalhados	Horas de trabalho	Consumo médio de gás (kWh)	
					Turno	Hora
	janeiro	1279337	54	432	23691,4	2961,4
	fevereiro	1347738	58	464	23236,9	2904,6
	março	1557830	62	496	25126,3	3140,8
	abril	1150469	-	-	-	-

## 2.2. Análise ao ano 2022

Na Tabela 4, podem ser consultados os registos dos consumos de gás referentes ao ano de 2022.

Tabela 4 - Consumo médio de gás distribuído pelos meses do ano de 2022.

Ano 2023	Mês	Consumo de gás (kWh)	Turnos trabalhados	Horas de trabalho	Consumo médio de gás (kWh)	
					Turno	Hora
	janeiro	1660712	62	496	26785,7	3348,2
	fevereiro	1628349	58	464	28075,0	3509,4
	março	1708513	63	504	27119,3	3389,9
	abril	1440494	56	448	25723,1	3215,4
	maio	1753593	62	496	28283,8	3535,5
	junho	1526988	57	456	26789,3	3348,7
	julho	1946467	64	512	30413,5	3801,7
	agosto	874154	34	272	25710,4	3213,8
	setembro	1641199	66	528	24866,7	3108,3
	outubro	1402083	58	464	24173,8	3021,7
	novembro	1480988	63	504	23507,7	2938,5
	dezembro	764936	35	280	21855,3	2731,9

### Consumo total mensal:

O consumo total de gás varia significativamente ao longo do ano, com o pico em julho (1946467 kWh) e o mínimo em dezembro (764936 kWh).

## 2. Consumo de gás

- **Janeiro a julho:** Consumos elevados com picos em julho (1.946.467 kWh), refletindo alta atividade produtiva e intensidade de uso de gás.
- **Agosto e dezembro:** Redução significativa no consumo total devido à paragem de produção devido a um período de férias.
- **Setembro a novembro:** Tendência de diminuição nos consumos médios, sugerindo melhoria na eficiência operacional ou uma redução na produção.

### 3. Produção de vapor

O ponto de ebulição ou temperatura de saturação varia com a pressão e aumenta à medida que a pressão é aumentada.

Num processo de produção de vapor em um reservatório fechado, a pressão aumenta devido à enorme expansão do volume e à mudança de fase do líquido para gás. Consequentemente, a temperatura da água e do vapor também aumenta. Nas caldeiras operando abaixo do ponto crítico, a pressão é mantida em um valor constante desejado, garantindo um nível adequado de água com espaço para o vapor e regulando a produção de vapor de forma equilibrada com o fluxo de vapor fornecido ao processo.

Na prática existem duas formas de gerar vapor:

1. Adicionando calor à água fervente, como numa caldeira convencional;
2. Reduzindo a pressão sobre a água armazenada à sua temperatura de saturação. Isso resulta num excesso de energia na água, o que faz com que uma proporção da água se transforme em vapor.

Esse fenômeno é conhecido como "*instantâneo*", e o equipamento usado para armazenar a água pressurizada é chamado de acumulador de vapor. Existem, em princípio, dois tipos de sistemas disponíveis para armazenamento a vapor; o acumulador de queda de pressão e o acumulador de pressão constante.

Um acumulador de vapor é, fundamentalmente, uma expansão da capacidade de armazenamento de energia da(s) caldeira(s). Nos momentos em que a necessidade de vapor pela produção é reduzida e a caldeira consegue gerar mais vapor do que o necessário, o excesso de vapor é introduzido numa massa de água armazenada sob pressão. Com o passar do tempo, o nível de água armazenada aumenta em temperatura e pressão, até finalmente atingir a temperatura de saturação correspondente à pressão na qual a caldeira está a operar.

### 3.1. Custo do vapor

Como base de referência para avaliar o desempenho do sistema de vapor implementado na Petibol vamos quantificar o custo de vapor por tonelada. Este valor será interessante para no final conseguirmos perceber o impacto de fugas nos custos operacionais e os benefícios que equipamentos como permutadores e acumuladores têm na poupança de energia.

#### Custo vapor (€/ton)

Para calcular o custo de vapor por tonelada é necessário reunir os seguintes dados:

- Pressão do vapor, P;
- Entalpia do vapor à pressão P,  $h_g$ ;
- Temperatura da água de alimentação,  $T_{aa}$ ;
- PCI do combustível do queimador;
- Eficiência da caldeira,  $\eta$ ;
- Custo unitário do combustível;
- Calor específico da água, 4,186 kJ/(kg.°C).

Na Equação (1), segue-se a fórmula de cálculo do consumo de gás para produzir uma tonelada de vapor:

$$\text{Consumo de gás para uma ton de vapor (m}^3\text{)} = \left[ \frac{h_s - h_e}{PCI * \eta} * 1000 \right] \text{ (m}^3\text{/ton)} \quad (1)$$

Considerando os seguintes valores:

- Pressão de vapor na caldeira, P = 8 bar;
- Entalpia da água à saída da caldeira,  $h_s= 2769,0$  kJ/kg;
  - Vapor saturado a 8 bar.
- Entalpia da água à entrada da caldeira,  $h_e=419,52$  kJ/kg;
  - $T_e=100^\circ\text{C}$ , corresponde à temperatura do desgasificador.
  - $P_e=8$  bar.
- Poder calorífico superior do combustível, PCS=42,0 MJ/m<sup>3</sup>;
- Poder calorífico inferior do combustível, PCI=0,9xPCS=37,8 MJ/m<sup>3</sup>;
  - Massa volúmica = 0,84 kg/m<sup>3</sup>.
- Eficiência da caldeira: tratando-se de uma caldeira como a existente na Petibol podemos considerar um rendimento térmico de 84%;
- Preço do combustível: 0,045545 €/kWh=0,4805 €/m<sup>3</sup>.
  - 1 m<sup>3</sup> de gás= 10,55 kWh.

$$\text{Consumo de gás para uma ton de vapor (m}^3\text{)} = \left[ \frac{2769,0 - 406,5}{37800 * 0,84} * 1000 \right] = 74,4 \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$\text{Custo de uma ton de vapor (€/ton)} = 74,6 * 0,4805 = 35,8 \text{ (€/ton)}$$

### 3.2. Rendimento da caldeira

O rendimento da caldeira é calculado através da Equação (2).

$$\eta_{\text{caldeira}} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{queima}}} \quad (2)$$

Em que a energia útil, e a energia da queima (energia total libertada) são calculadas pela Equação (3) e Equação (4) respetivamente.

$$E_{\text{queima}} = m_{\text{combustível}} * PCI \quad (3)$$

$$E_{\text{útil}} = m_{ft}(h_s - h_e) \quad (4)$$

A Equação (5), apresenta o cálculo da energia total perdida por uma caldeira.

$$E_{\text{perdas}} = E_{\text{queima}} - E_{\text{útil}} \quad (5)$$

Em que as perdas de energia consideradas são as seguintes:

Energia perdida devida à humidade superficial do combustível, esta perda calcula-se pela Equação (6).

$$E_{\text{perdhumsup}} = m_{\text{humsup}}(h_g - h_f) \quad (6)$$

Energia perdida devida à humidade do ar de combustão, esta perda calcula-se pela Equação (7).

$$E_{\text{perdahuarq}} = m_{\text{ar seco}} * X(h_g - h_f) \quad (7)$$

Energia perdida devido aos gases que saem pela chaminé, esta perda calcula-se pela Equação (8).

$$E_{\text{perdagasescha}} = m_g * cp_{gs}(T_{gs} - T_{as}) \quad (8)$$

Energia perdida devido ao combustível gasoso sem queimar, esta perda calcula-se pela Equação (9).

$$E_{\text{perdaCOfumos}} = m_{CO} * PC_{CO} \quad (9)$$

### 3. Produção de vapor

Energia perdida devido ao combustível contido nas cinzas, esta perda calcula-se pela Equação (10).

$$E_{perdacomcinz} = m_{combcinz} * PCI \quad (10)$$

A Equação (11), apresenta o cálculo das perdas de energia diversas.

$$E_{perdasdiversas} = E_{perdas} - (E_{perdahumsup} + E_{perdahuarq} + E_{perdagasescha} + E_{perdaCOfumoz} + E_{perdacomcinz}) \quad (11)$$

Em que:

- Poder calorífico superior do combustível, PCS=42,0 MJ/m<sup>3</sup>;
- Poder calorífico inferior do combustível, PCI=0,9xPCS=37,8 MJ/m<sup>3</sup>;
  - Massa volúmica = 0,84 kg/m<sup>3</sup>.
- m<sub>combustível</sub>, massa de combustível queimada no t<sub>queima</sub>.
- t<sub>queima</sub>, tempo de queima;
- m<sub>ft</sub>, massa de fluido de trabalho que passa pelo tubular da caldeira durante o t<sub>queima</sub>;
- h<sub>s</sub>, entalpia do fluido de trabalho à saída do tubular da caldeira;
- h<sub>e</sub>, entalpia do fluido de trabalho à entrada do tubular da caldeira;
- m<sub>humsup</sub>, massa de humidade superficial contida na massa de combustível;
- h<sub>g</sub>, entalpia de vapor saturado da água;
- h<sub>f</sub>, entalpia de líquido saturado da água;
- m<sub>arseco</sub>, massa de ar seco, essencialmente O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>, necessária para queimar a massa de combustível;
- m<sub>g</sub>, massa de gases produzidos pela queima da massa de combustível;
- cp<sub>gs</sub>, valor médio do calor específico a pressão constante entre as temperaturas T<sub>gs</sub> e T<sub>as</sub>;
- T<sub>gs</sub>, temperatura dos gases à saída da chaminé;
- T<sub>as</sub>, temperatura do ar de combustão à entrada da fornalha;
- m<sub>CO</sub>, massa de CO nos fumos;
- Pc<sub>CO</sub>, poder calorífico do CO;
- m<sub>combcinz</sub>, massa de combustível que cai no cinzeiro da fornalha ao queimar a massa de combustível.

Na Tabela 5, são expostas diversas características da caldeira, os valores correspondentes às perdas identificadas e a eficiência da própria caldeira. Os cálculos que fundamentam esses resultados encontram-se ao longo do Anexo D. [26]

Tabela 5- Informações operacionais da caldeira.

<b>Combustível</b>	Gás natural
$m_{\text{combustível}}$	0,0894 kg
$T_{\text{queima}}$	1 s
$m_{\text{ft}}$	5000 kg
$h_s$	2769 kJ/kg
<b>Excesso de ar</b>	12,4%
$h_e$	419,52 kJ/kg
$m_{\text{arseco}}$	1,62 kg
$m_g$	1,71 kg
$T_{\text{gs}}$	163,1°C
$T_{\text{as}}$	20,8°C
$cp_{\text{gs}}$	1027 J/kg/K
$m_{\text{co}}$	0 kg
<b>Rendimento da caldeira</b>	81,2%

### **3.3. Quantidade de vapor disponível para consumo**

A avaliação da quantidade de vapor disponível para consumo é fundamental para uma gestão mais precisa e real da capacidade de produção de uma empresa.

A presente análise visa compreender a oferta de vapor em um determinado sistema ou instalação, considerando os métodos de geração, armazenamento e distribuição.

#### **3.3.1. Caldeira**

Conforme mencionado anteriormente no capítulo 1.2.2, a Petibol possui uma caldeira de tubos de fumos de três passagens, operando a uma pressão absoluta de 8 bar e com capacidade de geração de vapor de 5 toneladas por hora.

Para lidar com picos de consumo de vapor, consideraremos que a capacidade máxima de geração de vapor é de 5 toneladas por hora, como oferecida pela caldeira. No entanto, é fundamental ressaltar que, para garantir um rendimento otimizado, a caldeira deve operar gerando apenas 70% de sua capacidade máxima, ou seja, produzindo 3,5 toneladas por hora de vapor. Esse nível de geração é o ideal para garantir a eficiência e o desempenho adequado da caldeira.

É importante ter em mente que a escolha da taxa de geração de vapor está diretamente relacionada com a eficiência energética e a vida útil da caldeira. Operar com uma taxa de geração de vapor abaixo do limite máximo permite uma utilização mais eficiente dos recursos e reduz o desgaste desnecessário dos componentes da caldeira, resultando em economia de energia e custos operacionais. Portanto, o ajuste adequado da produção de vapor é uma consideração essencial para o funcionamento eficiente e sustentável do sistema de geração de vapor da Petibol.

#### **3.3.2. Acumuladores**

Como já abordado no capítulo 1.2.3, a Petibol dispõe de dois acumuladores de vapor, ambos com uma capacidade de armazenamento de 10 mil litros.

O acumulador 1 armazena o vapor que alimenta dezanove das vinte máquinas presentes na linha dos moldados. De acordo com a lista de consumíveis de vapor, o consumo dessas máquinas representa teoricamente cerca de 79% do consumo total de vapor.

Já o acumulador 2 armazena o vapor que alimenta as restantes máquinas da lista de consumíveis, uma das vinte máquinas presentes na linha dos moldados, as máquinas de blocos e os expansores, que teoricamente representa 21 % do consumo total de vapor.

Analisando o esquema da Figura 8 é possível verificar que os acumuladores estão posicionados a jusante da caldeira e conectados em paralelo. Essa configuração significa que o fluxo de vapor a entrar em cada acumulador irá variar de acordo com as necessidades das máquinas que eles alimentam.

Após constatar que as máquinas alimentadas pelo acumulador 1 têm teoricamente um impacto no consumo de vapor de cerca de 80%, foi estabelecido que 80% do vapor produzido pela caldeira será direcionado para esse acumulador, o que equivale a 4000 kg/hora de vapor. Já o acumulador 2 receberá 1000 kg/hora de vapor.

Para determinar a quantidade de vapor disponível em caso de um pico de consumo, é necessário reunir os seguintes dados:

#### Caldeira

Carga máxima contínua, 5000 kg/h;

Pressão normal de trabalho, 8bar ( $h_f=720,95$  kJ/kg);

#### Acumulador 1

Capacidade de armazenamento, 10 m<sup>3</sup>;

Pressão normal de trabalho, 7 bar ( $h_f=696,91$  kJ/kg);

Massa volúmica da água a 7 bar, 902,8 kg/m<sup>3</sup>;

Calor latente de vaporização, 2066,4 kJ/kg;

#### Acumulador 2

Capacidade de armazenamento, 10 m<sup>3</sup>;

Pressão normal de trabalho, 3 bar ( $h_f=561,40$  kJ/kg);

Massa volúmica da água a 3 bar, 930,3 kg/m<sup>3</sup>;

Calor latente de vaporização, 2163,9 kJ/kg.

Uma vez reunidos estes dados, a Equação (12) permite-nos calcular a capacidade de armazenamento de um acumulador.

$$\begin{aligned} \text{Capacidade de armazenamento} & & (12) \\ &= \frac{\text{Diferença de entalpia da água } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) * \text{massa de água (kg)}}{\text{Entalpia de evaporação na pressão mais baixa } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)} \end{aligned}$$

Para calcular a massa de água, consideramos que os acumuladores estavam preenchidos a 90% de sua capacidade, utilizando a Equação (13).

$$\begin{aligned} \text{Massa de água (kg)} & & (13) \\ &= \text{Capacidade de armazenamento (m}^3\text{)} \\ & * \text{Massa volúmica da água (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

### 3. Produção de vapor

#### No caso do acumulador 1:

$$\text{Massa da água} = 10 * 902,8 * 0,9 = 8125,2 \text{ kg}$$

$$\text{Capacidade de armazenamento} = \frac{(720,95 - 696,91) * 8125,2}{2066,4} = 94,5 \text{ kg}$$

Atenção que estes 94,5 kg de vapor instantâneo serão libertados no tempo necessário para a pressão diminuir. Caso esse processo ocorra em uma hora, a taxa de vapor será de 94,5 kg. Se por outro lado, ocorrer em menos de 30 minutos, a taxa de vaporização seria:

$$\frac{94,5 \text{ kg/h} * 60 \text{ minutos}}{30 \text{ minutos}} = 189 \text{ kg/h}$$

No caso de um pico de consumo durante 30 minutos, o acumulador 1, tem capacidade de responder com 4189 kg/h de vapor, que é a combinação dos 4000 kg/h da caldeira com os 184 kg/h do acumulador 1.

Após análise da Tabela 6, constata-se que teoricamente o acumulador 1 deveria ter uma capacidade de resposta superior a 4667,8 kg/h, que corresponde ao consumo médio por hora quando as máquinas estão em funcionamento. No entanto, os cálculos indicam que a capacidade é de apenas 4094,5 kg/h, o que representa uma diferença significativa.

Essa disparidade entre a capacidade teórica e a capacidade real pode resultar em falhas na qualidade do vapor fornecido às máquinas. O ideal é que a água chegue às máquinas no estado de vapor saturado, mas se o acumulador não consegue atender plenamente às necessidades das máquinas, o vapor pode chegar no estado líquido.

Esse problema pode acarretar não conformidades na produção, afetando a eficiência e a qualidade dos processos.

#### No caso do acumulador 2:

$$\text{Massa de água} = 10 * 930,3 * 0,9 = 8372,7 \text{ kg}$$

$$\text{Capacidade de armazenamento} = \frac{(720,95 - 561,4) * 8372,7}{2163,9} = 617,3 \text{ kg}$$

Novamente, estes 617,3 kg de vapor instantâneo serão libertados no tempo necessário para a pressão diminuir. Calculando para o período de tempo do exemplo anterior, no caso do processo de queda de pressão for em menos de 30 minutos, a taxa de vaporização seria:

$$\frac{617,3 \text{ kg/h} * 60 \text{ minutos}}{30 \text{ minutos}} = 1234,6 \text{ kg/h}$$

No caso de um pico de consumo de vapor durante 30 minutos, o acumulador 2, tem capacidade de responder com 2234 kg/h de vapor, que resulta da combinação dos 1000 kg/h da caldeira com os 1234,6 kg/h do acumulador 2.

Ao consultar a Tabela 6, constata-se que teoricamente o acumulador 2 deveria ter uma capacidade de resposta superior a 1332,9 kg/h, correspondente ao consumo médio por hora quando as máquinas estão em funcionamento. Com o cálculo realizado acima, verificou-se que a capacidade de resposta do acumulador é de 1617,3 kg/h, o que assegura de forma adequada a necessidade das máquinas alimentadas por este acumulador.

Esses resultados demonstram que o acumulador 2 possui uma capacidade suficiente para atender à demanda de vapor das máquinas de maneira eficiente. Essa condição é essencial para garantir a continuidade das operações sem riscos de insuficiência de vapor, contribuindo para a otimização do processo produtivo.

É importante destacar que a análise cuidadosa da capacidade dos acumuladores é crucial para garantir um fornecimento de vapor adequado e consistente às máquinas, minimizando possíveis problemas operacionais e maximizando a eficiência global do sistema.



## 4. Dados de produção

Com a análise simultânea dos dados das máquinas da Erlanbach e da Intranet, somos capazes de saber quantos ciclos trabalhou uma máquina, quanto tempo trabalhou, tempos de ciclo teórico e real, peças produzidas e número de não conformidades. O estudo desses dados permite identificar oportunidades de melhoria, otimizar a produtividade, reduzir custos e garantir a qualidade consistente dos produtos fabricados.

Durante a análise, diversos parâmetros podem ser considerados, tais como taxa de produção, tempo de ciclo, qualidade dos produtos fabricados, eficiência do equipamento, desvios em relação às especificações, tempos em que a máquina se encontra parada e manutenção, entre outros. A análise detalhada desses dados permite-nos compreender o panorama atual da produção, e agir de forma a melhorar a eficiência operacional, reduzir o desperdício e maximizar a capacidade produtiva das máquinas.

### 4.1. Consumo teórico das máquinas

#### Consumo de vapor

O cálculo teórico do consumo de vapor por máquina é importante para determinar a quantidade de vapor necessária para alimentar um equipamento específico. Esse cálculo é fundamental para projetar sistemas de vapor eficientes e dimensionar corretamente as caldeiras, acumuladores e outros componentes do sistema.

Para calcular o consumo teórico de vapor por máquina, é necessário considerar alguns fatores:

1. Tempo de ciclo médio da máquina: O tempo de ciclo da máquina é o período de tempo que a máquina demora a fazer um ciclo completo. Primeiramente foi feito um levantamento do tempo de ciclo médio para cada uma das máquinas.
2. Consumo de vapor por ciclo: Refere-se à quantidade de vapor utilizada por um equipamento durante um único ciclo de operação. Esta medida é muitas vezes utilizada em máquinas que funcionam por meio de ciclos, como por exemplo máquinas a vapor ou máquinas térmicas. Este consumo foi nos facultado por representantes das marcas das máquinas e representa o consumo para um ciclo de 50 segundos, uma vez que o tempo de ciclo varia conforme o volume da peça que se pretende produzir.

#### 4. Dados de produção

3. Reunindo estas informações, conseguimos:

3.1 Calcular os ciclos/hora = tempo de ciclo médio / 3600 segundos;

3.2 Calcular o consumo de vapor por ciclo médio = (tempo de ciclo médio X consumo de vapor por ciclo) / 50 segundos;

3.3 Calcular consumo vapor/hora = consumo/ciclo médio X ciclos/hora.

É importante ressaltar que o consumo real de vapor pode variar dependendo de fatores como condições de carga, manutenção adequada e outras variáveis operacionais. Este cálculo teórico é apenas uma estimativa inicial e deve ser considerada uma margem de segurança ao dimensionar o sistema de vapor.

#### Consumo de energia

O cálculo do consumo de energia teórico é uma forma de determinar o consumo de energia esperado em condições ideais. Este estudo é frequentemente utilizado para projetar sistemas, calcular requisitos de energia ou estudos preliminares. É uma ferramenta útil para entender o potencial consumo de energia da unidade industrial, mas deve de ser interpretado com cautela, considerando que os resultados práticos vão variar.

Para calcular o consumo teórico de energia por máquina, é necessário considerar os seguintes fatores:

1. Consumo de vapor por tempo de ciclo médio: Refere-se à quantidade de vapor utilizada por um equipamento durante um único ciclo de operação
2. Ciclos/hora: Representa o número de ciclos completos no espaço de uma hora de trabalho.
3. Pressão de trabalho: Refere-se à pressão em que um sistema ou dispositivo opera durante o seu funcionamento normal. É a pressão necessária para garantir o desempenho adequado e seguro do sistema ou equipamento.
4. Pressão a que se encontra o acumulador que alimenta a máquina;
5. Calor latente. É a quantidade de calor necessária para realizar uma mudança de fase de uma substância, sem alterar a sua temperatura.
6. Uma vez reunidas estas informações, conseguimos:
  - 5.1 Calcular o consumo de energia/ciclo= consumo/ciclo × calor latente;
  - 5.2 Calcular o consumo de energia/hora= consumo de energia/ciclo × ciclos/hora.

Na Tabela 6, é possível consultar a situação atual do consumo de energia teórico em toda a unidade industrial.

O Gráfico 2, permite uma visualização clara da distribuição do consumo de vapor entre as diferentes categorias. É útil para identificar rapidamente as proporções relativas e entender que categorias estão a consumir a maior parte do vapor. A estação dos moldados é a que causa maior impacto no consumo de vapor, cerca de 82%, em que 39% do consumo corresponde às máquinas de produção em EPP e 43 % representa o consumo das máquinas de produção em EPS, seguem-se as máquinas de blocos com 15%, os expansores de matéria-prima com 2% e por fim as estufas com um impacto de 1%.

#### 4. Dados de produção

Pela análise dos dados da Tabela 6, podemos concluir que a unidade industrial necessita de uma disponibilidade de 6023,8 kg vapor/hora, o que corresponde a 3540,54 kWh de energia.

\*Valores estimados

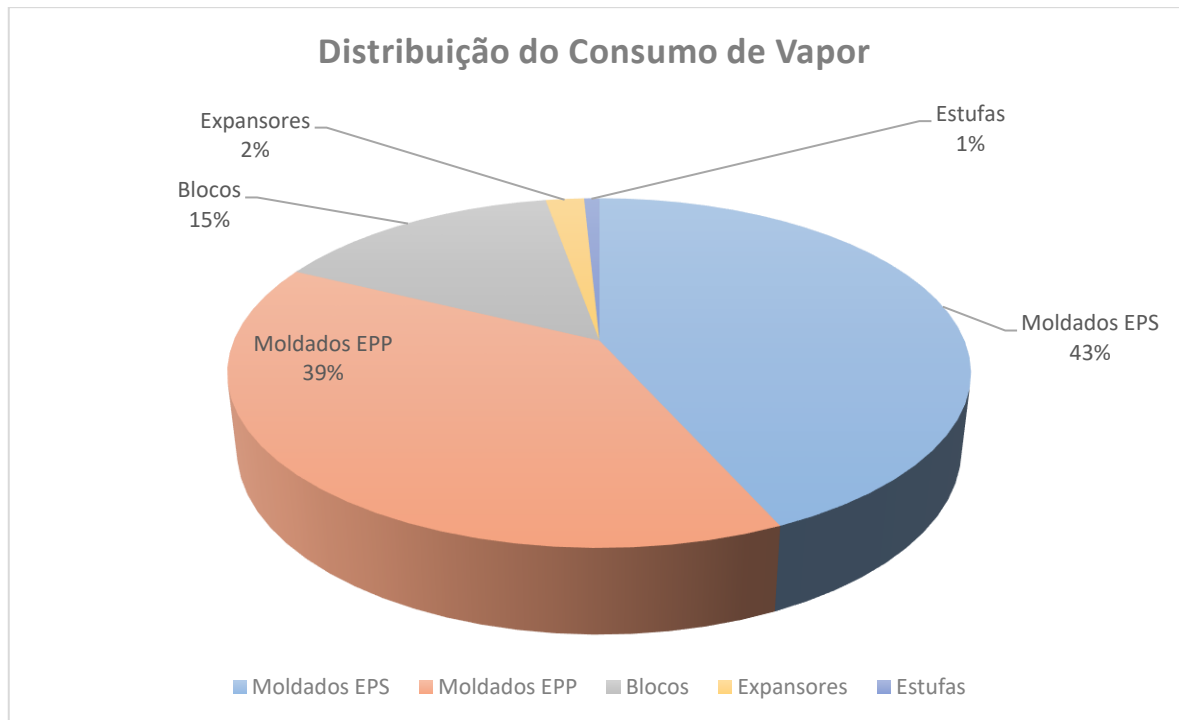


Gráfico 2- Distribuição do consumo de vapor pelas máquinas.

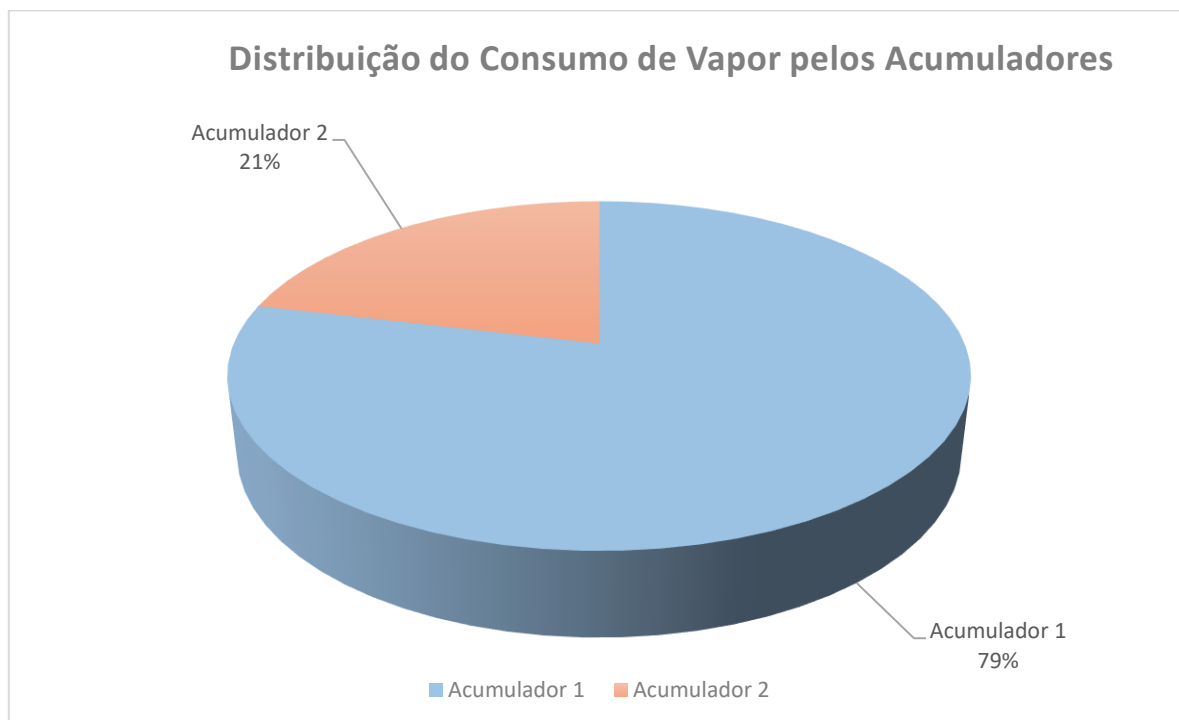


Gráfico 3- Distribuição do consumo de vapor pelos acumuladores.

#### 4. Dados de produção

Tabela 6- Consumo teórico de energia por máquina.

Máquina	Situação Atual								
	T.C (média)	Consumo/ciclo** (kg)	Consumo/ciclo médio(kg)	Ciclos/hora	Consumo Vapor/hora	Pressão de trabalho (bar)	Calor (kJ/kg)	Energia /Ciclo (kJ)	Consumo Energia/hora (kWh)
1	315,0	4,12	26,0	11,4	296,6	3,0	2209,8	57357,4	182,1
2	146,2	0,67	2,0	24,6	48,2	3,0	2209,8	4328,1	29,6
3	147,2	1,12	3,3	24,5	80,6	3,0	2209,8	7284,2	49,5
4	132,5	1,70	4,5	27,2	122,4	3,0	2209,8	9952,2	75,1
5	128,6	1,70	4,4	28,0	122,4	3,0	2209,8	9662,0	75,1
6	105,2	1,70	3,6	34,2	122,4	3,0	2209,8	7904,7	75,1
7	165,6	1,70	5,6	21,7	122,4	3,0	2209,8	12442,1	75,1
8	257,8	1,70	8,8	14,0	122,4	3,0	2209,8	19366,1	75,1
9	201,9	1,70	6,9	17,8	122,4	3,0	2209,8	15171,5	75,1
10	219,1	1,70	7,4	16,4	122,4	3,0	2209,8	16462,8	75,1
11	220,5	1,70	7,5	16,3	122,4	3,0	2209,8	16569,6	75,1
12	147,7	1,70	5,0	24,4	122,4	3,0	2209,8	11100,6	75,1
13	154,3	1,70	5,2	23,3	122,4	3,0	2209,8	11589,3	75,1
14	157,1	2,72	8,5	22,9	195,8	3,0	2209,8	18885,8	120,2
15	129,5	2,72	7,0	27,8	195,8	3,0	2209,8	15572,0	120,2
16	154,2	3,84	11,8	23,3	276,5	3,0	2209,8	26173,3	169,7
17	203,3	10,88	44,2	17,7	783,4	7,0	2074,6	91786,3	451,4
18	275,6	10,88	60,0	13,1	783,4	7,0	2074,6	124395,8	451,4
19	142,2	10,88	30,9	25,3	783,4	7,0	2074,6	64202,4	451,4
20*	155,4	3,54	11,0	23,2	254,9	3,0	2209,8	24314,6	156,5
Blocos*	240,0	-	60,0	15,0	900,0	3,0	2209,8	132587,6	552,4
Expansores*	3600,0	-	40,0	1,0	120,0	3,0	2209,8	88391,7	24,6
Estufa*	3600,0	-	16,0	1,0	48,0	3,0	2209,8	35356,7	9,8
				<b>Total</b>	5990,6			<b>Total</b>	3520,21

\*Valores estimados

\*\*Ciclo de 50 segundo

## **4.2. Consumos estimados das máquinas consoante a produção**

Com o objetivo de obter uma estimativa mais realista do consumo de energia, com base na produção das máquinas, coletamos os dados de produção da linha de moldados. Utilizamos esses dados para traduzir os ciclos das máquinas em consumo teórico de energia, fazendo uso das informações disponíveis na Tabela 6.

Ao estimar o consumo das máquinas de acordo com a produção, comparamos essas estimativas com os registos do caudalímetro e calculamos o desvio padrão. Dessa forma, podemos analisar a diferença entre o consumo teórico e os dados reais do caudalímetro, permitindo uma melhor compreensão da eficiência energética das máquinas em relação à produção.

Na Tabela 14, disponível no Anexo C, estão registados os ciclos executados pelas 20 máquinas da linha de moldados ao longo dos primeiros três meses do ano de 2023, juntamente com o seu consumo teórico de energia.

Essa tabela fornece um panorama detalhado das atividades das máquinas durante o período mencionado, incluindo informações cruciais sobre a quantidade de ciclos realizados por cada máquina e a estimativa teórica do consumo de energia associado a esses ciclos.

Através dessa análise, é possível obter uma compreensão mais completa da eficiência operacional das máquinas, bem como identificar tendências ou variações que possam influenciar o consumo de energia ao longo do tempo.

### **4.2.1. Análise ano 2023**

#### **Mês de janeiro**

Na Tabela 7, é possível consultar os consumos estimados e reais de vapor de dezanove das vinte máquinas da linha de moldados. Neste mês, o desvio padrão calculado foi de 0,07, indicando uma pequena discrepância entre os valores estimados e os valores reais.

#### **Mês de fevereiro**

Os resultados referentes ao mês de fevereiro estão apresentados na Tabela 8. O desvio padrão calculado foi de 0,13, um valor ligeiramente mais elevado do que no mês anterior. No entanto, ainda pode ser considerado um desvio padrão razoável.

#### **Mês de março**

No mês de março, foi observado o maior desvio padrão, com um valor de 0,16. Os valores estão disponíveis na Tabela 9 para consulta.

Em suma, ao durante este período analisado, verificou-se um desvio padrão de 0,12. Embora o desvio padrão seja relativamente baixo, esse resultado é positivo, pois sugere que as estimativas de consumo estão bastante próximas dos valores reais medidos pelo caudalímetro.

#### 4. Dados de produção

Essa consistência é encorajadora, pois demonstra que o processo de estimativa está bem ajustado e proporciona uma boa base para o controle e gestão do consumo de vapor pelas máquinas.

No entanto, mesmo com um desvio padrão considerado baixo, é sempre importante continuar a monitorizar e analisar os dados de consumo para identificar possíveis melhorias ou ajustes que possam ser feitos no futuro, assegurando uma operação ainda mais eficiente e economicamente vantajosa das máquinas.

Nos dias em que o desvio padrão é igual ou maior que  $[0,2]$ , podemos inferir que ocorreram situações de sobrecarga, caso o valor do desvio padrão seja negativo, ou baixa necessidade de consumo de vapor, caso o valor do desvio padrão seja positivo. Essa discrepância pode ser explicada pelo facto do tempo de ciclo em cada máquina varia de acordo com o volume de matéria-prima a ser processada, e na Tabela 4, estamos a trabalhar apenas com os tempos de ciclo médio.

Essa variação nos tempos de ciclo pode influenciar o consumo de vapor, levando a desvios maiores em determinados dias. Os desvios negativos indicam que o consumo real foi menor do que o esperado, possivelmente devido a uma baixa utilização da máquina ou uma produção inferior à capacidade média preestabelecida. Por outro lado, desvios positivos apontam para um consumo real maior que o esperado, possivelmente causado por uma maior demanda de produção ou alguma ineficiência no processo, como por exemplo fugas de vapor ou problemas na máquina.

## 4. Dados de produção

Tabela 7- Consumo de vapor ao longo do mês de janeiro 2023.

Janeiro 2023						
Dia	Consumo real		Consumo teórico		Desvio padrão	
	Vapor	Energia	Vapor	Energia	Vapor	Energia
01/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
02/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
03/jan	840,0	633,0	0,0	0,0	-	-
04/jan	25119,0	19345,0	21334,0	13008,9	-0,2	-0,5
05/jan	45229,0	34850,0	42095,0	25353,2	-0,1	-0,4
06/jan	51783,0	39891,0	40529,4	24614,7	-0,3	-0,6
07/jan	20899,0	16099,0	11416,4	6967,8	-0,8	-1,3
08/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
09/jan	26391,0	20320,0	20463,4	12541,0	-0,3	-0,6
10/jan	50930,0	39234,0	46535,4	28305,4	-0,1	-0,4
11/jan	58604,0	45139,0	61356,9	37104,6	0,0	-0,2
12/jan	56947,0	43863,0	63469,5	38485,1	0,1	-0,1
13/jan	42063,0	32402,0	54680,9	32670,2	0,2	0,0
14/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
15/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
16/jan	40843,0	31400,0	55003,5	32993,3	0,3	0,0
17/jan	69663,0	53593,0	83135,7	49802,5	0,2	-0,1
18/jan	67662,0	52087,0	81585,0	49082,0	0,2	-0,1
19/jan	66564,0	51218,0	77826,7	46888,6	0,1	-0,1
20/jan	47525,0	36592,0	48910,6	29461,1	0,0	-0,2
21/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
22/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
23/jan	37435,0	28783,4	55071,4	33078,0	0,3	0,1
24/jan	67658,0	52087,0	74002,7	44399,5	0,1	-0,2
25/jan	63970,0	49233,0	67044,9	40442,0	0,0	-0,2
26/jan	70863,0	54547,0	66955,1	40456,5	-0,1	-0,3
27/jan	61320,0	47213,0	61374,8	37259,2	0,0	-0,3
28/jan	28630,0	22044,0	25487,8	15356,0	-0,1	-0,4
29/jan	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
30/jan	40149,0	30897,0	59025,1	35597,1	0,3	0,1
31/jan	62922,0	48447,0	72526,9	43768,0	0,1	-0,1
	$\Sigma$				$\sigma$	
	1104009,0	849917,4	1189831,0	717634,7	0,07	-0,18

#### 4. Dados de produção

Tabela 8-Consumo de vapor ao longo do mês de fevereiro 2023.

Fevereiro 2023						
Dia	Consumo real		Consumo teórico		Desvio padrão	
	Vapor	Energia	Vapor	Energia	Vapor	Energia
01/fev	58453,0	45012,0	71020,5	42465,9	0,2	-0,1
02/fev	89926,0	69143,1	91878,2	54584,8	0,0	-0,3
03/fev	62338,0	48002,0	79850,6	47900,3	0,2	0,0
04/fev	24330,0	18736,0	25092,5	14987,2	0,0	-0,3
05/fev	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
06/fev	35768,0	27523,0	49027,8	29406,0	0,3	0,1
07/fev	70839,0	54526,0	95663,1	57272,1	0,3	0,0
08/fev	75081,0	57785,0	89429,6	53663,5	0,2	-0,1
09/fev	72202,0	55567,0	75341,1	45207,6	0,0	-0,2
10/fev	68347,0	52593,0	65388,0	39617,0	0,0	-0,3
11/fev	28384,0	21849,0	22031,1	13359,0	-0,3	-0,6
12/fev	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
13/fev	39986,0	30744,0	49339,4	28016,3	0,2	-0,1
14/fev	69414,0	53420,0	67518,8	39209,1	0,0	-0,4
15/fev	59339,0	45690,0	73159,7	40597,8	0,2	-0,1
16/fev	57869,0	44561,0	63383,9	35533,1	0,1	-0,3
17/fev	50129,0	38610,0	65005,7	35491,5	0,2	-0,1
18/fev	24218,0	18647,0	23241,6	12947,6	0,0	-0,4
19/fev	9,0	7,0	0,0	0,0	-	-
20/fev	57250,0	44018,9	60475,1	34047,9	0,1	-0,3
21/fev	26984,0	20778,0	26028,7	14525,7	0,0	-0,4
22/fev	36186,0	27849,0	53080,1	29565,9	0,3	0,1
23/fev	57677,0	44413,0	72831,2	40844,0	0,2	-0,1
24/fev	58962,0	45402,0	75619,5	43566,8	0,2	0,0
25/fev	30737,0	23658,0	28969,8	16505,2	-0,1	-0,4
26/fev	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
27/fev	41166,0	31628,0	56645,7	31956,8	0,3	0,0
28/fev	71076,0	54703,0	79849,2	47004,1	0,1	-0,2
	$\Sigma$				$\sigma$	
	1266670,0	974865,0	1459871,1	848275,5	0,13	-0,15

## 4. Dados de produção

Tabela 9- Consumo de vapor ao longo do mês de março 2023.

Março 2023						
Dia	Consumo real		Consumo teórico		Desvio padrão	
	Vapor	Energia	Vapor	Energia	Vapor	Energia
01/mar	68234,0	52525,0	86408,7	49495,0	0,2	-0,1
02/mar	70125,0	53966,0	103238,7	59377,0	0,3	0,1
03/mar	63529,0	48913,0	83140,2	47560,1	0,2	0,0
04/mar	23094,0	17785,0	21080,7	11444,5	-0,1	-0,6
05/mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
06/mar	51632,0	39699,3	56290,9	31736,5	0,1	-0,3
07/mar	62171,0	47865,0	83929,4	47254,0	0,3	0,0
08/mar	98566,0	75786,3	106082,1	60773,1	0,1	-0,2
09/mar	99253,0	76314,5	108736,6	62765,7	0,1	-0,2
10/mar	76970,0	59212,0	85598,3	49591,8	0,1	-0,2
11/mar	29637,0	22818,0	26893,2	16137,7	-0,1	-0,4
12/mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
13/mar	41902,0	32233,0	50378,3	28747,9	0,2	-0,1
14/mar	65607,0	50510,0	72779,2	42505,0	0,1	-0,2
15/mar	72162,0	55541,0	86076,6	49105,2	0,2	-0,1
16/mar	78336,0	60243,0	90560,6	53704,6	0,1	-0,1
17/mar	34319,0	26420,0	33195,8	18610,1	0,0	-0,4
18/mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
19/mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
20/mar	43168,0	33176,0	54322,0	30590,8	0,2	-0,1
21/mar	76502,0	58837,0	90485,0	52353,4	0,2	-0,1
22/mar	76556,0	58849,0	96602,7	55204,0	0,2	-0,1
23/mar	78934,0	60717,0	102310,8	59593,1	0,2	0,0
24/mar	33206,0	25573,0	32400,4	18159,6	0,0	-0,4
25/mar	8,0	7,0	0,0	0,0	-	-
26/mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
27/mar	62489,0	48047,1	65367,5	38762,3	0,0	-0,2
28/mar	66887,0	51487,0	90627,1	52099,0	0,3	0,0
29/mar	76227,0	58656,0	91074,4	51994,5	0,2	-0,1
30/mar	70501,0	54255,0	89080,4	51043,7	0,2	-0,1
31/mar	44838,0	34536,0	48201,5	27049,0	0,1	-0,3
	$\Sigma$				$\sigma$	
	1564853,0	1203971,2	1854861,1	1065657,6	0,16	-0,13



## 5. Valores práticos

### 5.1. Análise e comparação entre o consumo de vapor e consumo de gás

A eficiência energética é um fator crucial na gestão de recursos industriais, impactando diretamente os custos operacionais e a sustentabilidade das operações. Neste capítulo, o objetivo é realizar uma análise detalhada e uma comparação entre o consumo de vapor, medido através de caudalímetros, e o consumo de gás, conforme registrado nas faturas, durante o ano de 2022 e o primeiro trimestre de 2023.

#### Limitações da análise

A análise comparativa entre o consumo de energia registrado pelo caudalímetro e o consumo de energia registrado nas faturas de gás apresenta algumas limitações significativas devido à falta de dados do segundo caudalímetro, que lê o consumo de vapor do acumulador 2. Uma vez que apenas o caudalímetro 1, que lê o caudal do acumulador 1, tem registrado dados, e considerando que este acumulador representa teoricamente 80% do consumo de vapor da unidade industrial, a análise será realizada comparando os dados do consumo registrado no caudalímetro com 80% do consumo registrado nas faturas de gás.

#### Dados do consumo

Na Tabela 10, encontram-se os dados que comparam o consumo registrado no caudalímetro com o consumo registrado nas faturas. Observa-se que o consumo de energia registrado pelo caudalímetro é geralmente menor do que o consumo de energia calculado a partir das faturas de gás. Em todos os meses analisados, a tendência de consumo medida pelo caudalímetro é consistente com a tendência de consumo das faturas de gás, refletindo um comportamento semelhante ao longo dos períodos.

Foi calculado o desvio padrão entre os dois valores, representando uma métrica que indica a variabilidade dos dados. A média do desvio padrão é de 0,14, sugerindo que, em média, há uma variação de 14% entre os consumos medidos pelo caudalímetro e os calculados a partir das faturas de gás.

#### Conclusões

Conclui-se por esta análise que existe uma variação considerável entre as medições de consumo de energia pelo caudalímetro e os valores ajustados das faturas de gás. Apesar de as

## 5. Valores práticos

tendências gerais coincidirem, as diferenças mensais indicam a necessidade de uma análise contínua para melhorar a precisão das medições e reduzir as discrepâncias.

### **Impacto da falta de dados do caudalímetro 1**

A análise é limitada pelo facto de termos dados de consumo de energia de apenas uma parte da unidade industrial. Embora teoricamente esse dado devesse representar 80% do consumo total de gás, essa proporção pode variar consideravelmente de mês para mês devido a diversos fatores operacionais, como variações na carga de trabalho das máquinas, manutenção de equipamentos ou mudanças nos processos industriais.

Sem os dados do caudalímetro 2, não podemos confirmar com precisão que o consumo registado pelo caudalímetro 1 corresponde exatamente a 80% do consumo de gás em todos os meses. Existem períodos em que as máquinas alimentadas pelo caudalímetro 1 podem consumir menos ou mais energia do que o esperado, distorcendo a análise comparativa.

Sem os dados do caudalímetro 2, não podemos confirmar com precisão que o consumo registado pelo caudalímetro 1 corresponde exatamente a 80% do consumo de gás em todos os meses. Existem períodos em que as máquinas alimentadas pelo caudalímetro 1 podem consumir menos ou mais energia do que o esperado, distorcendo a análise comparativa.

*Tabela 10 - Análise comparativa do consumo de energia registado pelo caudalímetro com o consumo de energia registado nas faturas de gás.*

<b>Mês</b>	<b>Consumo de energia (Caudalímetro 1)</b>	<b>Consumo de energia (80% Fatura de gás)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Janeiro 2022	1110812	1328570	0,16
Fevereiro 2022	1111141	1302679	0,15
Março 2022	1182491	1366810	0,13
Abril 2022	1015706	1152395	0,12
Mai 2022	1207076	1402874	0,14
Junho 2022	1102006	1221590	0,10
Julho 2022	1396511	1557174	0,10
Agosto 2022	555523	699323	0,21
Setembro 2022	1168520	1312959	0,11
Outubro 2022	877941	1121666	0,22
Novembro 2022	977584	1184790	0,17
Dezembro 2022	526711	611948	0,14
Janeiro 2023	849917	1023470	0,17

Fevereiro 2023	974865	1078190	0,10
Março 2023	1203971	1246264	0,03
<b>Média de desvio padrão:</b>			0,14

## 5.2. Análise de picos de consumo de vapor e validação dos equipamentos de vapor

Anteriormente, no capítulo 3.3.2, foi calculada a quantidade de vapor disponível a ser fornecida pelos acumuladores, no cenário em que haja uma sobrecarga do consumo de vapor pelas máquinas que são alimentadas por esses acumuladores.

Analisando os picos de vapor registados pelos caudalímetros, podemos dimensionar os acumuladores com maior precisão ou identificar se existe a necessidade de uma caldeira com capacidade de produção maior.

Na prática, o volume de um acumulador de vapor é baseado no armazenamento necessário para atender a uma demanda de pico, com uma queda de pressão permitida, enquanto ainda fornece vapor seco limpo a uma velocidade adequada de liberação de vapor da superfície da água. [27]

### 5.2.1. Acumulador 1

Tal como mencionado no capítulo 3.3.2, considerou-se uma capacidade de carga máxima por parte da caldeira de 4000 kg/h.

A sobrecarga instantânea máxima foi identificada no dia 23 de março de 2023 pelas 5h24, com um pico de consumo de 4952 kg/h.

Embora a sobrecarga instantânea máxima seja de 4952 kg/h, o valor médio da sobrecarga deve ser utilizado para dimensionar o acumulador. Isso evita o sobredimensionamento desnecessário do acumulador. Igualmente, é necessário determinar e usar a carga média 'fora de pico' no cálculo do dimensionamento. Carga fora de ponta é qualquer carga abaixo do MCR da caldeira.

O procedimento que se segue mostra como determinar as cargas médias de vapor de um gráfico existente que regista o padrão de carga. O procedimento é construído a partir do Gráfico 4, que mostra o padrão de fluxo do caudalímetro 1, que se encontra a jusante do acumulador 1.

## 5. Valores práticos

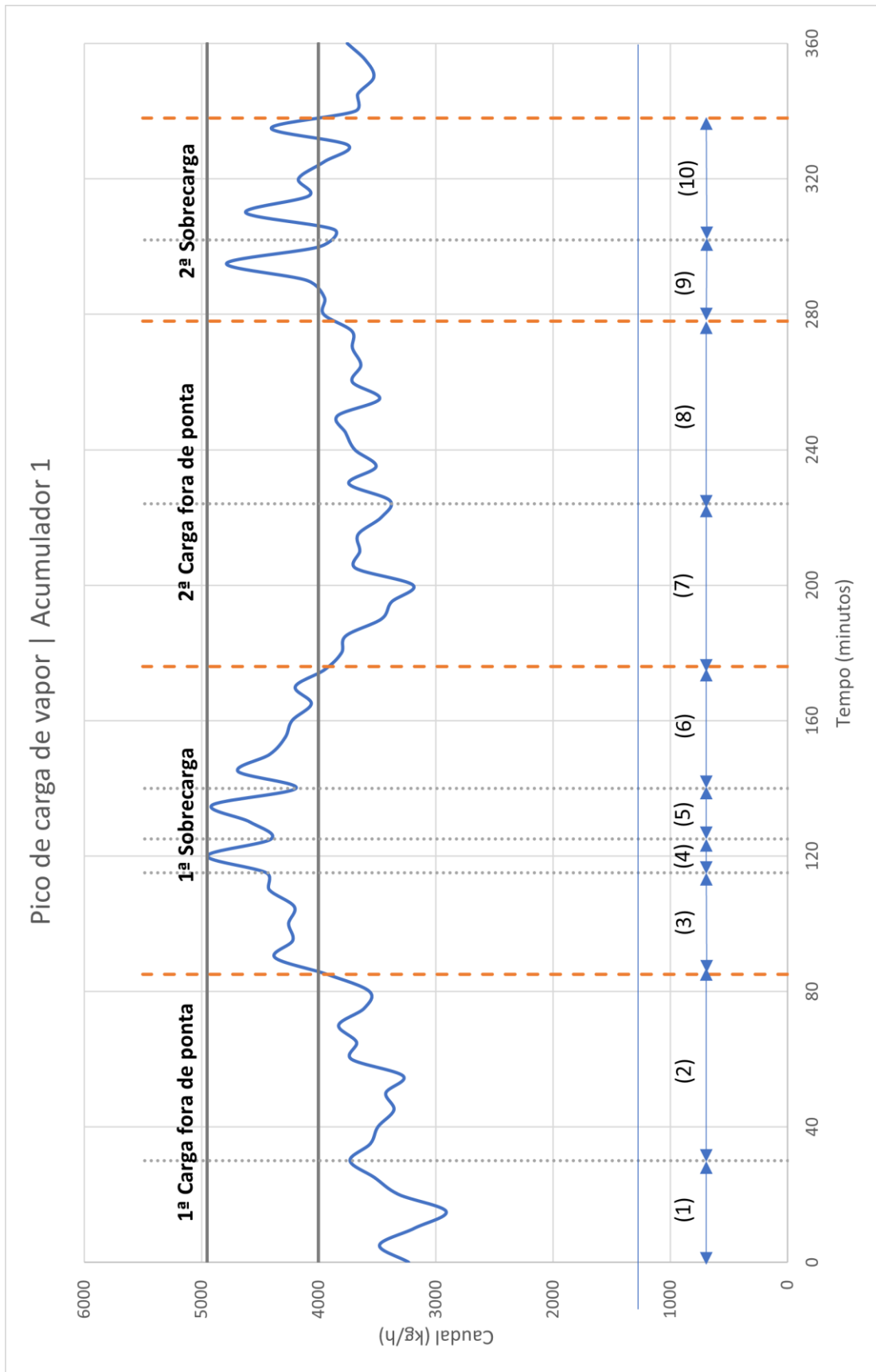


Gráfico 4- Pico de carga de vapor | Acumulador 1.

No Gráfico 4, pode-se observar que as cargas fora de pico foram divididas por cargas médias e respetivos períodos de tempo. A partir desses dados, pode-se determinar a carga excedente média para cada período fora de pico.

O caudal médio excedentário é calculado pela Equação (14)

$$\text{Fluxo excedente médio} = \frac{\sum(\text{Cargas excedentes médias} \times \text{tempo})}{\text{Total de tempo}} \quad (14)$$

### 1ª Carga fora de ponta (1-2)

Intervalo	(1)	(2)
Carga média	3341,6 kg/h	3587,5 kg/h
Fluxo de excedente	658,4 kg/h	412,5 kg/h
Período de tempo	30 minutos	55 minutos

$$\text{Fluxo excedente médio (1 - 2)} = \frac{(658,4 * 30) + (412,5 * 55)}{85} = 499,3 \text{ kg/h}$$

### 2ª Carga fora de ponta (7-8)

Intervalo	(7)	(8)
Carga média	3547,8 kg/h	3707,7 kg/h
Fluxo de excedente médio	452,2 kg/h	292,3 kg/h
Período de tempo	50 minutos	55 minutos

$$\text{Fluxo excedente médio (7 - 8)} = \frac{(425,2 * 50) + (292,2 * 55)}{105} = 368,4 \text{ kg/h}$$

### 1ª Sobrecarga (3-6)

Intervalo	(3)	(4)	(5)	(6)
Carga média	4322,7 kg/h	4679,5 kg/h	4564,0 kg/h	4263,0 kg/h
Período de tempo	30 minutos	10 minutos	15 minutos	35 minutos

## 5. Valores práticos

$$\begin{aligned} \text{Carga média (3 - 6)} &= \frac{(4322,7 * 30) + (4679,5 * 10) * (4564,0 * 15) + (4263,0 * 35)}{90} \\ &= 4379,4 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

### 2ª Sobrecarga (9-10)

Intervalo	(9)	(10)
Carga média	4208,3 kg/h	4069,5 kg/h
Período de tempo	20 minutos	60 minutos

$$\text{Carga média (9 - 10)} = \frac{(4208,3 * 20) + (4069,5 * 60)}{80} = 4104,2 \text{ kg/h}$$

A partir dos dados acima, retiramos:

- Capacidade de carga da caldeira = 4000kg/h;
- Sobrecarga instantânea máxima = 4952 kg/h;
- Maior fluxo excedente médio = 499,3 kg/h
- Maior sobrecarga média = 4379,4 kg/h;
- Tempo mínimo entre sobrecargas = 105 minutos;
- Pressão de distribuição = 7 bar

A pressão de projeto do acumulador precisa ser escolhida, e é comum escolher uma pressão 1 bar maior do que a pressão de distribuição. Isso dá uma capacidade razoável de vapor instantâneo, sem sobre dimensionar indevidamente o acumulador.

No entanto, como os dados do caudalímetro 1 representam os consumos das máquinas alimentadas pelo acumulador 1, e este alimenta máquinas que operam com duas pressões diferentes, 3 e 7 bar, mantemos a pressão existente no acumulador 1 de 7 bar.

### Dimensionamento do acumulador:

#### Caldeira

- Capacidade de carga máxima = 4000 kg/h;
- Pressão normal de trabalho = 8 bar.

#### Requisitos de instalação

- Maior sobrecarga média = 4379,4 kg/h por 90 minutos a cada 105 minutos;
- Armazenamento de vapor necessário = 4379,4 - 4000 = 379,4 kg/h.

No entanto, o vapor só é necessário por 90 minutos a cada 105 minutos, então o armazenamento necessário deve de ser:

$$\text{Armazenamento de vapor necessário} = \frac{379,4 \text{ kg/h} * 90 \text{ minutos/ciclo}}{105 \text{ minutos/ciclo}} = 325,4 \text{ kg/h}$$

A quantidade de água necessária para libertar 331,0 kg de vapor é função da proporção de vapor libertado devido à queda de pressão.

Se o acumulador de vapor for carregado a 8 bar pela caldeira e descarregado a 5 bar para a planta, proporção de vapor instantâneo pode ser calculada pela Equação (15).

$$\begin{aligned} & \text{Quantidade de vapor instantâneo} \\ & = \frac{(h_{caldeira} \text{ à } P_{caldeira}) - (h_{acumulador} \text{ à } P_{acumulador})}{h_{fg} \text{ à } P_{acumulador}} \text{ Massa de água (kg)} \\ & = \text{Capacidade de armazenamento (m}^3\text{)} * \text{Densidade da água (kg/m}^3\text{)} \\ & = \frac{720,95 - 697,31}{2763,73} = 0,00856 \text{ kg/kg de água} \end{aligned} \quad (15)$$

Para determinar a quantidade de água à temperatura de saturação necessária para produzir uma determinada quantidade de vapor, utiliza-se a Equação (16).

$$\begin{aligned} \text{Quantidade de água necessária} & = \frac{325,4 \text{ kg de vapor}}{0,00856 \text{ kg/kg de água}} \\ & = 38018,8 \text{ kg} \end{aligned} \quad (16)$$

A água no estado líquido representa normalmente 90% do volume do acumulador de vapor quando este está cheio, deste modo:

1. Massa da água se o acumulador estiver cheio de água = 38018,8 kg X 0,9 = 34216,9 kg;
2. Massa volúmica da água a 8 bar = 897,7 kg/m<sup>3</sup>;
3. Volume mínimo do acumulador =  $\frac{34216,9 \text{ kg}}{897,7 \text{ kg/m}^3} = 38,12 \text{ m}^3$

A capacidade do acumulador de vapor para responder ao pico de consumo analisado deveria de ter um volume de 39 m<sup>3</sup> e operar a uma pressão de 7 bar.

Tal como esperado pelo calculado no capítulo 3.3.2, o acumulador não tem capacidade para responder a picos de carga tão elevados como os registados pelo caudalímetro.

5. Valores práticos

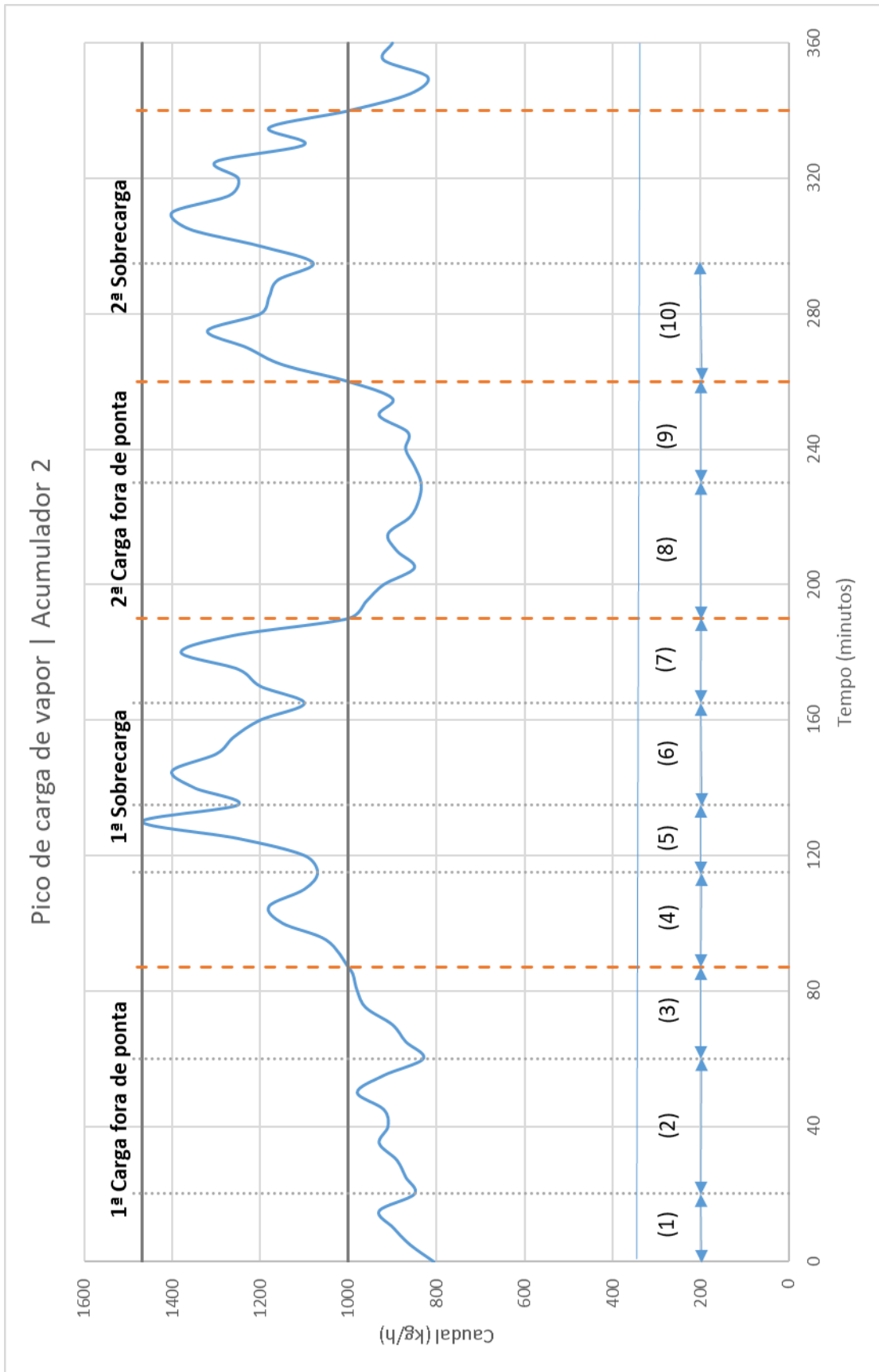


Gráfico 5 - Pico de carga de vapor | Acumulador 2.

### 5.2.2 Acumulador 2

Apesar de não se ter conseguido registar dados no caudalímetro 2 durante longos períodos de tempo por falhas técnicas do mesmo, foi possível obter registos para alguns períodos.

Tal como mencionado no capítulo 3.3.2, considerou-se uma capacidade de carga máxima por parte da caldeira de 1000 kg/h.

A sobrecarga instantânea máxima foi identificada no dia 16 de fevereiro de 2023 pelas 8h36, com um pico de consumo de 1468 kg/h.

Repetindo o processo feito no capítulo 5.2.1, para o acumulador 1, embora a sobrecarga instantânea máxima seja de 1468 kg/h, o valor utilizado para dimensionar o acumulador será o valor médio da sobrecarga.

No Gráfico 5, pode-se observar os picos na carga de vapor durante um período de 360 min, registados pelo caudalímetro 2 a jusante do acumulador 2.

#### 1ª Carga fora de ponta (1-3)

Intervalo	(1)	(2)	(3)
Carga média	868,8 kg/h	906,3 kg/h	950,0
Fluxo de excedente	131,2 kg/h	93,75 kg/h	50 kg/h
Período de tempo	20 minutos	40 minutos	30 minutos

$$\begin{aligned} \text{Fluxo excedente médio (1 - 3)} &= \frac{(868,8 * 20) + (906,3 * 40) + (950,0 * 50)}{130} \\ &= 87,5 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

#### 2ª Carga fora de ponta (8-9)

Intervalo	(7)	(8)
Carga média	883,1 kg/h	902,5 kg/h
Fluxo de excedente médio	116,9 kg/h	97,5 kg/h
Período de tempo	40 minutos	30 minutos

$$\text{Fluxo excedente médio (7 - 8)} = \frac{(116,9 * 50) + (95,5 * 55)}{105} = 108,6 \text{ kg/h}$$

## 5. Valores práticos

### 1ª Sobrecarga (4-7)

Intervalo	(4)	(5)	(6)	(7)
Carga média	1110,0 kg/h	1267,0 kg/h	1268,3 kg/h	1218,0 kg/h
Período de tempo	25 minutos	20 minutos	30 minutos	25 minutos

$$\begin{aligned} \text{Carga média (3 – 6)} &= \frac{(1110,0 * 25) + (1267,0 * 20) + (1268,3 * 30) + (1218,0 * 25)}{100} \\ &= 1215,9 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

### 2ª Sobrecarga (10-11)

Intervalo	(10)	(11)
Carga média	1188,6 kg/h	1228,9 kg/h
Período de tempo	35 minutos	45 minutos

$$\text{Carga média (9 – 10)} = \frac{(1188,6 * 35) + (1228,9 * 45)}{80} = 1211,3 \text{ kg/h}$$

A partir dos dados acima, retiramos:

- Capacidade de carga da caldeira = 1000 kg/h;
- Sobrecarga instantânea máxima = 1468 kg/h;
- Maior fluxo excedente médio = 108,6 kg/h
- Maior sobrecarga média = 1215,9 kg/h;
- Tempo mínimo entre sobrecargas = 70 minutos;
- Pressão de distribuição = 3 bar.

Tal como mencionado anteriormente, a pressão de trabalho escolhida para os acumuladores é normalmente 1 bar maior do que a pressão de trabalho das máquinas que o mesmo vai alimentar, então a pressão estabelecida será de 4 bar.

#### Dimensionamento do acumulador:

##### Caldeira

- Capacidade de carga máxima = 1000 kg/h;
- Pressão normal de trabalho = 8 bar.

##### Requisitos de instalação

- Maior sobrecarga média = 1215,9 kg/h por 100 minutos a cada 70 minutos;

- Armazenamento de vapor necessário = 1215,9 - 1000 = 215,9 kg/h.

No entanto, o vapor só é necessário por 100 minutos a cada 70 minutos, então o armazenamento necessário deve de ser:

$$\text{Armazenamento de vapor necessário} = \frac{215,9 \text{ kg/h} * 100 \text{ minutos/ciclo}}{70 \text{ minutos/ciclo}} = 308,3 \text{ kg/h}$$

A quantidade de água necessária para libertar 331,0 kg de vapor é função da proporção de vapor libertado devido à queda de pressão.

Se o acumulador de vapor for carregado a 8 bar pela caldeira e descarregado a 5 bar para a planta, proporção de vapor instantâneo pode ser calculada pela Equação (15).

$$\begin{aligned} & \text{Quantidade de vapor instantâneo} \\ & = \frac{(h_{caldeira} \text{ à } P_{caldeira}) - (h_{acumulador} \text{ à } P_{acumulador})}{h_{fg} \text{ à } P_{acumulador}} \text{ Massa de água (kg)} \\ & = \text{Capacidade de armazenamento (m}^3\text{)} * \text{Densidade da água (kg/m}^3\text{)} \\ & = \frac{720,95 - 604,6}{2738,4} = 0,04249 \text{ kg/kg de água} \end{aligned} \quad (17)$$

Para determinar a quantidade de água à temperatura de saturação necessária para produzir uma determinada quantidade de vapor, utiliza-se a Equação (16).

$$\begin{aligned} \text{Quantidade de água necessária} & = \frac{308,3 \text{ kg de vapor}}{0,04249 \text{ kg/kg de água}} \\ & = 7255,8 \text{ kg} \end{aligned} \quad (18)$$

A água no estado líquido representa normalmente 90% do volume do acumulador de vapor quando este está cheio, deste modo:

4. Massa da água se o acumulador estiver cheio de água = 7255,8 kg X 0,9 = 6530,2 kg;
5. Massa volúmica da água a 8 bar = 897,7 kg/m<sup>3</sup>;
6. Volume mínimo do acumulador =  $\frac{6530,2 \text{ kg}}{897,7 \text{ kg/m}^3} = 7,27 \text{ m}^3$

A capacidade do acumulador de vapor para responder ao pico de consumo analisado deveria de ter um volume de 8 m<sup>3</sup> e operar a uma pressão de 4 bar.

Tal como esperado pelo calculado no capítulo 3.3.2, o acumulador tem capacidade para responder a estes picos de carga registados, ainda para mais, sendo o disponível de volume maior e pressão de trabalho 3 bar, o que permite maior disponibilidade de vapor flash.



## 6. Conclusões

O presente capítulo centra-se na avaliação dos equipamentos da linha de vapor de uma empresa, conforme o consumo de vapor atual. Esta análise é crucial para identificar a eficiência e as limitações dos sistemas de vapor existentes, bem como para propor melhorias que possam otimizar a gestão energética da unidade industrial.

Uma das principais limitações encontradas na análise foi a ausência de dados do caudalímetro 2, conforme destacado no capítulo 5.1. Esta ausência limita a precisão e a fiabilidade da análise comparativa entre o consumo de energia registado pelos caudalímetros e o consumo de energia registado nas faturas de gás. Embora a análise atual forneça uma visão geral útil, é essencial reconhecer estas limitações ao interpretar os resultados. A recolha de dados adicionais e a verificação regular dos instrumentos de medição são passos fundamentais para melhorar a precisão das análises futuras e garantir uma gestão energética mais eficiente na unidade industrial.

No capítulo 3.3.2, foi calculada a capacidade de resposta de vapor dos acumuladores em situações de picos de consumo. Em teoria, o Acumulador 1 tem uma capacidade de resposta de vapor de 94,5 kg em 1 hora e o Acumulador 2 tem uma capacidade de resposta de vapor de 617,3 kg em 1 hora. Ao cruzar esses dados com os picos de consumo registados pelos caudalímetros, conforme descrito no capítulo 5.2.1, constatou-se que o acumulador 1 não consegue atender adequadamente aos picos de consumo registados. Esses resultados são detalhados na Tabela 11.

*Tabela 11 - Capacidade de resposta de Vapor Instantâneo dos acumuladores VS Pico de consumo de vapor registado.*

	<b>Capacidade de reposta de vapor instantâneo (kg/h)</b>	<b>Pico de consumo registado (kg/h)</b>	<b>Diferença (kg/h)</b>
<b>Acumulador 1</b>	4094,5	4379,4	-279,9
<b>Acumulador 2</b>	1617,3	1468,0	149,3

A análise dos dados apresentados na Tabela 11 revela que o Acumulador 1 possui um défice de 279,9 kg/h na capacidade de resposta em relação ao pico de consumo registado. Por outro lado, o Acumulador 2 possui uma capacidade de resposta superior ao pico de consumo registado, com uma diferença positiva de 149,3 kg/h. Estes resultados indicam que, embora o

## 6. Conclusões

Acumulador 2 seja capaz de suprir as demandas de pico, o Acumulador 1 necessita de ajustes ou melhorias para garantir um desempenho adequado.

A avaliação dos equipamentos da linha de vapor demonstra a importância de uma recolha de dados precisa e contínua, além da necessidade de ajustes nos sistemas de acumulação de vapor para atender às demandas de pico. As limitações identificadas nesta análise fornecem diretrizes claras para futuras melhorias e otimizações na gestão energética da unidade industrial.

### 6.1. Dimensionamento da caldeira

Dimensionar uma caldeira de vapor de tubos de fumos envolve vários passos importantes para garantir que a caldeira atenda às necessidades específicas da aplicação.

#### 1. Determinar a capacidade de vapor necessária

A capacidade de vapor necessária é determinada pela capacidade de produção de vapor que a caldeira precisa de ter, expressa em kg/h ou toneladas por hora (TPH). Para determinar a capacidade de vapor necessária, foram considerados os seguintes pontos:

- **Processos de fabrico:** Foram identificadas todas as máquinas e processos que utilizam vapor.
- **Picos de consumo:** Recolheu-se os registos dos caudalímetros para identificar os picos de consumo de vapor;
  - Pico de consumo registado pelo caudalímetro 1: 4952 kg/h;
  - Pico de consumo registado pelo caudalímetro 2: 1468 kg/h;
- **Consumo contínuo:** Com base nos registos do caudalímetro 1, é possível calcular o consumo contínuo médio de vapor utilizado pelas máquinas alimentadas pelo acumulador 1. Em relação ao consumo médio das máquinas que são alimentadas pelo acumulador 2, dado que não existem registos suficientes do caudalímetro 2, o consumo será estimado com auxílio da Tabela 6;
  - Consumo médio acumulador 1: 2600 kg/h;
  - Consumo médio acumulador 2: 1200 kg/h.

Tendo em conta os pontos acima, arbitrou-se a capacidade de produção de vapor da caldeira para 6000 kg/h.

#### 2. Determinar a pressão de operação

A pressão de operação necessária depende dos requisitos das máquinas que utilizam vapor.

- **Pressão de operação máxima:** As máquinas de moldados de EPP são as que trabalham a uma pressão mais elevada, 7 bar.

- **Margem de segurança:** É fundamental adicionar uma margem de segurança à pressão de operação para garantir que a caldeira possa fornecer vapor com a qualidade exigida. Tendo em conta que linha de vapor também é equipada por acumuladores e estes para conseguirem produzir mais vapor instantâneo devem de estar submetidos a uma variação de pressão, arbitrou-se a pressão de operação da caldeira para 9 bar.

### **3. Escolha do tipo de combustível**

Para o tipo de combustível da caldeira mantém-se o gás natural.

### **4. Eficiência da caldeira**

A eficiência da caldeira é crucial para a sua operação económica. Tratando-se de uma caldeira de tubos de fumos a gás natural, podemos considerar um rendimento térmico de 84%.

## **6.2. Dimensionamento dos acumuladores**

As máquinas que equipam a unidade industrial operam a duas pressões diferentes: 3 bar e 7 bar. Atualmente, o acumulador de vapor 1 alimenta 19 das 20 máquinas de moldados e a estufa, representando cerca de 82% do consumo geral de vapor, conforme verificado no Gráfico 3. Dentro deste consumo, 39% corresponde ao uso de vapor pelas máquinas de moldados de EPP.

Considerando que as máquinas de EPP e EPS operam a pressões distintas, 7 bar e 3 bar, respetivamente, seria interessante estudar a hipótese de implementar dois acumuladores separados: um para alimentar as máquinas que operam a 7 bar e outro para as máquinas que operam a 3 bar. Esta abordagem permitiria uma distribuição mais uniforme do consumo de vapor entre os acumuladores, melhorando a eficiência operacional e a gestão energética da unidade.

Na Tabela 12, estão representados os consumos teóricos de vapor por máquina, juntamente com as respetivas pressões de trabalho. O Gráfico 6, por sua vez, detalha a distribuição do consumo teórico de vapor entre os acumuladores, comparando este gráfico ao Gráfico 3, é possível identificar uma distribuição mais uniforme do consumo de vapor com a separação da alimentação das máquinas por pressão de trabalho.

## 6. Conclusões

Tabela 12 - Consumo teórico de vapor por máquina.

Máquina	Consumo kg vapor/hora	Pressão de trabalho (bar)
1	296,6	3,0
2	48,2	3,0
3	80,6	3,0
4	122,4	3,0
5	122,4	3,0
6	122,4	3,0
7	122,4	3,0
8	122,4	3,0
9	122,4	3,0
10	122,4	3,0
11	122,4	3,0
12	122,4	3,0
13	122,4	3,0
14	195,8	3,0
15	195,8	3,0
16	276,5	3,0
17	783,4	7,0
18	783,4	7,0
19	783,4	7,0
20*	254,9	3,0
Blocos*	900,0	3,0
Expansores*	120,0	3,0
Estufa*	48,0	3,0
<b>Total</b>	<b>5990,6</b>	<b>*Valores estimados</b>

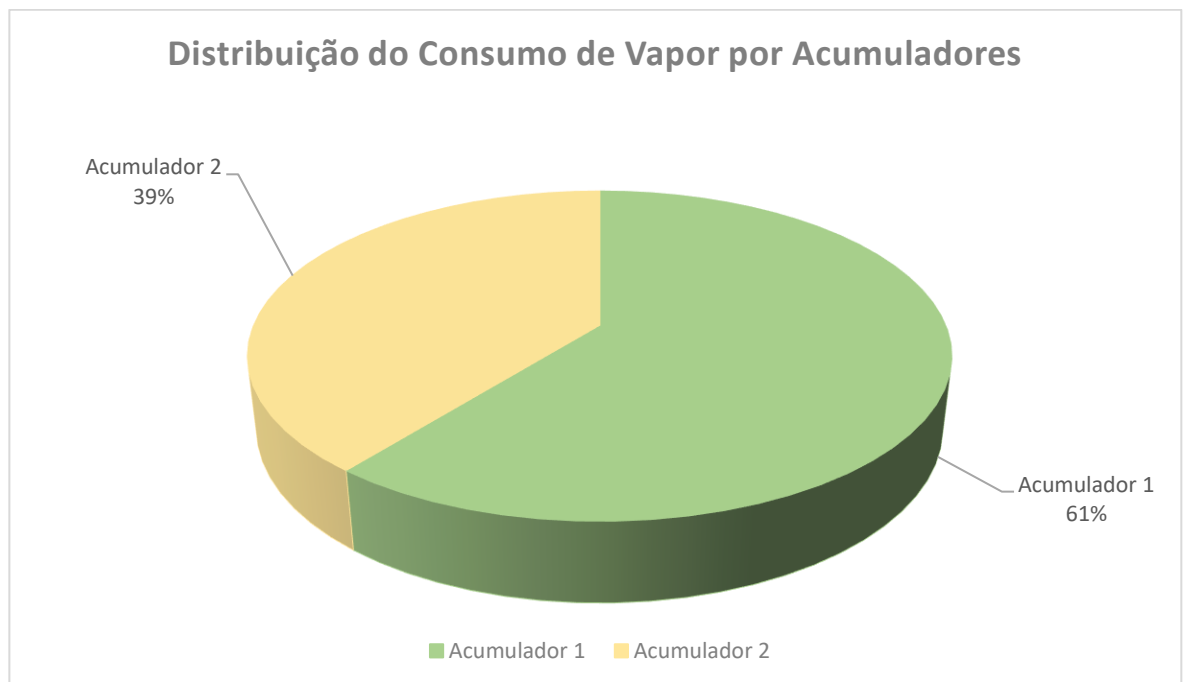


Gráfico 6 - Distribuição do consumo teórico de vapor entre os acumuladores.

Vamos considerar dois novos acumuladores de vapor para combinar com a caldeira dimensionada anteriormente, iremos arbitrar para o mesmo volume de acumuladores que já existem e apenas ajustar a pressão de trabalho dos mesmos:

- Acumulador 1 – Alimenta as máquinas que operam a 7 bar,
  - Capacidade de armazenamento – 10 m<sup>3</sup>;
  - Pressão normal de trabalho, 8 bar ( $h_f = 720,88$  kJ/kg);
  - Massa volúmica da água a 8 bar, 896,93 kg/m<sup>3</sup>;
  - Calor latente de vaporização, 2045,10 kJ/kg;
- Acumulador 2 – Alimenta as máquinas que operam a 3 bar,
  - Capacidade de armazenamento – 10 m<sup>3</sup>;
  - Pressão normal de trabalho, 4 bar ( $h_f = 604,61$  kJ/kg);
  - Massa volúmica da água a 4 bar, 922,85 kg/m<sup>3</sup>;
  - Calor latente de vaporização, 2133,8 kJ/kg.

Dados da caldeira arbitrada anteriormente:

- Carga máxima contínua, 6000 kg/h;
- Pressão norma de trabalho, 9 bar ( $h_f = 742,97$  kJ/kg).

Uma vez reunidos estes dados, a Equação (12) permite-nos calcular a capacidade de armazenamento de um acumulador.

## 6. Conclusões

$$\begin{aligned} & \text{Capacidade de armazenamento} \\ & = \frac{\text{Diferença de entalpia da água} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * \text{massa de água} (\text{kg})}{\text{Entalpia de evaporação na pressão mais baixa} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} \end{aligned} \quad (19)$$

Para calcular a massa de água, consideramos que os acumuladores estavam preenchidos a 90% de sua capacidade, utilizando a Equação (13).

$$\begin{aligned} & \text{Massa de água} (\text{kg}) \\ & = \text{Capacidade de armazenamento} (\text{m}^3) \\ & * \text{Massa volúmica da água} (\text{kg}/\text{m}^3) \end{aligned} \quad (20)$$

### No caso do acumulador 1:

$$\text{Massa da água} = 10 * 896,93 * 0,9 = 8072,4 \text{ kg}$$

$$\text{Capacidade de armazenamento} = \frac{(742,97 - 720,88) * 8072,4}{2045,10} = 87,2 \text{ kg}$$

Estes 87,2 kg de vapor representam o vapor instantâneo que será libertado durante um período de 1 hora.

### No caso do acumulador 2:

$$\text{Massa de água} = 10 * 922,85 * 0,9 = 8305,7 \text{ kg}$$

$$\text{Capacidade de armazenamento} = \frac{(742,97 - 604,61) * 8305,7}{2133,8} = 460,7 \text{ kg}$$

Estes 460,7 kg de vapor representam o vapor instantâneo que será libertado durante um período de 1 hora.

Ao somar o vapor instantâneo calculado para os dois acumuladores à capacidade máxima de produção da caldeira, obtém-se um total de 6547,9 kg de vapor disponível durante um período de 1 hora. Comparando este valor com os picos de consumo de vapor registados pelos caudalímetros, que somam 6420 kg em 1 hora, conclui-se que o dimensionamento da nova caldeira e dos dois novos acumuladores seria suficiente para garantir a quantidade de vapor necessária para responder ao consumo das máquinas, mesmo durante os picos de consumo. No entanto, a instalação de uma nova máquina, dependendo das suas características, poderá exigir um novo dimensionamento do sistema.

## 7. Propostas de melhoria

Com base na análise realizada, foram identificadas várias oportunidades de melhoria no sistema de vapor da unidade industrial. Estas propostas têm como objetivo resolver as limitações encontradas e aumentar a eficiência global e a gestão energética da instalação.

### 1. Instalação de caudalímetros adicionais

- **Problema:** Uma das principais limitações identificadas foi a falta de dados suficientes dos caudalímetros, especialmente no caso do Acumulador 2. Isso limita a precisão e fiabilidade da análise do consumo de energia, dificultando a comparação entre o uso real de vapor e o consumo de gás registado nas faturas.
- **Melhoria:** Instalar caudalímetros adicionais em pontos-chave da linha de vapor, nomeadamente no Acumulador 2 e nas máquinas críticas que atualmente não possuem medição precisa do consumo.
- **Benefícios:**
  - Melhoria na precisão dos dados, permitindo uma gestão energética e alocação de custos mais eficazes.
  - Aumento da capacidade de monitorização em tempo real, permitindo ajustes imediatos e identificação de ineficiências.
  - Melhor suporte à tomada de decisões para futuras medidas de poupança de energia com base em dados fiáveis.
  - Maior eficiência energética através de uma melhor gestão da acumulação e distribuição de vapor.

### 2. Separação dos acumuladores por pressão de trabalho

- **Problema:** Atualmente, máquinas que operam a pressões distintas (7 bar para EPP e 3 bar para EPS) estão a ser alimentadas pelo mesmo sistema de acumuladores, o que pode causar ineficiências na distribuição de vapor.
- **Melhoria:** Implementar dois acumuladores separados: um para as máquinas que operam a 7 bar e outro para as máquinas que operam a 3 bar. Esta separação permitiria uma distribuição de vapor mais adequada às necessidades de cada equipamento.

## 7. Propostas de melhoria

- **Benefícios:**

- Distribuição mais eficiente de vapor, garantido que nenhum dos acumuladores está a ser sobrecarregado e melhorando o desempenho do sistema.
- Maior flexibilidade operacional, assegurando que as máquinas recebem vapor à pressão correta, prolongando a vida útil dos equipamentos e reduzindo custos de manutenção.

### 3. Otimização da capacidade da caldeira

- **Problema:** A capacidade atual da caldeira não está completamente ajustada às exigências de consumo de vapor, especialmente nos picos. É necessário dimensionar adequadamente a caldeira para atender às necessidades sem desperdício de energia.
- **Melhoria:** Ajustar a capacidade da caldeira para 6000 kg/h, garantindo que a caldeira consegue atender ao consumo máximo registado de 6420 kg/h, com suporte dos acumuladores.
- **Benefícios:**
  - Garantia de fornecimento adequado de vapor durante picos de consumo, melhorando a continuidade e eficiência da produção.

### 4. Manutenção e calibração regular dos instrumentos de medição

- **Problema:** A falta de verificação e manutenção regular dos caudalímetros e outros dispositivos de medição de vapor resulta em dados imprecisos, afetando a gestão de energia e a análise de custos.
- **Melhoria:** Implementar um programa de manutenção preventiva para todos os instrumentos de medição de vapor, incluindo a calibração periódica dos caudalímetros e sensores de pressão.
- **Benefícios:**
  - Garantia de recolha de dados precisa e consistente, melhorando a fiabilidade das decisões de gestão energética.
  - Minimização de tempo de paragem e custos de reparação, prevenindo falhas de equipamento através de uma manutenção proativa.
  - Suporte a um planeamento mais eficiente e a longo prazo para futuras iniciativas de eficiência energética, com base em dados de qualidade.

### 5. Manutenção geral da linha de vapor e máquinas para eliminar fugas

- **Problema:** Possíveis fugas de vapor na linha de vapor e nas máquinas que o consomem, não só aumentam o consumo de energia, como também reduzem a eficiência global do sistema, contribuindo para perdas significativas de vapor e calor.
- **Melhoria:** Realizar uma manutenção abrangente em toda a linha de vapor e nas máquinas, focada na identificação e reparação de fugas de vapor, garantindo a integridade dos componentes.
- **Benefícios:**
  - Redução de perdas de vapor, melhorando a eficiência energética e reduzindo custos operacionais.
  - Maior vida útil dos equipamentos, diminuindo a necessidade de substituição precoce devido ao desgaste provocado pelas fugas.
  - Redução da pegada de carbono, com menor consumo de energia e emissões associadas.

Em suma, as melhorias propostas, incluindo a separação dos acumuladores por pressão de trabalho, a instalação de caudalímetros adicionais, a otimização da caldeira e a manutenção geral para eliminar fugas, permitirão uma maior eficiência na gestão de vapor e um desempenho operacional mais sustentável. A combinação destas ações resultará em poupança de energia, redução de custos e uma operação mais confiável e robusta.



# Referências

- [1] idealista, [Online]. Available: <https://www.idealista.pt/comprar-casas/matosinhos/mapa>. [Acedido em dezembro 2022].
- [2] “Leça do Balio,” [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Le%C3%A7a\\_do\\_Balio](https://pt.wikipedia.org/wiki/Le%C3%A7a_do_Balio). [Acedido em dezembro 2022].
- [3] Google Maps, [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/place/Petibol+-+Embalagens+De+Pl%C3%A1stico,+S.A./@41.2154318,-8.6401624,15.22z/data=!4m13!1m7!3m6!1s0xd2466402f12ccd9:0x82f34c321cd9263e!2sAra%C3%BAjo,+4465-578+Le%C3%A7a+do+Balio!3b1!8m2!3d41.2176394!4d-8.6359116!3m4!1s0xd246>. [Acedido em 30 dezembro 2022].
- [4] Petibol, [Online]. Available: <https://www.petibol.pt/pt/sobre/>. [Acedido em dezembro 2022].
- [5] “Poliestireno,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Poliestireno>. [Acedido em dezembro 2022].
- [6] Petibol, “Processo,” [Online]. Available: <https://www.petibol.pt/pt/processo/>. [Acedido em dezembro 2022].
- [7] “Polipropileno,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>. [Acedido em dezembro 2022].
- [8] Petibol, “Setores,” [Online]. Available: <https://www.petibol.pt/pt/setores/>. [Acedido em dezembro 2022].
- [9] Airpop, “Betão leve,” [Online]. Available: <https://acepe.pt/betao-leve/>. [Acedido em dezembro 2022].
- [10] Petibol, “Ambiente,” [Online]. Available: <https://www.petibol.pt/pt/ambiente/>. [Acedido em dezembro 2022].
- [11] Laramaq, “Filtro de areia industrial,” janeiro 2023. [Online]. Available: <https://www.laramaq.com.br/filtro-areia-industrial>.
- [12] Ambietel, “Filtros desferrizadores,” [Online]. Available: <https://ambietel.com/pt/tratamento-de-aguas/desferrizacao/>. [Acedido em janeiro 2023].
- [13] Babcock Wanson, “Descalcificador industrial,” [Online]. Available: <https://www.babcock-wanson.com/pt-pt/produtos/tratamento-de-agua-industrial/descalcificador-industrial/>. [Acedido em janeiro 2023].
- [14] M. P. C. d. Silva, “Caracterização de águas do processo e optimização dps consumos de água nos vários circuitos da Petibol, S.A.- Embalagens de Plástico,” 2010.
- [15] Babcock Wanson, “Descalcificador industrial,” janeiro 2023. [Online]. Available: <https://www.babcock-wanson.com/pt-pt/produtos/tratamento-de-agua-industrial/descalcificador-industrial/>.
- [16] Babcock Wanson, “Desgaseificador térmico,” [Online]. Available: <https://www.babcock-wanson.com/pt-pt/produtos/tratamento-de-agua-industrial/desgaseificador-termico/>. [Acedido em janeiro 2023].

## Referências

- [17] “Economizador,” janeiro 2023. [Online]. Available: [https://www.google.com/search?q=economizador&sxsrf=AJOqlzXbYObGPAWBXDVSwwvpCfa8IYpNfQ:1673115615790&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj2Mmvibb8AhW\\_UKQEHSfOAxYQ\\_AUoAXoECAIQAw&biw=1490&bih=722&dpr=1.25#imgrc=ccyropuutrz2fM](https://www.google.com/search?q=economizador&sxsrf=AJOqlzXbYObGPAWBXDVSwwvpCfa8IYpNfQ:1673115615790&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj2Mmvibb8AhW_UKQEHSfOAxYQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1490&bih=722&dpr=1.25#imgrc=ccyropuutrz2fM).
- [18] Babcock Wanson, “Caldeiras Aquatubulares,” [Online]. Available: <https://www.babcock-wanson.com/pt-pt/produtos/caldeiras-industriais/caldeiras-aquatubulares-vapor/>. [Acedido em janeiro 2023].
- [19] L. Ribeiro, Caldeiras e Combustíveis.
- [20] “Caldeira Tubular,” [Online]. Available: [https://www.google.com/search?q=caldeira+tubular&sxsrf=AJOqlzWEBhlnN-V6JZi5GnrjWbviOrlfw:1673282721371&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj29zx97r8AhVrTKQEHRwzAC8Q\\_AUoAXoECAIQAw&biw=1490&bih=722&dpr=1.25#imgrc=M5L-3g5KszdxMM&imgdii=jCkdX2I0uMZBxM](https://www.google.com/search?q=caldeira+tubular&sxsrf=AJOqlzWEBhlnN-V6JZi5GnrjWbviOrlfw:1673282721371&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj29zx97r8AhVrTKQEHRwzAC8Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1490&bih=722&dpr=1.25#imgrc=M5L-3g5KszdxMM&imgdii=jCkdX2I0uMZBxM). [Acedido em janeiro 2023].
- [21] Byworth, “Acumuladores de Vapor,” [Online]. Available: <https://byworth.co.uk/products/steam-accumulator/>. [Acedido em janeiro 2023].
- [22] “Válvulas auto operadas controles e aplicações,” [Online]. Available: <https://www.dicasdeinstrumentacao.com/valvulas-auto-operadas-controles-e-aplicacoes/>. [Acedido em janeiro 2023].
- [23] Ingersollrand, “Compressores de ar,” [Online]. Available: <https://www.ingersollrand.com/pt-pt/air-compressor/oil-free-air-compressors/nirvana-90-160-kw-125-200-hp-vsdc-compressor>. [Acedido em janeiro 2023].
- [24] Sydexflow, “Bombas de Vácuo de Anel Líquido,” [Online]. Available: <https://www.sydexflow.com/bombas-de-vacu>. [Acedido em janeiro 2023].
- [25] Buschvacuum, “Bombas de Vácuo e Compressores de Anel Líquido,” [Online]. Available: <https://www.buschvacuum.com/pt/pt/products/vacuum-pumps/liquid-ring/liquid-ring-technology/>. [Acedido em janeiro 2023].
- [26] Portgás, “Combustíveis por Unidade de Energia,” [Online]. Available: <https://www.portgas.pt/profissionais/apoio/equivalencias-energeticas/>.
- [27] Spiraxsarco, “Steam accumulators,” abril 2024. [Online]. Available: <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/the-boiler-house/steam-accumulators>.
- [28] M. J. S. B. P. Caldeira, “Análise e Optimização dos consumos de utilidades (vapor e energia eléctrica) na Petibol – Embalagens de Plásticos, S.A.,” 2010.

# Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Vasco Bastos da Fonseca

ISEP, Porto, 06 de setembro de 2024



# Anexo A

**TABLE 1**  
**SUGGESTED WATER QUALITY LIMITS**

BOILER TYPE: Industrial watertube, high duty, primary fuel fired, drum type  
 MAKEUP WATER PERCENTAGE: Up to 100% of feedwater  
 CONDITIONS: Includes superheater, turbine drives, or process restrictions on steam  
 SATURATED STEAM PURITY TARGET: See footnote

	0-300	301-450	541-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500	1501-2000
Drum Pressure (psig)								
	Feedwater							
Dissolved Oxygen (mg/l)	<0.04	<0.04	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Total iron (mg/l Fe)	≤0.1	≤0.05	≤0.03	≤0.025	≤0.02	≤0.02	≤0.01	≤0.01
Total Copper (mg/l Cu)	≤0.5	≤0.25	≤0.02	≤0.02	≤0.015	≤0.015	≤0.01	≤0.01
Total Hardness (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	≤0.3	≤0.3	≤0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.05	None detected	
Ph range @ 25°F	7.5-10	7.5-10	7.5-10	7.5-10	7.5-10	8.5-9.5	9.0-9.6	9.0-9.6
Nonvolatile TOC (mg/l C)	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.2	<0.2	<0.2
Oily Matter (mg/l)	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.2	<0.2	<0.2
	Boiler Water Limits							
Silica (mg/l SiO <sub>2</sub> )	≤150	≤90	≤40	≤30	≤20	≤8	≤2	≤1
Total Alkalinity (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	<350	<300	<250	<200	<150	<100	Not specified	
Free Hydroxide (mg/l CaCO <sub>3</sub> )			Not specified					
Unneutralized Conductivity (µmho/cm @ 25°F)	<3500	<3000	<2500	<2000	<1500	<1000	<150	≤100

Footnote: No values given because steam purity achievable depends on many variables, including boiler water total alkalinity and specific conductance as well as boiler design, steam drum internals and operating conditions. Since boilers in this category require relatively high steam purity, operating parameters must be set as low as necessary for the protection of the superheaters and turbines.

Source: The American Society of Mechanical Engineers

Figura 23- Limites sugeridos de qualidade de água em caldeiras de acordo com a ASME.

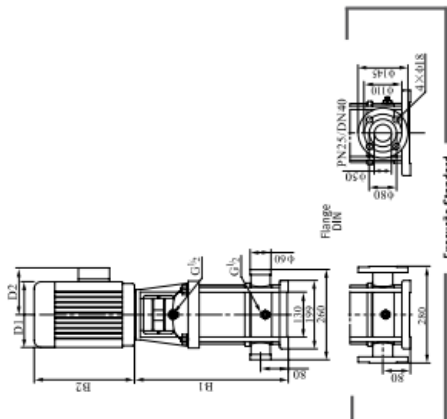
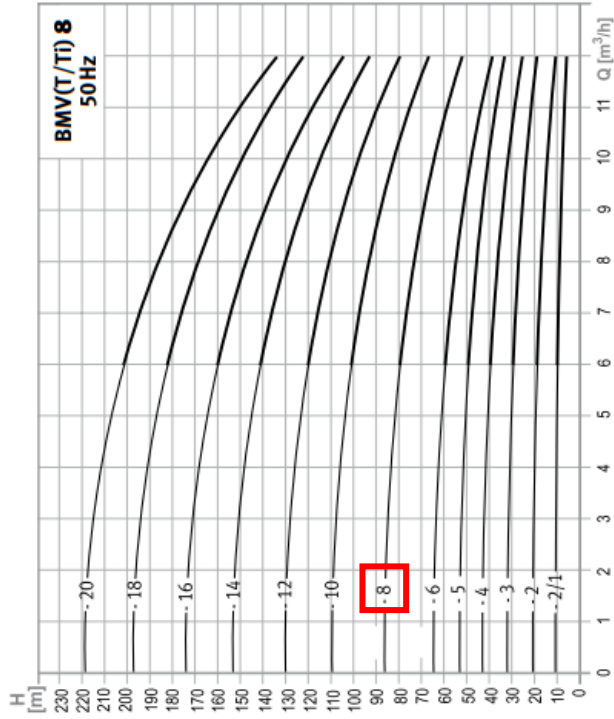


Figura 24- Características técnicas, BMVT 8-8.

MODELO MODEL	POTÊNCIA POWER kW	DIMENSÕES   DIMENSIONS (mm)					PESO WEIGHT KG
		B1	B2	B1+B2	D1	D2	
BMV(T/TT) 8-2/1	0.75						32
BMV(T/TT) 8-2	0.75	347	245	592	170	142	32
BMV(T/TT) 8-3	1.1	377		622			34
BMV(T/TT) 8-4	1.5	417		707			40
BMV(T/TT) 8-5	2.2	447	290	737	190	155	44
BMV(T/TT) 8-6	2.2	477		767			45
BMV(T/TT) 8-8	3.0	547	315	862	197	165	53
BMV(T/TT) 8-10	4.0	607	335	942	230	188	64
BMV(T/TT) 8-12	4.0	667		1002			66
BMV(T/TT) 8-14	5.5	747		1177			81
BMV(T/TT) 8-16	5.5	807	430	1237	260	208	84
BMV(T/TT) 8-18	7.5	867		1297			93
BMV(T/TT) 8-20	7.5	927		1357			94

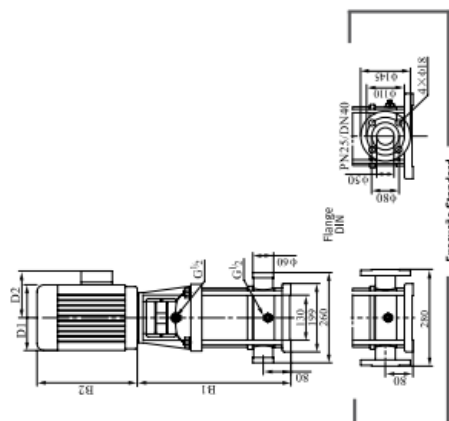
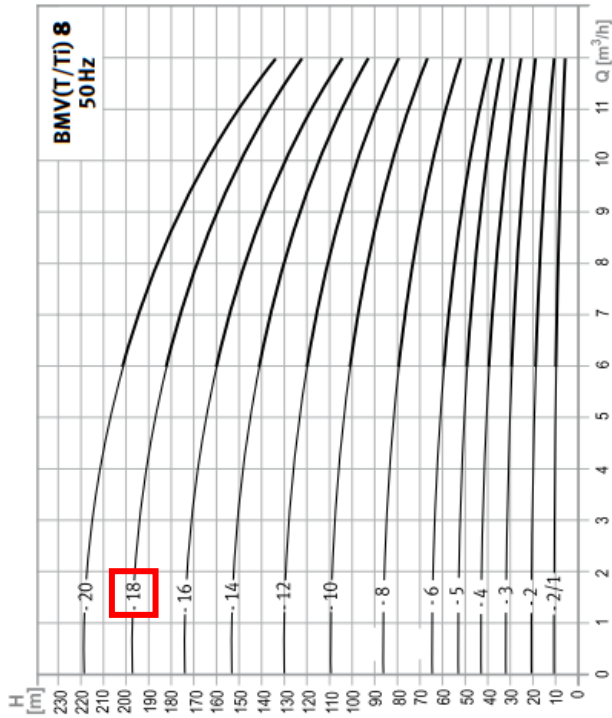
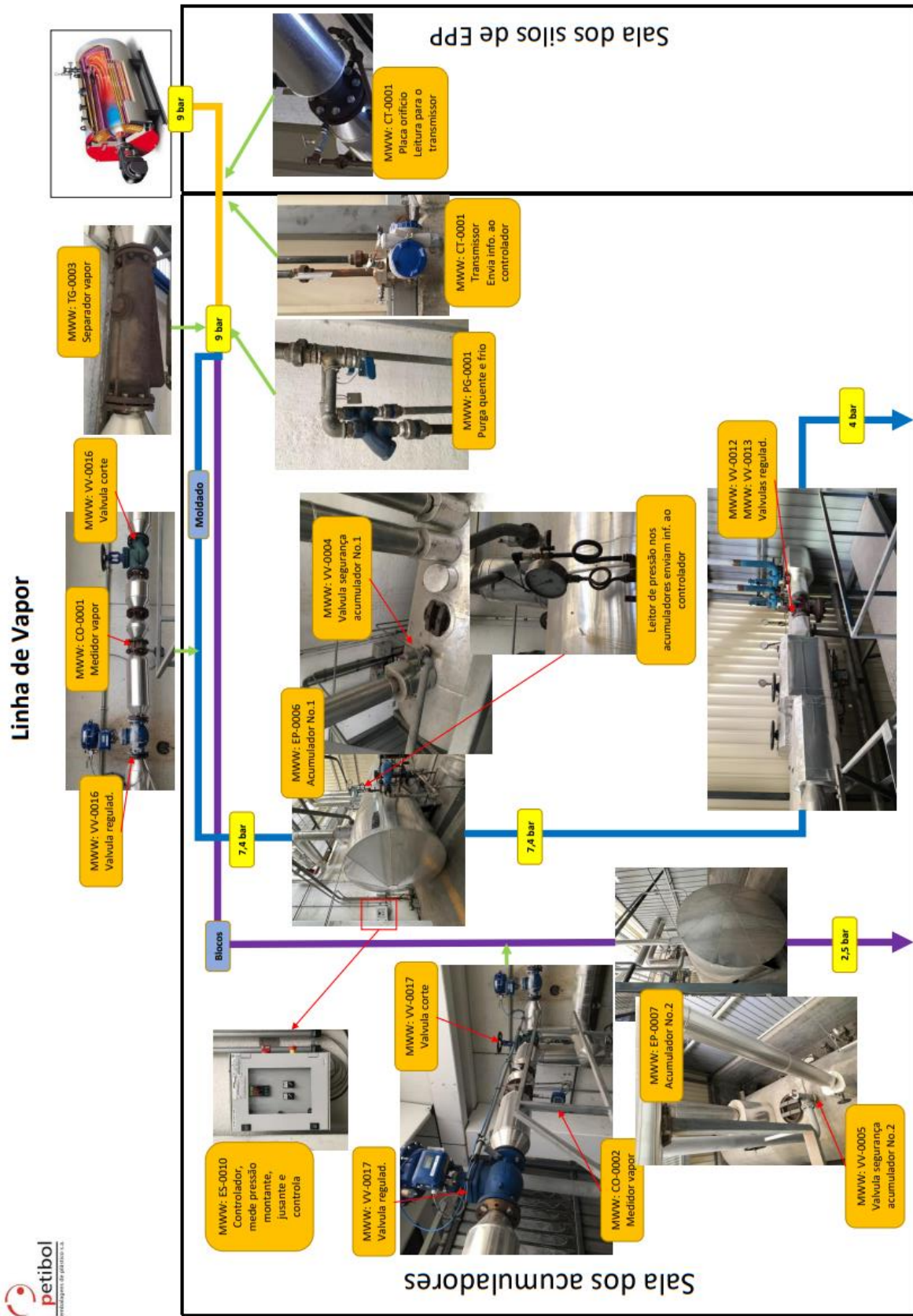


Figura 25 - Características técnicas, BMVT 8-18.

MODELO MODEL	POTÊNCIA POWER kW	DIMENSÕES   DIMENSIONS (mm)					PESO WEIGHT Kg
		B1	B2	B1+B2	D1	D2	
BMV(T/T) 8-2/1	0.75						32
BMV(T/T) 8-2	0.75	347	245	592	170	142	32
BMV(T/T) 8-3	1.1	377		622			34
BMV(T/T) 8-4	1.5	417		707	190	155	40
BMV(T/T) 8-5	2.2	447	290	737			44
BMV(T/T) 8-6	2.2	477		767			45
BMV(T/T) 8-8	3.0	547	315	862	197	165	53
BMV(T/T) 8-10	4.0	607	335	942	230	188	64
BMV(T/T) 8-12	4.0	667		1002			66
BMV(T/T) 8-14	5.5	747		1177			81
BMV(T/T) 8-16	5.5	807		1207			84
BMV(T/T) 8-18	7.5	867	430	1297	260	208	93
BMV(T/T) 8-20	7.5	927		1357			94



Data: 05/04/2023

Elaborado por: Vasco Fonseca  
Aprovado por: João Tinoco

Figura 26- Linha de vapor na instalação industrial da Petibol.

## Anexo B

Tabela 13- Registo dos consumos de gás kWh.

	<u>Ano 2019</u>	<u>Ano 2020</u>	<u>Ano 2021</u>	<u>Ano 2022</u>	<u>Ano 2023</u>
<b>Janeiro</b>	1 166 450	1 085 912	1 476 409	1 660 712	1 279 337
<b>Fevereiro</b>	1 103 988	1 032 423	1 348 075	1 628 349	1 347 738
<b>Março</b>	1 066 410	1 283 852	1 103 044	1 708 513	1 557 830
<b>Abril</b>	1 094 651	795 676	953 316	1 440 494	1 150 469
<b>Maio</b>	1 282 809	901 732	1 321 031	1 753 593	0
<b>Junho</b>	899 825	1 133 289	1 453 551	1 526 988	0
<b>Julho</b>	1 476 296	1 701 124	1 791 593	1 946 467	0
<b>Agosto</b>	425 560	739 901	844 477	874 154	0
<b>Setembro</b>	1 168 547	1 508 290	1 657 032	1 641 199	0
<b>Outubro</b>	1 237 184	1 622 658	1 579 399	1 402 083	0
<b>Novembro</b>	1 133 131	1 666 123	1 534 734	1 480 988	0
<b>Dezembro</b>	618 274	1 075 472	1 038 754	764 936	0

# Anexo C

Tabela 14 - Registo de ciclos executados pelas 20 máquinas da linha de moldados ao longo dos três primeiros meses do ano de 2023, juntamente com o seu consumo teórico de energia.

Data	Consumos teórico de Energia, Linha dos Moldados																	
	MLD_01			MLD_02			MLD_03			MLD_04			MLD_05			MLD_06		
	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)
01/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04/01/2023	37,0	960,4	589,5	116,0	227,2	139,5	175,0	576,9	354,1	424,0	1909,6	1172,1	451,0	1971,9	1210,4	373,0	1334,3	819,0
05/01/2023	14,0	363,4	223,1	736,0	1441,5	884,9	228,0	751,6	461,3	578,0	2603,1	1597,9	496,0	2168,7	1331,2	462,0	1652,6	1014,4
06/01/2023	93,0	2413,9	1481,7	690,0	1351,4	829,5	328,0	1081,2	663,7	686,0	3089,5	1896,4	693,0	3030,0	1859,9	541,0	1935,2	1187,9
07/01/2023	0,0	0,0	0,0	227,0	444,6	272,9	168,0	553,8	339,9	300,0	1351,1	829,3	224,0	979,4	601,2	320,0	1144,7	702,6
08/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09/01/2023	21,0	545,1	334,6	635,0	1243,7	763,4	278,0	916,4	562,5	517,0	2328,4	1429,2	259,0	1132,4	695,1	608,0	2174,9	1335,0
10/01/2023	0,0	0,0	0,0	1093,0	2140,7	1314,1	354,0	1166,9	716,3	788,0	3548,9	2178,4	522,0	2282,4	1401,0	703,0	2514,7	1543,6
11/01/2023	240,0	6229,4	3823,8	1284,0	2514,8	1543,7	456,0	1503,1	922,7	774,0	3485,8	2139,7	376,0	1644,0	1009,1	538,0	1924,5	1181,3
12/01/2023	385,0	9993,1	6134,1	1074,0	2103,5	1291,2	4,0	13,2	8,1	629,0	2832,8	1738,9	470,0	2055,0	1261,4	595,0	2128,4	1306,5
13/01/2023	367,0	9525,9	5847,3	360,0	705,1	432,8	0,0	0,0	0,0	69,0	310,8	190,7	410,0	1792,7	1100,4	144,0	515,1	316,2
14/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16/01/2023	303,0	7864,7	4827,6	395,0	773,6	474,9	246,0	810,9	497,8	170,0	765,6	470,0	390,0	1705,2	1046,7	298,0	1066,0	654,3
17/01/2023	305,0	7916,6	4859,4	932,0	1825,4	1120,5	84,0	276,9	170,0	377,0	1697,9	1042,2	652,0	2850,8	1749,9	647,0	2314,4	1420,7
18/01/2023	408,0	10590,0	6500,5	803,0	1572,7	965,4	537,0	1770,1	1086,6	383,0	1724,9	1058,8	830,0	3629,1	2227,6	704,0	2518,3	1545,8
19/01/2023	572,0	14846,8	9113,5	470,0	920,5	565,1	257,0	847,2	520,0	660,0	2972,4	1824,6	730,0	3191,8	1959,2	708,0	2532,6	1554,6
20/01/2023	384,0	9967,1	6118,1	259,0	507,3	311,4	288,0	949,3	582,7	219,0	986,3	605,4	448,0	1958,8	1202,4	406,0	1452,3	891,5
21/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23/01/2023	355,0	9214,4	5656,1	313,0	613,0	376,3	172,0	567,0	348,0	480,0	2161,8	1327,0	452,0	1976,3	1213,1	466,0	1666,9	1023,2
24/01/2023	213,0	5528,6	3393,6	493,0	965,6	592,7	683,0	2251,4	1382,0	759,0	3418,3	2098,2	627,0	2741,5	1682,8	746,0	2668,5	1638,0
25/01/2023	272,0	7060,0	4333,7	632,0	1237,8	759,8	561,0	1849,3	1135,1	792,0	3566,9	2189,5	626,0	2737,1	1680,1	714,0	2554,1	1567,8
26/01/2023	173,0	4490,4	2756,3	700,0	1371,0	841,6	393,0	1295,5	795,2	788,0	3548,9	2178,4	551,0	2409,2	1478,8	646,0	2310,8	1418,5
27/01/2023	138,0	3581,9	2198,7	689,0	1349,5	828,3	329,0	1084,5	665,7	1020,0	4593,7	2819,8	272,0	1189,3	730,0	679,0	2428,9	1490,9
28/01/2023	0,0	0,0	0,0	262,0	513,2	315,0	234,0	771,3	473,5	353,0	1589,8	975,9	89,0	389,1	238,9	241,0	862,1	529,2
29/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30/01/2023	398,0	10330,5	6341,2	450,0	881,4	541,0	314,0	1035,1	635,3	394,0	1774,4	1089,2	280,0	1224,3	751,5	420,0	1502,4	922,2
31/01/2023	267,0	6930,3	4254,0	616,0	1206,5	740,6	614,0	2024,0	1242,4	323,0	1454,7	892,9	512,0	2238,7	1374,2	448,0	1602,6	983,7
01/02/2023	0,0	0,0	0,0	696,0	1363,2	836,8	803,0	2647,0	1624,8	404,0	1819,5	1116,9	534,0	2334,8	1433,2	613,0	2192,8	1346,0
02/02/2023	205,0	5321,0	3266,2	434,0	850,0	521,8	770,0	2538,2	1558,0	717,0	3229,1	1982,1	580,0	2536,0	1556,7	670,0	2396,7	1471,2

03/02/2023	435,0	11290,9	6930,7	380,0	744,3	456,9	530,0	1747,1	1072,4	692,0	3116,5	1913,0	566,0	2474,8	1519,1	689,0	2464,6	1512,9
04/02/2023	181,0	4698,0	2883,8	126,0	246,8	151,5	165,0	543,9	333,9	35,0	157,6	96,8	248,0	1084,3	665,6	138,0	493,6	303,0
05/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/02/2023	190,0	4931,6	3027,2	280,0	548,4	336,6	405,0	1335,0	819,5	605,0	2724,7	1672,5	517,0	2260,5	1387,6	485,0	1734,9	1064,9
07/02/2023	553,0	14353,7	8810,7	437,0	855,9	525,4	673,0	2218,4	1361,7	1018,0	4584,7	2814,3	559,0	2444,2	1500,3	728,0	2604,2	1598,5
08/02/2023	264,0	6852,4	4206,2	350,0	685,5	420,8	673,0	2218,4	1361,7	917,0	4129,9	2535,0	894,0	3908,9	2399,4	569,0	2035,4	1249,4
09/02/2023	129,0	3348,3	2055,3	255,0	499,4	306,6	282,0	929,6	570,6	803,0	3616,4	2219,9	610,0	2667,1	1637,2	728,0	2604,2	1598,5
10/02/2023	18,0	467,2	286,8	511,0	1000,8	614,3	914,0	3012,9	1849,4	759,0	3418,3	2098,2	557,0	2435,4	1494,9	741,0	2650,7	1627,1
11/02/2023	0,0	0,0	0,0	180,0	352,5	216,4	185,0	609,8	374,3	226,0	1017,8	624,8	156,0	682,1	418,7	276,0	987,3	606,0
12/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/02/2023	370,0	9603,7	5895,1	279,0	546,4	335,4	334,0	1101,0	675,8	460,0	2071,7	1271,7	477,0	2085,6	1280,2	432,0	1545,3	948,6
14/02/2023	223,0	5788,2	3553,0	567,0	1110,5	681,7	566,0	1865,7	1145,2	756,0	3404,8	2090,0	891,0	3895,8	2391,4	755,0	2700,7	1657,8
15/02/2023	0,0	0,0	0,0	578,0	1132,1	694,9	762,0	2511,8	1541,8	904,0	4071,3	2499,1	826,0	3611,6	2216,9	885,0	3165,8	1943,2
16/02/2023	0,0	0,0	0,0	585,0	1145,8	703,3	470,0	1549,3	951,0	681,0	3067,0	1882,6	885,0	3869,5	2375,2	787,0	2815,2	1728,1
17/02/2023	0,0	0,0	0,0	507,0	993,0	609,5	311,0	1025,2	629,3	385,0	1733,9	1064,3	806,0	3524,1	2163,2	809,0	2893,9	1776,4
18/02/2023	0,0	0,0	0,0	156,0	305,5	187,6	0,0	0,0	0,0	232,0	1044,9	641,4	191,0	835,1	512,6	267,0	955,1	586,3
19/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/02/2023	395,0	10252,6	6293,4	299,0	585,6	359,5	4,0	13,2	8,1	481,0	2166,3	1329,7	461,0	2015,7	1237,3	226,0	808,4	496,2
21/02/2023	9,0	233,6	143,4	151,0	295,7	181,5	0,0	0,0	0,0	240,0	1080,9	663,5	122,0	533,4	327,4	289,0	1033,8	634,6
22/02/2023	0,0	0,0	0,0	119,0	233,1	143,1	2,0	6,6	4,0	479,0	2157,3	1324,2	425,0	1858,3	1140,7	660,0	2360,9	1449,2
23/02/2023	0,0	0,0	0,0	98,0	191,9	117,8	0,0	0,0	0,0	688,0	3098,5	1902,0	549,0	2400,4	1473,5	997,0	3566,4	2189,2
24/02/2023	205,0	5321,0	3266,2	585,0	1145,8	703,3	112,0	369,2	226,6	570,0	2567,1	1575,8	716,0	3130,6	1921,7	933,0	3337,5	2048,6
25/02/2023	189,0	4905,7	3011,3	211,0	413,3	253,7	106,0	349,4	214,5	109,0	490,9	301,3	234,0	1023,1	628,0	269,0	962,2	590,7
26/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/02/2023	333,0	8643,3	5305,6	288,0	564,1	346,2	307,0	1012,0	621,2	293,0	1319,6	810,0	437,0	1910,7	1172,9	544,0	1946,0	1194,5
28/02/2023	230,0	5969,9	3664,5	425,0	832,4	511,0	396,0	1305,4	801,3	676,0	3044,5	1868,8	593,0	2592,8	1591,6	827,0	2958,3	1815,9
01/03/2023	0,0	0,0	0,0	411,0	805,0	494,1	807,0	2660,2	1632,9	901,0	4057,8	2490,8	703,0	3073,8	1886,8	704,0	2518,3	1545,8
02/03/2023	304,0	7890,6	4843,5	344,0	673,8	413,6	573,0	1888,8	1159,4	693,0	3121,0	1915,8	591,0	2584,1	1586,2	823,0	2944,0	1807,1
03/03/2023	297,0	7708,9	4732,0	336,0	658,1	404,0	609,0	2007,5	1232,3	352,0	1585,3	973,1	664,0	2903,3	1782,1	702,0	2511,1	1541,4
04/03/2023	0,0	0,0	0,0	115,0	225,2	138,3	260,0	857,1	526,1	116,0	522,4	320,7	215,0	940,1	577,0	227,0	812,0	498,4
05/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/03/2023	426,0	11057,3	6787,3	237,0	464,2	284,9	428,0	1410,8	866,0	238,0	1071,9	657,9	408,0	1783,9	1095,0	543,0	1942,4	1192,3
07/03/2023	230,0	5969,9	3664,5	315,0	617,0	378,7	754,0	2485,4	1525,6	347,0	1562,8	959,3	610,0	2667,1	1637,2	910,0	3255,2	1998,1
08/03/2023	240,0	6229,4	3823,8	561,0	1098,8	674,5	738,0	2432,7	1493,3	493,0	2220,3	1362,9	886,0	3873,9	2377,9	928,0	3319,6	2037,7
09/03/2023	477,0	12381,0	7599,9	497,0	973,4	597,5	377,0	1242,7	762,8	405,0	1824,0	1119,6	656,0	2868,3	1760,6	886,0	3169,3	1945,4
10/03/2023	433,0	11238,9	6898,8	518,0	1014,5	622,8	392,0	1292,2	793,2	408,0	1837,5	1127,9	580,0	2536,0	1556,7	717,0	2564,8	1574,4
11/03/2023	148,0	3841,5	2358,0	163,0	319,3	196,0	172,0	567,0	348,0	214,0	963,8	591,6	192,0	839,5	515,3	248,0	887,1	544,5
12/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/03/2023	304,0	7890,6	4843,5	354,0	693,3	425,6	359,0	1183,4	726,4	432,0	1945,6	1194,3	386,0	1687,7	1036,0	0,0	0,0	0,0
14/03/2023	3,0	77,9	47,8	417,0	816,7	501,3	284,0	936,2	574,6	486,0	2188,8	1343,5	785,0	3432,3	2106,9	1369,0	4897,1	3006,0
15/03/2023	0,0	0,0	0,0	371,0	726,6	446,0	0,0	0,0	0,0	470,0	2116,7	1299,3	841,0	3677,2	2257,2	798,0	2854,6	1752,2
16/03/2023	258,0	6696,6	4110,6	362,0	709,0	435,2	0,0	0,0	0,0	716,0	3224,6	1979,4	877,0	3834,6	2353,8	953,0	3409,0	2092,6
17/03/2023	213,0	5528,6	3393,6	118,0	231,1	141,9	0,0	0,0	0,0	160,0	720,6	442,3	274,0	1198,0	735,4	331,0	1184,0	726,8

18/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/03/2023	334,0	8669,3	5321,5	385,0	754,1	462,9	231,0	761,5	467,4	304,0	1369,1	840,4	538,0	2352,3	1443,9	629,0	2250,0	1381,1
21/03/2023	448,0	11628,3	7137,8	601,0	1177,1	722,5	617,0	2033,8	1248,4	491,0	2211,3	1357,4	731,0	3196,2	1961,9	883,0	3158,6	1938,9
22/03/2023	358,0	9292,2	5703,9	533,0	1043,9	640,8	608,0	2004,2	1230,2	355,0	1598,8	981,4	634,0	2772,1	1701,6	883,0	3158,6	1938,9
23/03/2023	314,0	8150,2	5002,8	489,0	957,8	587,9	425,0	1400,9	859,9	219,0	986,3	605,4	594,0	2597,2	1594,2	913,0	3265,9	2004,7
24/03/2023	0,0	0,0	0,0	164,0	321,2	197,2	149,0	491,2	301,5	233,0	1049,4	644,1	272,0	1189,3	730,0	403,0	1441,6	884,9
25/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/03/2023	273,0	7086,0	4349,6	302,0	591,5	363,1	282,0	929,6	570,6	189,0	851,2	522,5	308,0	1346,7	826,6	535,0	1913,8	1174,7
28/03/2023	229,0	5943,9	3648,6	594,0	1163,4	714,1	193,0	636,2	390,5	316,0	1423,2	873,6	221,0	966,3	593,1	845,0	3022,7	1855,4
29/03/2023	158,0	4101,0	2517,4	627,0	1228,0	753,8	614,0	2024,0	1242,4	642,0	2891,4	1774,8	111,0	485,3	297,9	733,0	2622,0	1609,5
30/03/2023	176,0	4568,3	2804,1	691,0	1353,4	830,8	386,0	1272,4	781,0	541,0	2436,5	1495,6	327,0	1429,8	877,6	734,0	2625,6	1611,7
31/03/2023	0,0	0,0	0,0	509,0	996,9	611,9	250,0	824,1	505,9	276,0	1243,0	763,0	734,0	3209,3	1970,0	257,0	919,3	564,3

Data	Consumos teórico de Energia, Linha dos Moldados																	
	MLD_07			MLD_08			MLD_09			MLD_10			MLD_11			MLD_12		
	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)
01/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04/01/2023	129,0	726,3	445,8	162,0	1419,7	871,5	122,0	837,6	514,1	117,0	871,6	535,0	124,0	929,8	570,7	480,0	2411,2	1480,1
05/01/2023	240,0	1351,3	829,5	255,0	2234,8	1371,8	193,0	1325,1	813,4	179,0	1333,5	818,6	250,0	1874,6	1150,7	269,0	1351,3	829,5
06/01/2023	348,0	1959,4	1202,7	192,0	1682,6	1032,9	177,0	1215,2	745,9	160,0	1192,0	731,7	302,0	2264,5	1390,0	169,0	848,9	521,1
07/01/2023	204,0	1148,6	705,1	63,0	552,1	338,9	57,0	391,3	240,2	55,0	409,7	251,5	108,0	809,8	497,1	68,0	341,6	209,7
08/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09/01/2023	295,0	1661,0	1019,6	133,0	1165,6	715,5	116,0	796,4	488,9	147,0	1095,1	672,2	101,0	757,3	464,9	152,0	763,5	468,7
10/01/2023	542,0	3051,7	1873,2	215,0	1884,2	1156,6	176,0	1208,3	741,7	368,0	2741,6	1682,9	206,0	1544,6	948,1	339,0	1702,9	1045,3
11/01/2023	471,0	2651,9	1627,8	187,0	1638,8	1006,0	179,0	1228,9	754,4	264,0	1966,8	1207,3	265,0	1987,0	1219,7	578,0	2903,5	1782,3
12/01/2023	457,0	2573,1	1579,5	167,0	1463,6	898,4	290,0	1991,0	1222,2	224,0	1668,8	1024,4	247,0	1852,1	1136,9	599,0	3009,0	1847,0
13/01/2023	387,0	2179,0	1337,5	119,0	1042,9	640,2	337,0	2313,7	1420,2	156,0	1162,2	713,4	141,0	1057,3	649,0	242,0	1215,7	746,2
14/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16/01/2023	374,0	2105,8	1292,6	146,0	1279,5	785,4	299,0	2052,8	1260,1	177,0	1318,6	809,4	140,0	1049,8	644,4	461,0	2315,8	1421,5
17/01/2023	599,0	3372,6	2070,2	261,0	2287,3	1404,0	387,0	2657,0	1630,9	268,0	1996,6	1225,6	463,0	3471,7	2131,0	667,0	3350,6	2056,7
18/01/2023	566,0	3186,8	1956,2	227,0	1989,4	1221,1	600,0	4119,4	2528,6	240,0	1788,0	1097,5	406,0	3044,3	1868,7	664,0	3335,5	2047,4
19/01/2023	545,0	3068,6	1883,6	238,0	2085,8	1280,3	323,0	2217,6	1361,2	230,0	1713,5	1051,8	294,0	2204,5	1353,2	576,0	2893,4	1776,1
20/01/2023	358,0	2015,7	1237,3	147,0	1288,3	790,8	130,0	892,5	547,9	76,0	566,2	347,5	111,0	832,3	510,9	246,0	1235,7	758,5
21/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

23/01/2023	324,0	1824,3	1119,8	82,0	718,6	441,1	99,0	679,7	417,2	156,0	1162,2	713,4	203,0	1522,1	934,3	318,0	1597,4	980,5
24/01/2023	379,0	2133,9	1309,9	233,0	2042,0	1253,4	207,0	1421,2	872,4	256,0	1907,2	1170,7	342,0	2564,4	1574,1	510,0	2561,9	1572,6
25/01/2023	472,0	2657,6	1631,3	175,0	1533,7	941,4	347,0	2382,4	1462,4	276,0	2056,2	1262,1	336,0	2519,4	1546,5	504,0	2531,8	1554,1
26/01/2023	667,0	3755,5	2305,2	190,0	1665,1	1022,1	724,0	4970,7	3051,2	258,0	1922,1	1179,8	428,0	3209,3	1969,9	619,0	3109,5	1908,7
27/01/2023	647,0	3642,9	2236,1	199,0	1744,0	1070,5	541,0	3714,3	2279,9	216,0	1609,2	987,8	600,0	4499,0	2761,6	590,0	2963,8	1819,3
28/01/2023	270,0	1520,2	933,2	65,0	569,6	349,7	161,0	1105,4	678,5	96,0	715,2	439,0	226,0	1694,6	1040,2	208,0	1044,9	641,4
29/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30/01/2023	555,0	3124,9	1918,2	107,0	937,7	575,6	232,0	1592,8	977,7	173,0	1288,8	791,1	253,0	1897,1	1164,5	508,0	2551,9	1566,4
31/01/2023	707,0	3980,7	2443,5	178,0	1560,0	957,5	392,0	2691,3	1652,0	300,0	2235,0	1371,9	426,0	3194,3	1960,7	658,0	3305,4	2028,9
01/02/2023	493,0	2775,8	1703,9	246,0	2155,9	1323,4	421,0	2890,4	1774,2	278,0	2071,1	1271,3	264,0	1979,5	1215,1	543,0	2727,7	1674,3
02/02/2023	516,0	2905,3	1783,4	254,0	2226,0	1366,4	355,0	2437,3	1496,1	279,0	2078,5	1275,9	197,0	1477,2	906,7	576,0	2893,4	1776,1
03/02/2023	771,0	4341,1	2664,7	174,0	1524,9	936,0	395,0	2711,9	1664,7	238,0	1773,1	1088,4	183,0	1372,2	842,3	494,0	2481,5	1523,2
04/02/2023	169,0	951,5	584,1	59,0	517,1	317,4	113,0	775,8	476,2	62,0	461,9	283,5	63,0	472,4	290,0	135,0	678,2	416,3
05/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/02/2023	492,0	2770,2	1700,4	127,0	1113,0	683,2	187,0	1283,9	788,1	92,0	685,4	420,7	92,0	689,8	423,4	466,0	2340,9	1436,9
07/02/2023	732,0	4121,5	2529,9	216,0	1893,0	1162,0	337,0	2313,7	1420,2	252,0	1877,4	1152,4	239,0	1792,1	1100,0	678,0	3405,8	2090,6
08/02/2023	619,0	3485,2	2139,3	266,0	2331,2	1430,9	337,0	2313,7	1420,2	266,0	1981,7	1216,4	325,0	2436,9	1495,9	574,0	2883,4	1769,9
09/02/2023	757,0	4262,2	2616,3	188,0	1647,6	1011,3	390,0	2677,6	1643,6	238,0	1773,1	1088,4	311,0	2332,0	1431,4	503,0	2526,7	1551,0
10/02/2023	808,0	4549,4	2792,6	302,0	2646,7	1624,6	430,0	2952,2	1812,2	258,0	1922,1	1179,8	401,0	3006,8	1845,7	509,0	2556,9	1569,5
11/02/2023	241,0	1356,9	832,9	126,0	1104,2	677,8	232,0	1592,8	977,7	92,0	685,4	420,7	248,0	1859,6	1141,5	146,0	733,4	450,2
12/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/02/2023	320,0	1801,7	1106,0	150,0	1314,6	806,9	284,0	1949,8	1196,9	174,0	1296,3	795,7	163,0	1222,2	750,2	288,0	1446,7	888,0
14/02/2023	105,0	591,2	362,9	373,0	3268,9	2006,5	267,0	1833,1	1125,2	267,0	1989,1	1221,0	255,0	1912,1	1173,7	487,0	2446,4	1501,7
15/02/2023	158,0	889,6	546,1	217,0	1901,7	1167,3	205,0	1407,4	863,9	297,0	2212,6	1358,2	234,0	1754,6	1077,0	445,0	2235,4	1372,2
16/02/2023	130,0	732,0	449,3	244,0	2138,4	1312,6	467,0	3206,2	1968,1	541,0	4030,4	2474,0	273,0	2047,0	1256,5	411,0	2064,6	1267,3
17/02/2023	96,0	540,5	331,8	252,0	2208,5	1355,6	568,0	3899,7	2393,7	358,0	2667,1	1637,1	395,0	2961,8	1818,1	430,0	2160,0	1325,9
18/02/2023	57,0	320,9	197,0	103,0	902,7	554,1	294,0	2018,5	1239,0	151,0	1124,9	690,5	124,0	929,8	570,7	238,0	1195,6	733,9
19/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/02/2023	278,0	1565,3	960,8	209,0	1831,6	1124,3	168,0	1153,4	708,0	471,0	3508,9	2153,9	301,0	2257,0	1385,4	466,0	2340,9	1436,9
21/02/2023	306,0	1722,9	1057,6	126,0	1104,2	677,8	130,0	892,5	547,9	275,0	2048,7	1257,6	175,0	1312,2	805,5	204,0	1024,8	629,0
22/02/2023	600,0	3378,3	2073,7	234,0	2050,7	1258,8	206,0	1414,3	868,1	414,0	3084,3	1893,2	365,0	2736,9	1680,0	450,0	2260,5	1387,6
23/02/2023	259,0	1458,3	895,1	284,0	2488,9	1527,8	293,0	2011,6	1234,8	566,0	4216,7	2588,3	138,0	1034,8	635,2	486,0	2441,3	1498,6
24/02/2023	343,0	1931,2	1185,5	269,0	2357,5	1447,1	222,0	1524,2	935,6	684,0	5095,7	3127,9	224,0	1679,6	1031,0	498,0	2501,6	1535,6
25/02/2023	129,0	726,3	445,8	80,0	701,1	430,4	71,0	487,5	299,2	237,0	1765,6	1083,8	83,0	622,4	382,0	175,0	879,1	539,6
26/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/02/2023	250,0	1407,6	864,0	201,0	1761,5	1081,3	193,0	1325,1	813,4	116,0	864,2	530,5	138,0	1034,8	635,2	350,0	1758,2	1079,2
28/02/2023	593,0	3338,8	2049,5	296,0	2594,1	1592,3	290,0	1991,0	1222,2	274,0	2041,3	1253,0	225,0	1687,1	1035,6	834,0	4189,5	2571,6
01/03/2023	621,0	3496,5	2146,3	269,0	2357,5	1447,1	243,0	1668,3	1024,1	727,0	5416,1	3324,6	226,0	1694,6	1040,2	817,0	4104,1	2519,2
02/03/2023	254,0	1430,1	877,9	277,0	2427,6	1490,1	479,0	3288,6	2018,7	470,0	3501,5	2149,3	240,0	1799,6	1104,6	544,0	2732,7	1677,4
03/03/2023	263,0	1480,8	909,0	271,0	2375,0	1457,8	419,0	2876,7	1765,8	435,0	3240,7	1989,3	243,0	1822,1	1118,4	412,0	2069,6	1270,4
04/03/2023	240,0	1351,3	829,5	198,0	1735,2	1065,1	109,0	748,4	459,4	125,0	931,2	571,6	88,0	659,8	405,0	310,0	1557,2	955,9
05/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/03/2023	490,0	2758,9	1693,5	295,0	2585,3	1586,9	158,0	1084,8	665,9	195,0	1452,7	891,7	145,0	1087,2	667,4	494,0	2481,5	1523,2

07/03/2023	727,0	4093,3	2512,6	392,0	3435,4	2108,8	265,0	1819,4	1116,8	311,0	2316,9	1422,2	214,0	1604,6	985,0	768,0	3857,9	2368,1
08/03/2023	702,0	3952,6	2426,2	449,0	3934,9	2415,4	272,0	1867,4	1146,3	286,0	2130,7	1307,9	220,0	1649,6	1012,6	862,0	4330,1	2658,0
09/03/2023	583,0	3282,5	2014,9	383,0	3356,5	2060,3	339,0	2327,4	1428,7	319,0	2376,5	1458,8	232,0	1739,6	1067,8	780,0	3918,2	2405,1
10/03/2023	550,0	3096,7	1900,9	471,0	4127,7	2533,7	301,0	2066,5	1268,5	298,0	2220,1	1362,8	225,0	1687,1	1035,6	659,0	3310,4	2032,0
11/03/2023	175,0	985,3	604,8	130,0	1139,3	699,3	168,0	1153,4	708,0	38,0	283,1	173,8	68,0	509,9	313,0	215,0	1080,0	663,0
12/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/03/2023	438,0	2466,1	1513,8	281,0	2462,6	1511,6	197,0	1352,5	830,2	228,0	1698,6	1042,6	154,0	1154,7	708,8	423,0	2124,9	1304,3
14/03/2023	546,0	3074,2	1887,0	273,0	2392,5	1468,6	492,0	3377,9	2073,4	296,0	2205,2	1353,6	348,0	2609,4	1601,7	483,0	2426,3	1489,3
15/03/2023	746,0	4200,3	2578,3	280,0	2453,9	1506,3	405,0	2780,6	1706,8	793,0	5907,8	3626,4	784,0	5878,6	3608,5	869,0	4365,3	2679,6
16/03/2023	359,0	2021,3	1240,8	219,0	1919,3	1178,1	402,0	2760,0	1694,2	477,0	3553,6	2181,3	1005,0	7535,7	4625,7	1066,0	5354,9	3287,0
17/03/2023	215,0	1210,5	743,1	11,0	96,4	59,2	135,0	926,9	568,9	37,0	275,6	169,2	298,0	2234,5	1371,6	339,0	1702,9	1045,3
18/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/03/2023	559,0	3147,4	1932,0	143,0	1253,2	769,3	457,0	3137,6	1925,9	47,0	350,1	214,9	485,0	3636,7	2232,3	589,0	2958,8	1816,2
21/03/2023	695,0	3913,1	2402,0	314,0	2751,8	1689,2	693,0	4757,9	2920,5	161,0	1199,4	736,3	699,0	5241,3	3217,3	778,0	3908,2	2399,0
22/03/2023	470,0	2646,3	1624,4	279,0	2445,1	1500,9	707,0	4854,0	2979,5	299,0	2227,5	1367,3	578,0	4334,0	2660,3	509,0	2556,9	1569,5
23/03/2023	556,0	3130,5	1921,6	273,0	2392,5	1468,6	794,0	5451,3	3346,2	401,0	2987,4	1833,8	623,0	4671,4	2867,5	448,0	2250,5	1381,4
24/03/2023	244,0	1373,8	843,3	214,0	1875,4	1151,2	259,0	1778,2	1091,5	225,0	1676,2	1028,9	197,0	1477,2	906,7	138,0	693,2	425,5
25/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/03/2023	467,0	2629,4	1614,0	354,0	3102,4	1904,3	406,0	2787,4	1711,0	286,0	2130,7	1307,9	425,0	3186,8	1956,1	401,0	2014,4	1236,5
28/03/2023	196,0	1103,6	677,4	375,0	3286,4	2017,3	147,0	1009,2	619,5	410,0	3054,5	1874,9	721,0	5406,2	3318,5	750,0	3767,5	2312,6
29/03/2023	345,0	1942,5	1192,4	274,0	2401,3	1474,0	173,0	1187,7	729,1	551,0	4104,9	2519,7	713,0	5346,3	3281,7	487,0	2446,4	1501,7
30/03/2023	525,0	2956,0	1814,5	249,0	2182,2	1339,5	370,0	2540,3	1559,3	476,0	3546,2	2176,7	394,0	2954,3	1813,4	360,0	1808,4	1110,1
31/03/2023	215,0	1210,5	743,1	227,0	1989,4	1221,1	263,0	1805,7	1108,4	487,0	3628,1	2227,0	615,0	4611,4	2830,6	461,0	2315,8	1421,5

Data	Consumos teórico de Energia, Linha dos Moldados																	
	MLD_13			MLD_14			MLD_15			MLD_16			MLD_17			MLD_18		
	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)
01/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04/01/2023	394,0	2066,3	1268,4	66,0	564,1	346,2	292,0	2057,7	1263,1	14,0	165,8	101,8	48,0	2123,7	1223,8	3,0	179,9	103,7
05/01/2023	497,0	2606,5	1600,0	500,0	4273,2	2623,0	452,0	3185,2	1955,2	54,0	639,6	392,6	100,0	4424,4	2549,6	142,0	8514,7	4906,7
06/01/2023	477,0	2501,6	1535,6	364,0	3110,9	1909,6	489,0	3445,9	2115,2	202,0	2392,5	1468,6	84,0	3716,5	2141,7	55,0	3297,9	1900,5
07/01/2023	130,0	681,8	418,5	30,0	256,4	157,4	183,0	1289,6	791,6	0,0	0,0	0,0	24,0	1061,9	611,9	0,0	0,0	0,0
08/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09/01/2023	257,0	1347,8	827,3	162,0	1384,5	849,9	321,0	2262,0	1388,5	30,0	355,3	218,1	8,0	354,0	204,0	3,0	179,9	103,7
10/01/2023	697,0	3655,4	2243,8	765,0	6538,0	4013,2	531,0	3741,9	2296,9	161,0	1906,9	1170,5	68,0	3008,6	1733,7	65,0	3897,6	2246,0
11/01/2023	478,0	2506,9	1538,8	753,0	6435,5	3950,3	568,0	4002,6	2456,9	327,0	3873,1	2377,4	138,0	6105,6	3518,5	146,0	8754,5	5044,9

12/01/2023	409,0	2145,0	1316,7	823,0	7033,7	4317,5	530,0	3734,8	2292,6	527,0	6241,9	3831,5	9,0	398,2	229,5	204,0	12232,4	7049,1
13/01/2023	477,0	2501,6	1535,6	212,0	1811,8	1112,2	325,0	2290,2	1405,8	206,0	2439,9	1497,7	457,0	20219,4	11651,8	60,0	3597,8	2073,3
14/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16/01/2023	401,0	2103,0	1290,9	292,0	2495,6	1531,9	336,0	2367,7	1453,4	375,0	4441,6	2726,4	295,0	13051,9	7521,4	124,0	7435,4	4284,7
17/01/2023	430,0	2255,1	1384,3	392,0	3350,2	2056,5	457,0	3220,4	1976,8	640,0	7580,3	4653,0	532,0	23537,7	13564,0	153,0	9174,3	5286,8
18/01/2023	491,0	2575,1	1580,6	420,0	3589,5	2203,3	495,0	3488,2	2141,2	516,0	6111,6	3751,5	592,0	26192,3	15093,7	6,0	359,8	207,3
19/01/2023	371,0	1945,7	1194,3	451,0	3854,4	2366,0	644,0	4538,2	2785,7	377,0	4465,3	2740,9	483,0	21369,7	12314,7	36,0	2158,7	1244,0
20/01/2023	351,0	1840,8	1130,0	251,0	2145,2	1316,8	341,0	2403,0	1475,0	415,0	4915,4	3017,2	338,0	14954,4	8617,7	0,0	0,0	0,0
21/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23/01/2023	393,0	2061,1	1265,2	289,0	2469,9	1516,1	356,0	2508,7	1539,9	421,0	4986,4	3060,8	345,0	15264,1	8796,2	68,0	4077,5	2349,7
24/01/2023	475,0	2491,1	1529,1	570,0	4871,5	2990,3	516,0	3636,2	2232,0	464,0	5495,7	3373,5	445,0	19688,5	11345,8	127,0	7615,2	4388,4
25/01/2023	413,0	2166,0	1329,5	544,0	4649,3	2853,9	727,0	5123,0	3144,7	292,0	3458,5	2122,9	331,0	14644,7	8439,2	72,0	4317,3	2487,9
26/01/2023	468,0	2454,4	1506,6	527,0	4504,0	2764,7	596,0	4199,9	2578,0	391,0	4631,1	2842,7	304,0	13450,1	7750,8	61,0	3657,7	2107,8
27/01/2023	525,0	2753,4	1690,1	509,0	4350,1	2670,2	566,0	3988,5	2448,3	578,0	6846,0	4202,3	202,0	8937,2	5150,2	35,0	2098,7	1209,4
28/01/2023	147,0	770,9	473,2	228,0	1948,6	1196,1	243,0	1712,4	1051,1	218,0	2582,0	1584,9	174,0	7698,4	4436,3	0,0	0,0	0,0
29/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30/01/2023	395,0	2071,6	1271,6	394,0	3367,3	2067,0	478,0	3368,4	2067,6	438,0	5187,8	3184,4	337,0	14910,1	8592,2	33,0	1978,8	1140,3
31/01/2023	518,0	2716,7	1667,6	539,0	4606,5	2827,6	555,0	3911,0	2400,7	749,0	8871,3	5445,5	452,0	19998,2	11524,3	0,0	0,0	0,0
01/02/2023	533,0	2795,3	1715,9	463,0	3957,0	2428,9	622,0	4383,1	2690,5	412,0	4879,8	2995,4	654,0	28935,4	16674,5	1,0	60,0	34,6
02/02/2023	199,0	1043,7	640,6	518,0	4427,1	2717,5	652,0	4594,5	2820,3	225,0	2665,0	1635,8	691,0	30572,4	17617,9	200,0	11992,5	6910,9
03/02/2023	365,0	1914,2	1175,0	428,0	3657,9	2245,3	730,0	5144,2	3157,7	289,0	3423,0	2101,1	503,0	22254,6	12824,6	39,0	2338,5	1347,6
04/02/2023	80,0	419,6	257,5	111,0	948,7	582,3	225,0	1585,5	973,3	0,0	0,0	0,0	129,0	5707,4	3289,0	66,0	3957,5	2280,6
05/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/02/2023	284,0	1489,4	914,3	271,0	2316,1	1421,7	491,0	3460,0	2123,9	85,0	1006,8	618,0	204,0	9025,7	5201,2	82,0	4916,9	2833,5
07/02/2023	519,0	2721,9	1670,8	408,0	3486,9	2140,4	768,0	5412,0	3322,0	254,0	3008,4	1846,7	387,0	17122,3	9867,0	208,0	12472,2	7187,3
08/02/2023	575,0	3015,6	1851,1	512,0	4375,8	2686,0	869,0	6123,7	3758,9	665,0	7876,4	4834,8	255,0	11282,2	6501,5	200,0	11992,5	6910,9
09/02/2023	539,0	2826,8	1735,2	500,0	4273,2	2623,0	737,0	5193,5	3187,9	549,0	6502,5	3991,4	257,0	11370,6	6552,5	90,0	5396,6	3109,9
10/02/2023	671,0	3519,1	2160,1	538,0	4598,0	2822,4	669,0	4714,3	2893,8	683,0	8089,6	4965,7	38,0	1681,3	968,9	142,0	8514,7	4906,7
11/02/2023	204,0	1069,9	656,7	209,0	1786,2	1096,4	165,0	1162,7	713,7	224,0	2653,1	1628,6	0,0	0,0	0,0	73,0	4377,3	2522,5
12/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/02/2023	366,0	1919,5	1178,2	370,0	3162,2	1941,0	380,0	2677,8	1643,7	462,0	5472,0	3358,9	30,0	1327,3	764,9	92,0	5516,6	3179,0
14/02/2023	652,0	3419,4	2098,9	573,0	4897,1	3006,0	1118,0	7878,4	4836,0	811,0	9605,7	5896,3	0,0	0,0	0,0	125,0	7495,3	4319,3
15/02/2023	464,0	2433,5	1493,7	626,0	5350,1	3284,0	898,0	6328,1	3884,4	351,0	4157,3	2551,9	122,0	5397,7	3110,5	170,0	10193,6	5874,2
16/02/2023	249,0	1305,9	801,6	626,0	5350,1	3284,0	584,0	4115,4	2526,1	194,0	2297,8	1410,5	137,0	6061,4	3493,0	161,0	9654,0	5563,3
17/02/2023	559,0	2931,7	1799,6	505,0	4315,9	2649,3	334,0	2353,6	1444,7	225,0	2665,0	1635,8	33,0	1460,0	841,4	132,0	7915,1	4561,2
18/02/2023	158,0	828,6	508,6	150,0	1282,0	786,9	283,0	1994,3	1224,1	204,0	2416,2	1483,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/02/2023	377,0	1977,2	1213,7	198,0	1692,2	1038,7	504,0	3551,6	2180,1	455,0	5389,1	3308,0	75,0	3318,3	1912,2	0,0	0,0	0,0
21/02/2023	190,0	996,5	611,7	135,0	1153,8	708,2	285,0	2008,3	1232,8	211,0	2499,1	1534,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22/02/2023	449,0	2354,8	1445,4	250,0	2136,6	1311,5	403,0	2839,9	1743,2	352,0	4169,2	2559,2	102,0	4512,9	2600,6	84,0	5036,9	2902,6
23/02/2023	672,0	3524,3	2163,3	423,0	3615,1	2219,1	686,0	4834,1	2967,3	552,0	6538,0	4013,2	0,0	0,0	0,0	231,0	13851,3	7982,1

24/02/2023	658,0	3450,9	2118,3	622,0	5315,9	3263,1	714,0	5031,4	3088,5	217,0	2570,2	1577,7	42,0	1858,2	1070,8	243,0	14570,9	8396,7
25/02/2023	216,0	1132,8	695,4	195,0	1666,6	1023,0	185,0	1303,7	800,2	184,0	2179,3	1337,7	0,0	0,0	0,0	71,0	4257,3	2453,4
26/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/02/2023	444,0	2328,6	1429,3	372,0	3179,3	1951,5	566,0	3988,5	2448,3	385,0	4560,0	2799,1	183,0	8096,6	4665,8	80,0	4797,0	2764,4
28/02/2023	514,0	2695,7	1654,7	292,0	2495,6	1531,9	408,0	2875,1	1764,8	748,0	8859,5	5438,2	372,0	16458,7	9484,6	207,0	12412,2	7152,8
01/03/2023	488,0	2559,3	1571,0	337,0	2880,1	1767,9	493,0	3474,1	2132,5	816,0	9664,9	5932,6	275,0	12167,0	7011,5	234,0	14031,2	8085,7
02/03/2023	521,0	2732,4	1677,2	524,0	4478,3	2748,9	574,0	4044,9	2482,9	626,0	7414,5	4551,3	205,0	9070,0	5226,7	404,0	24224,9	13960,0
03/03/2023	343,0	1798,9	1104,2	347,0	2965,6	1820,4	415,0	2924,4	1795,1	471,0	5578,6	3424,3	72,0	3185,6	1835,7	160,0	9594,0	5528,7
04/03/2023	105,0	550,7	338,0	0,0	0,0	0,0	132,0	930,2	571,0	0,0	0,0	0,0	2,0	88,5	51,0	0,0	0,0	0,0
05/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/03/2023	183,0	959,7	589,1	408,0	3486,9	2140,4	256,0	1804,0	1107,3	219,0	2593,9	1592,2	81,0	3583,7	2065,2	113,0	6775,8	3904,6
07/03/2023	241,0	1263,9	775,8	536,0	4580,9	2811,9	563,0	3967,4	2435,3	71,0	840,9	516,2	71,0	3141,3	1810,2	239,0	14331,0	8258,5
08/03/2023	792,0	4153,6	2549,6	486,0	4153,6	2549,6	264,0	1860,4	1141,9	168,0	1989,8	1221,4	92,0	4070,4	2345,6	579,0	34718,3	20007,0
09/03/2023	688,0	3608,2	2214,8	222,0	1897,3	1164,6	460,0	3241,5	1989,8	440,0	5211,5	3199,0	200,0	8848,8	5099,2	530,0	31780,1	18313,8
10/03/2023	710,0	3723,6	2285,7	331,0	2828,9	1736,4	795,0	5602,2	3438,8	606,0	7177,6	4405,8	355,0	15706,5	9051,1	71,0	4257,3	2453,4
11/03/2023	211,0	1106,6	679,3	109,0	931,6	571,8	345,0	2431,2	1492,3	0,0	0,0	0,0	136,0	6017,2	3467,5	64,0	3837,6	2211,5
12/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/03/2023	468,0	2454,4	1506,6	249,0	2128,1	1306,3	407,0	2868,1	1760,5	400,0	4737,7	2908,1	10,0	442,4	255,0	170,0	10193,6	5874,2
14/03/2023	427,0	2239,4	1374,6	530,0	4529,6	2780,4	469,0	3305,0	2028,7	740,0	8764,7	5380,1	159,0	7034,8	4053,9	273,0	16369,8	9433,3
15/03/2023	512,0	2685,2	1648,3	735,0	6281,6	3855,9	689,0	4855,3	2980,3	876,0	10375,6	6368,8	310,0	13715,6	7903,8	31,0	1858,8	1071,2
16/03/2023	404,0	2118,8	1300,6	303,0	2589,6	1589,6	448,0	3157,0	1937,9	894,0	10588,8	6499,7	336,0	14865,9	8566,7	0,0	0,0	0,0
17/03/2023	176,0	923,0	566,6	177,0	1512,7	928,6	257,0	1811,0	1111,7	288,0	3411,1	2093,9	7,0	309,7	178,5	0,0	0,0	0,0
18/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/03/2023	321,0	1683,5	1033,4	316,0	2700,7	1657,8	437,0	3079,5	1890,3	168,0	1989,8	1221,4	23,0	1017,6	586,4	73,0	4377,3	2522,5
21/03/2023	451,0	2365,3	1451,9	664,0	5674,8	3483,4	510,0	3593,9	2206,0	250,0	2961,1	1817,6	84,0	3716,5	2141,7	221,0	13251,7	7636,5
22/03/2023	806,0	4227,1	2594,7	531,0	4538,2	2785,7	444,0	3128,8	1920,6	293,0	3470,4	2130,2	347,0	15352,6	8847,2	377,0	22605,9	13027,0
23/03/2023	685,0	3592,5	2205,2	554,0	4734,7	2906,3	463,0	3262,7	2002,7	768,0	9096,4	5583,6	213,0	9423,9	5430,7	372,0	22306,1	12854,2
24/03/2023	225,0	1180,0	724,3	277,0	2367,4	1453,2	218,0	1536,2	943,0	0,0	0,0	0,0	68,0	3008,6	1733,7	0,0	0,0	0,0
25/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/03/2023	295,0	1547,1	949,7	557,0	4760,4	2922,1	410,0	2889,2	1773,5	494,0	5851,1	3591,6	258,0	11414,9	6578,0	106,0	6356,0	3662,8
28/03/2023	651,0	3414,2	2095,7	733,0	6264,5	3845,4	650,0	4580,4	2811,6	1129,0	13372,2	8208,2	104,0	4601,4	2651,6	191,0	11452,8	6599,9
29/03/2023	973,0	5102,9	3132,3	521,0	4452,7	2733,2	550,0	3875,8	2379,1	898,0	10636,1	6528,8	341,0	15087,1	8694,2	142,0	8514,7	4906,7
30/03/2023	461,0	2417,7	1484,1	534,0	4563,8	2801,4	544,0	3833,5	2353,1	575,0	6810,4	4180,5	400,0	17697,5	10198,5	187,0	11213,0	6461,7
31/03/2023	219,0	1148,5	705,0	187,0	1598,2	981,0	179,0	1261,4	774,3	52,0	615,9	378,1	14,0	619,4	356,9	90,0	5396,6	3109,9

Data	Consumos teórico de Energia, Linha dos Moldados								
	MLD_19			MLD_20			Total		
	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg/ciclo)	Consumo Energia (kWh/ciclo)	Ciclos	Consumo Vapor (kg)	Consumo Energia (kWh)
01/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37869,9	21334,0	13008,9
05/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	73093,1	42095,0	25353,2
06/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71194,1	40529,4	24614,7
07/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20545,2	11416,4	6967,8
08/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37047,5	20463,4	12541,0
10/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82433,8	46535,4	28305,4
11/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	106483,5	61356,9	37104,6
12/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	109597,6	63469,5	38485,1
13/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91820,0	54680,9	32670,2
14/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93218,8	55003,5	32993,3
17/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	141184,3	83135,7	49802,5
18/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139555,0	81585,0	49082,0
19/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	132680,4	77826,7	46888,6
20/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83139,7	48910,6	29461,1
21/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93441,4	55071,4	33078,0
24/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	126447,2	74002,7	44399,5
25/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115572,9	67044,9	40442,0
26/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115895,5	66955,1	40456,5
27/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	106969,0	61374,8	37259,2
28/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44058,8	25487,8	15356,0
29/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100781,2	59025,1	35597,1
31/01/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	124548,9	72526,9	43768,0
01/02/2023	34,0	1052,2	606,4	0,0	0,0	0,0	121500,4	71020,5	42465,9
02/02/2023	184,0	5694,3	3281,5	0,0	0,0	0,0	154685,0	91878,2	54584,8
03/02/2023	164,0	5075,4	2924,8	0,0	0,0	0,0	135815,9	79850,6	47900,3
04/02/2023	45,0	1392,6	802,5	0,0	0,0	0,0	42229,8	25092,5	14987,2
05/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/02/2023	142,0	4394,5	2532,4	0,0	0,0	0,0	83930,8	49027,8	29406,0

07/02/2023	290,0	8974,8	5171,9	0,0	0,0	0,0	162191,2	95663,1	57272,1
08/02/2023	307,0	9500,9	5475,0	0,0	0,0	0,0	152530,1	89429,6	53663,5
09/02/2023	352,0	10893,5	6277,6	0,0	0,0	0,0	128766,7	75341,1	45207,6
10/02/2023	118,0	3651,8	2104,4	0,0	0,0	0,0	114072,0	65388,0	39617,0
11/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38373,1	22031,1	13359,0
12/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/02/2023	0,0	0,0	0,0	298,0	3278,9	2012,7	79805,8	49339,4	28016,3
14/02/2023	8,0	247,6	142,7	288,0	3168,9	1945,2	112646,1	67518,8	39209,1
15/02/2023	287,0	8881,9	5118,4	502,0	5523,6	3390,5	117165,0	73159,7	40597,8
16/02/2023	117,0	3620,9	2086,6	392,0	4313,2	2647,6	102537,7	63383,9	35533,1
17/02/2023	418,0	12936,1	7454,6	529,0	5820,6	3572,9	102328,6	65005,7	35491,5
18/02/2023	170,0	5261,1	3031,8	166,0	1826,5	1121,2	37306,8	23241,6	12947,6
19/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/02/2023	387,0	11976,7	6901,8	370,0	4071,1	2499,0	96576,9	60475,1	34047,9
21/02/2023	197,0	6096,7	3513,3	181,0	1991,6	1222,5	41788,9	26028,7	14525,7
22/02/2023	212,0	6560,9	3780,8	357,0	3928,1	2411,2	84880,9	53080,1	29565,9
23/02/2023	417,0	12905,1	7436,8	423,0	4654,3	2857,0	116782,9	72831,2	40844,0
24/02/2023	283,0	8758,1	5047,0	282,0	3102,9	1904,6	124505,4	75619,5	43566,8
25/02/2023	113,0	3497,1	2015,2	146,0	1606,5	986,1	46871,6	28969,8	16505,2
26/02/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/02/2023	81,0	2506,7	1444,6	331,0	3642,0	2235,6	90852,5	56645,7	31956,8
28/02/2023	0,0	0,0	0,0	137,0	1507,4	925,3	133682,9	79849,2	47004,1
01/03/2023	193,0	5972,9	3442,0	346,0	3807,1	2336,9	141707,6	86408,7	49495,0
02/03/2023	431,0	13338,4	7686,5	332,0	3653,0	2242,3	168171,6	103238,7	59377,0
03/03/2023	722,0	22344,1	12876,1	319,0	3510,0	2154,5	135042,4	83140,2	47560,1
04/03/2023	232,0	7179,8	4137,5	181,0	1991,6	1222,5	33188,6	21080,7	11444,5
05/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06/03/2023	136,0	4208,9	2425,4	336,0	3697,0	2269,4	90119,4	56290,9	31736,5
07/03/2023	559,0	17299,6	9969,2	438,0	4819,4	2958,3	134925,1	83929,4	47254,0
08/03/2023	461,0	14266,8	8221,5	348,0	3829,1	2350,4	172853,1	106082,1	60773,1
09/03/2023	368,0	11388,7	6562,9	300,0	3300,9	2026,2	177343,4	108736,6	62765,7
10/03/2023	197,0	6096,7	3513,3	292,0	3212,9	1972,2	140886,1	85598,3	49591,8
11/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45826,9	26893,2	16137,7
12/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/03/2023	0,0	0,0	0,0	263,0	2893,8	1776,3	81755,3	50378,3	28747,9
14/03/2023	0,0	0,0	0,0	191,0	2101,6	1290,0	121753,6	72779,2	42505,0
15/03/2023	214,0	6622,8	3816,5	429,0	4720,3	2897,5	140614,5	86076,6	49105,2
16/03/2023	484,0	14978,6	8631,7	113,0	1243,4	763,2	152697,8	90560,6	53704,6
17/03/2023	243,0	7520,2	4333,7	218,0	2398,7	1472,4	52904,2	33195,8	18610,1
18/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/03/2023	161,0	4982,5	2871,3	350,0	3851,1	2363,9	87611,7	54322,0	30590,8
21/03/2023	330,0	10212,7	5885,2	321,0	3532,0	2168,0	149248,4	90485,0	52353,4

22/03/2023	0,0	0,0	0,0	395,0	4346,2	2667,8	156866,4	96602,7	55204,0
23/03/2023	288,0	8912,9	5136,2	249,0	2739,8	1681,8	168805,1	102310,8	59593,1
24/03/2023	286,0	8851,0	5100,5	190,0	2090,6	1283,3	52231,4	32400,4	18159,6
25/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26/03/2023	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27/03/2023	98,0	3032,9	1747,7	86,0	946,3	580,8	109715,5	65367,5	38762,3
28/03/2023	392,0	12131,4	6990,9	366,0	4027,1	2472,0	147912,0	90627,1	52099,0
29/03/2023	265,0	8201,1	4726,0	402,0	4423,2	2715,1	148165,7	91074,4	51994,5
30/03/2023	300,0	9284,2	5350,2	326,0	3587,0	2201,8	145093,1	89080,4	51043,7
31/03/2023	380,0	11760,0	6776,9	277,0	3047,9	1870,9	77894,6	48201,5	27049,0

## Anexo D

A massa de combustível consumida por segundo é  $m_{\text{combustível}} = 0,0894$  kg. A energia libertada por 0,11 kg de combustível é calculada pela Equação (3) e o seu valor é 4950000 J.

$$E_{\text{queima}} = m_{\text{combustível}} * PCI = 0,0894 * 45000000 = 4021500 J$$

$$PCI = \frac{37800 \text{ kJ}}{1 \text{ m}^3} = \frac{37800 \text{ kJ}}{0,84 \text{ kg}} = 45000 \text{ kJ / kg}$$
$$m_{\text{combustível}} = \frac{383 * 0,84}{3600} = 0,0894 \text{ kg}$$

A energia útil produzida pela caldeira num segundo é dada pela Equação (4), em que  $m_{ft} = 5000/3600 = 1,39$  kg,  $h_s = 2769,0$  kJ/kg e  $h_e = 419,52$  kJ/kg. Assim, o valor da energia útil é 3283875 J.

$$E_{\text{útil}} = m_{ft}(h_s - h_e) = 1,39 * (2769000,0 - 419520,0) = 3265777 J$$

O rendimento da caldeira é dado pela Equação (2),  $\eta_{\text{caldeira}} = 81,2\%$

$$\eta_{\text{caldeira}} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{queima}}} * 100 = \frac{3265777}{4021500} * 100 = 81,2 \%$$

A energia total perdida pela caldeira num segundo é dada pela Equação (5), e o seu valor é 755723 J.

$$E_{\text{perdas}} = E_{\text{queima}} - E_{\text{útil}} = 4021500 - 3265777 = 755723 J$$

Uma vez que o combustível utilizado é gás natural, e este é seco, sem humidade superficial, a perda de energia devido à humidade do combustível, calculada através da Equação (21) é de 0J.

$$E_{perdhumsup} = m_{humsup}(h_g - h_f) = 0 J \quad (21)$$

De seguida, é necessário determinar a equação química de queima. Nessa equação entram apenas coeficientes relacionados com a composição molar do combustível.

As percentagens de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e excesso de ar foram extraídas da análise dos gases de combustão presentes na Figura 27.

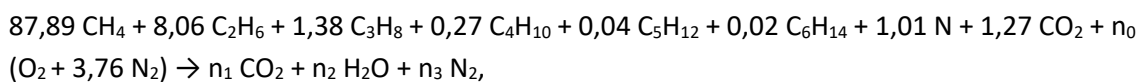
- Percentagem de O<sub>2</sub>: 4,0%;
- Percentagem de CO<sub>2</sub>: 9,5%;
- Excesso de ar: 24%.

Segue-se a Tabela 15, com a composição do gás natural.

Tabela 15- Composição do gás natural.

Constituintes	Composição molar (%)	Massa molecular(g/mol)
Metano	87,89	16,04
Etano	8,06	30,07
Propano	1,38	44,10
i-butano	0,11	58,12
n-butano	0,16	58,12
i-pentano	0,02	72,15
n-pentano	0,02	72,15
n-hexano	0,02	86,18
Azoto	1,01	28,01
Dióxido de carbono	1,27	44,01
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>

Para 100 quilomoles de combustível, a reação de queima estequiométrica de acordo com a composição do gás natural é



em que  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  e  $n_3$  são incógnitas. As equações de conservação do número de átomos são, sucessivamente para carbono, hidrogénio, oxigénio e o azoto, as seguintes:

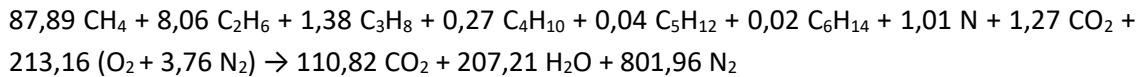
$$\text{C} \rightarrow 87,89 + 8,06 \times 2 + 1,38 \times 3 + 0,27 \times 4 + 0,04 \times 5 + 0,02 \times 6 + 1,27 = n_1 \leftrightarrow n_1 = 110,82$$

$$\text{H} \rightarrow 87,89 \times 4 + 8,06 \times 6 + 1,38 \times 8 + 0,27 \times 10 + 0,04 \times 12 + 0,02 \times 14 = 2n_2 \leftrightarrow n_2 = 207,21$$

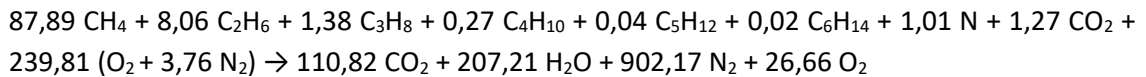
$$O \rightarrow 1,27 \times 2 + n_0 \times 2 = 2x n_1 + n_2 \leftrightarrow n_0 = 213,16$$

$$N \rightarrow 1,01 + n_0 \times 2 \times 3,76 = 2x n_3 \leftrightarrow n_3 = 801,96$$

Assim, a equação de queima estequiométrica é:



mas a reação de queima com 12,5% de excesso de ar é



A perda de energia devida à humidade do ar de combustão calcula-se com a Equação (7). A massa de ar seco requerida para queimar 0,0894 kg de combustível é dada pela Equação (22). Assim, a perda de energia devida à humidade do ar de combustão é 38042J.

$$m_{ar\text{seco}} = m_{combustível} * \frac{A}{C} \quad (22)$$

$$= 0,0894 \frac{239,81 * (2 * 15,99 + 3,76 * 2 * 14,01)}{87,89 * 16,04 + 8,06 * 30,07 + 1,38 * 44,10 + 0,27 * 58,12 + 0,04 * 72,15 + 0,02 * 86,18 + 1,62 \text{ kg}}$$

$$E_{perdahuarq} = m_{ar\text{seco}} * X * (h_g - h_f) = 1,62 * 0,0099 * 2372000 = 38042J$$

A perda de energia devida aos gases que saem pela chaminé é calculada pela Equação (8). Sabe-se que  $T_{gs}=163,1^\circ\text{C}$ ,  $T_{as}=T_{amb}=20,8^\circ\text{C}$  e  $cp_{gs}=1027 \text{ J/kg/K}$ . A massa de gases produzidos pela queima de 0,0894 kg de combustível seco em ar seco é dada por  $m_g=m_{combustível}+m_{ar\text{seco}}=1,71 \text{ kg}$ . Logo a perda de energia devida aos gases que saem pela chaminé é 135872 J.

$$E_{perdagasescha} = m_g * cp_{gs} * (T_{gs} - T_{as}) = 1,71 * 1027 * (163,1 - 20,8) = 249903 \text{ J}$$

A perda de energia devida ao combustível gasoso sem queimar é nula, no caso em questão, uma vez que se considera queima completa.

Tipo de perda	Joule	Impacto
Energia total perdida	755723	-
Energia perdida devido à humidade superficial do combustível	0	0 %
Energia perdida devido à humidade do ar	38042	5,0 %
Energia devida a saída de gases pela chaminé	249903	33,1 %
Energia perdida devida a combustível não queimado	0	0 %

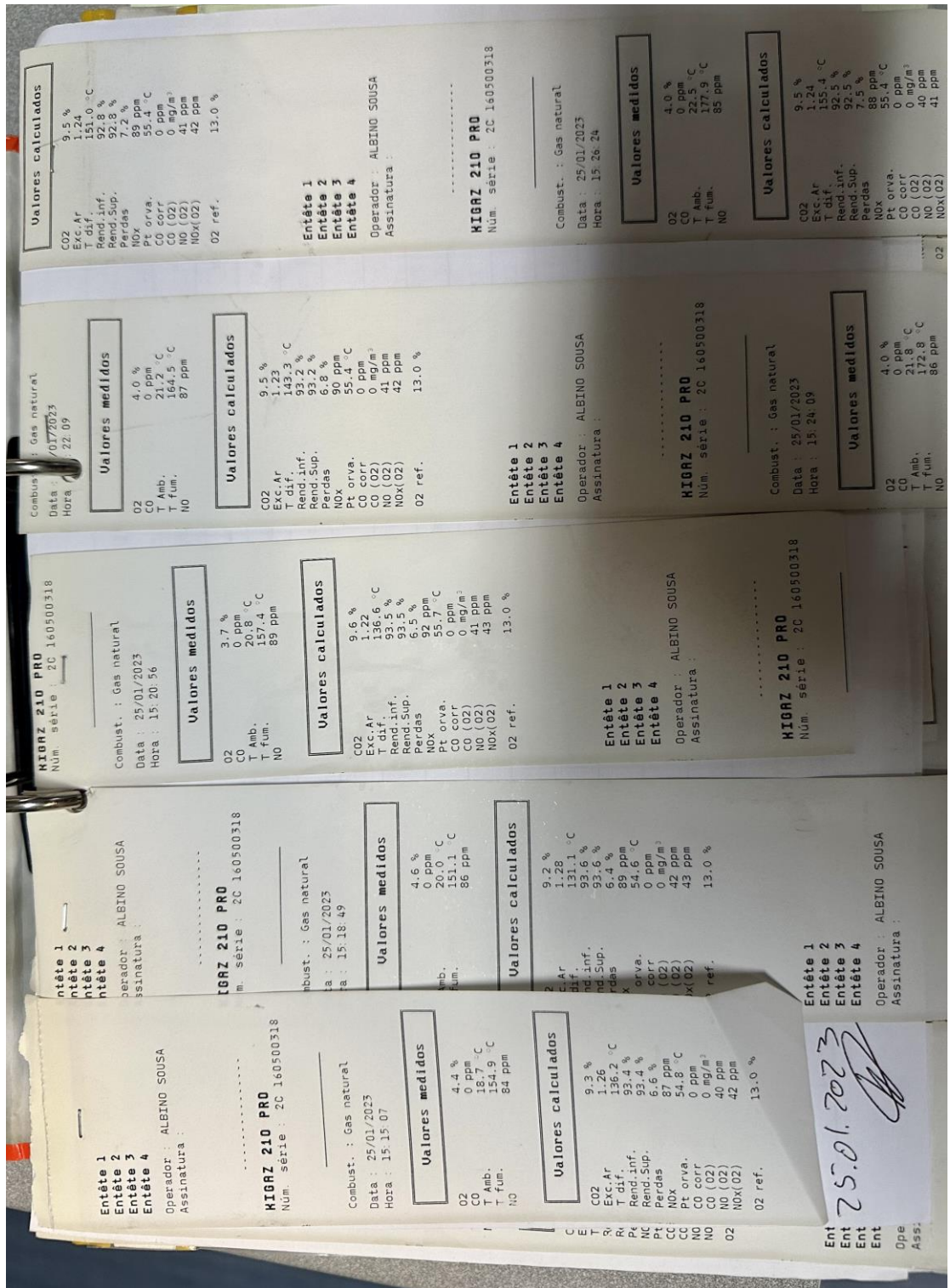


Figura 27- Análise dos gases de combustão.