



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO
INDUSTRIAL

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Estudo da Eficiência Energética do Sistema de Resfriamento – *Chiller* na
Empresa Sumol+Compal Mz**

Discente

Uamusse, Melcina Francisco

Supervisor da UEM

Eng° Jaime Matavel

Supervisor da Empresa

Eng° José Fernando Pedrosa

Maputo, Junho de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO
INDUSTRIAL

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Estudo da Eficiência Energética do Sistema de Resfriamento – *Chiller* na
Empresa Sumol+Compal Mz**

Discente

Uamusse, Melcina Francisco

Supervisor da UEM

Eng° Jaime Matavel

Supervisor da Empresa

Eng° José Fernando Pedrosa

Maputo, Junho de 2025



**Estudo da Eficiência Energética do Sistema de Resfriamento – *Chiller* na
Empresa Sumol+Compal Mz. Melcina Francisco Uamusse**



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO
INDUSTRIAL

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que a estudante Melcina Francisco Uamusse entregou no dia ____/06/2025 as ____ cópias do relatório de estágio profissional intitulado: Estudo da Eficiência Energética do Sistema de Resfriamento – *Chiller* na Empresa Sumol+Compal Mz,

Maputo, Junho de 2025

A Chefe da Secretaria

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
DEDICATÓRIA	ii
DECLARAÇÃO DE HONRA	iii
ÍNDICE DE TABELAS	iv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Problemática	3
1.3. Problema	3
1.4. Objectivo geral	4
1.5. Objectivos específicos	4
1.6. Hipóteses/proposições	5
1.7. Perguntas de investigação	5
1.8. Importância ou Razões que motivam o estudo	6
1.9. Estrutura do trabalho	6
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2. Estado actual da teoria	8
2.1. Conceitos básicos	8
2.1.1. Energia	8
2.1.2. Tipos de energia	8
2.1.3. Fontes de energia	9
2.2. Eficiência energética	9
2.3. Refrigeração	10
2.3.1. Principais Componentes e Funcionamento	10
2.4. Arrefecimento	11
2.4.1. Métodos Comuns de Arrefecimento	12
2.5. Resfriamento	12
2.6. Congelamento	13

2.6.1.	Princípios do Congelamento.....	13
2.6.2.	Métodos de Congelamento	14
2.7.	Isolamento térmico	14
2.7.1.	Princípios do Isolamento Térmico	15
2.8.	Refrigerante (agente refrigerante).....	15
2.8.1.	Refrigerantes líquidos.....	15
2.8.2.	Características dos refrigerantes líquidos	15
2.8.3.	Tipos de refrigerantes líquidos	16
2.9.	Sistemas de refrigeração	17
2.10.	<i>Chiller</i>	19
CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO		27
3.2.	Apresentação da empresa Sumol+Compal Mz	28
3.3.	Estado actual do <i>Chiller</i>	30
3.3.2.	Evaporador	32
3.3.3.	Condensador	33
3.3.4.	Válvula de Expansão Electrónica	34
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA		36
4.	Metodologia.....	36
4.1.	Tipo de investigação	36
4.2.	Métodos	36
4.3.	População e amostra.....	36
4.4.	Instrumentos e procedimentos para recolha, tratamentos e análise de dados.....	37
4.4.1.	Instrumentos e procedimentos para recolha de dados.....	37
4.4.2.	Tratamentos e análise de dados	38
4.5.	Variáveis de investigação	39
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....		40
5.	Apresentação, análise e discussão dos resultados	40
5.1.	Apresentação e análise dos resultados.....	40
5.2.	Avaliação do coeficiente ou de eficácia (COP) antes da intervenção de manutenção.....	42
5.3.	Avaliação do coeficiente ou de eficácia (COP) depois da intervenção.....	45
5.4.	Análise comparativa do COP antes e depois da manutenção interventiva.....	47
5.5.	Proposta de solução	49
5.5.1.	Modelo de Weibull.....	50

5.5.2. Objectivos do Modelo de Weibull	50
5.5.3. Fórmula da Função de Distribuição de Weibull	51
5.5.4. Definição da periodicidade usando o método de Weibull	51
5.6. Estudo do custo da implementação da manutenção interventiva voltada a viabilidade da implementação da manutenção preditiva.....	54
5.6.1. Custo da Implementação da Manutenção Interventiva.....	54
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	56
6. Conclusões e recomendações	56
6.1. Conclusões	56
6.2. Recomendações	56
6.3. Limitações da pesquisa	57
6.4. Sugestões para futuros trabalhos.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
BIBLIOGRAFIA.....	60
ANEXOS.....	61

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus Todo-Poderoso por ser o meu Pastor, pela minha vida, por me conceder saúde e determinação para não desanimar durante o percurso acadêmico. Agradeço por iluminar meus caminhos, por sempre me acompanhar e me ajudar nos momentos bons e difíceis da minha vida, e por tornar realidade a superação de todos os obstáculos encontrados ao longo da realização do presente trabalho.

Agradeço à minha família, que me incentivou e contribuiu para que esse sonho se realizasse, em especial à minha mãe, Elsa Ngoca, que sempre acreditou em mim e me apoiou em todos os momentos complicados desta jornada. Ao meu pai, Francisco Uamusse (em memória), e à minha querida irmã, Luísa Uamusse (em memória), que muito contribuíram para os meus estudos, pela valiosa ajuda em todos os momentos da minha vida e por serem o meu alicerce.

Endereço um profundo agradecimento aos meus supervisores Engenheiro Jaime Matavel e Engenheiro José Pedrosa, pela forma sábia com que conduziu o trabalho, me auxiliando em todas as etapas e pesquisas, pela paciência e disponibilidade, assumindo sempre o papel de professor.

Agradeço ao Engenheiro Arsénio Dimande, pela paciência que tevi comigo durante todo o período acadêmico e pelo apoio moral e profissional durante o percurso acadêmico.

Agradeço aos meus colegas de curso e de profissão, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências, que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como profissional em formação.

Agradeço à empresa Sumol+Compal Mz, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos engenheiros da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (DEMA), agradeço pela dedicação, capacidade e por terem transmitido conhecimentos durante os anos de formação.

Enfim, agradeço a todos que me apoiaram e me ajudaram até o término do curso.

DEDICATÓRIA

Dedico este projecto a minha querida irmã Luísa Uamusse, que sempre foi uma fonte inesgotável de inspiração, amor e apoio. Sua presença em minha vida foi fundamental e sua ausência é sentida profundamente a cada dia. Este trabalho é uma homenagem à sua memória e ao impacto positivo que você teve em mim.

Apesar de não estar mais fisicamente entre nós, sua lembrança permanece viva em meu coração e em minhas ações. Você me ensinou a perseverar, a lutar pelos meus sonhos e a ser uma pessoa melhor. Sua força, coragem e bondade são exemplos que sempre levarei comigo.

Este trabalho é para você, Luísa, com todo o meu amor e eterna gratidão. Que seu espírito continue a me guiar e iluminar meus caminhos.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Melcina Francisco Uamusse declaro por minha honra que o presente relatório de estágio profissional, com o tema **Estudo da Eficiência Energética do Sistema de Resfriamento – *Chiller* na Empresa Sumol+Compal Mz**, é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

(Melcina Francisco Uamusse)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Hipóteses	5
Tabela 2: Dados recolhidos antes da manutenção.....	42
Tabela 3: Cálculo do COP antes da manutenção	43
Tabela 4: Dados recolhidos após a manutenção	45
Tabela 5: Cálculo do COP após a manutenção	46
Tabela 6: Proposta do plano de manutenção preditiva.....	53
Tabela 7: Custo da implementação da manutenção interventiva	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Análise comparativa do COP antes e depois da manutenção interventiva	47
Gráfico 2: Comparação do COP	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de refrigeração básico	11
Figura 2: Localização da empresa.....	28
Figura 3: Organograma da empresa.....	29
Figura 4: Chiller EWAD D390	31
Figura 5: Compressor semi-hermético de parafuso	32
Figura 6: Evaporador	33
Figura 7: Condensador do tipo Hélice	34
Figura 8: Válvulas de expansão electrónica.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS

BRCGS – British retail consortium global standard

C_p – Calor específico

CFCs – Clorofluorcarbonos

CO₂ – Dióxido de carbono

COP – Coeficiente de performance/desempenho

DEMA – Departamento de Engenharia Mecânica

DX – Expansão Directa

GWP – Potencial de aquecimento global

HCFCs – Hidroclorofluorcarbonos

HFOs – Hidrofluor-olefinas

\dot{m} – Vazão volumétrica

MZ – Moçambique/Mozambique

ODP – Potencial de destruição do ozono

PAG – Potencial elevado de aquecimento global

Q – Energia térmica retirada

SA – Sociedade anónima

T_{entrada} – Temperatura de entrada

T_{saida} – Temperatura de saída

TEWI – Impacto total de aquecimento equivalente

W_{in} – Energia eléctrica consumida

ΔT – Diferença de temperatura

ΔP – Diferença de pressão

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo sobre a eficiência energética do sistema de refrigeração *Chiller* usado na Sumol+Compal Mz, essencial para garantir o controle térmico durante a produção de sumos. O objetivo principal foi avaliar o desempenho energético do equipamento, identificando problemas e propondo soluções para melhorar a sua eficiência. A metodologia adotada combinou pesquisa documental e estudo de caso experimental, com coleta de dados reais de funcionamento do equipamento. Foram monitoradas variáveis como consumo de energia elétrica, temperaturas de entrada e saída da água, falhas operacionais e ocorrências de manutenção. O desempenho foi avaliado com base no Coeficiente de Performance (COP), permitindo a comparação entre o estado anterior e posterior à intervenção técnica de manutenção sem descorar os padrões de referência do *Chiller* estudado. Os resultados indicaram que o *Chiller* antes da implementação da manutenção interventiva apresentou eficiência energética variável, com valores de COP frequentemente inferiores ao ideal, o que implicava em desperdício energético e aumento de custos operacionais. Tendo mostrado valores de COP frequentemente ideais após implementação da manutenção interventiva o que reforça a proposta de implementação de um plano estruturado de manutenção preditiva. Concluiu-se que a eficiência energética do *Chiller* pode ser significativamente melhorada por meio da adoção de boas práticas de manutenção, integração de sensores inteligentes, modernização de componentes e monitoramento contínuo. Futuras investigações podem explorar a viabilidade do uso de fontes de energia renovável no sistema e analisar o impacto ambiental da operação atual. Este estudo destaca a relevância de uma gestão eficiente nos sistemas de refrigeração para garantir o equilíbrio entre custos, qualidade e sustentabilidade ambiental.

Palavras chaves: *Chiller*, refrigeração, manutenção e eficiência energética.

ABSTRACT

This work presents a study on the energy efficiency of the Chiller cooling system used at Sumol+Compal Mz, which is important to keep the right temperature during juice production. The main goal was to evaluate how well the equipment uses energy, identifying problems and suggesting ways to improve its performance. The method used combined document analysis and an experimental case study, with real data collection from the system. Variables such as electricity consumption, water temperatures at the entrance and exit, system failures, and maintenance events were monitored. The performance was measured using the Coefficient of Performance (COP), comparing results before and after maintenance work, based on the Chiller's reference standards. Results showed that, before maintenance, the system had low energy efficiency, with COP values often below ideal levels, leading to energy waste and higher costs. After the interventive maintenance, the COP improved and often reached ideal levels, supporting the idea of applying a structured predictive maintenance plan. The study concludes that energy efficiency can improve a lot with good maintenance practice, smart sensors, modern equipment and regular monitoring. Future studies can look into using renewable energy in the system and study its environmental impact. This research shows how important it is to manage with efficiency cooling systems to reduce costs, keep product quality, and protect the environment.

Keywords: Chiller, cooling system, maintenance, energy efficiency.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

Na indústria alimentar, proteger o produto é fundamental para evitar prejuízos financeiros e garantir a qualidade do produto final. Uma das principais causas de falhas nos equipamentos, que impactam negativamente o produto, é o excesso de calor no ambiente de produção ou nos processos que geram calor. Para reverter essa situação, a empresa opta pela instalação de sistemas de resfriamento, sendo o *Chiller* o sistema mais utilizado.

Um *chiller* é um equipamento usado em sistemas de refrigeração para remover o calor de um fluido, geralmente água ou uma mistura de água e glicol, e depois dissipar esse calor para o ambiente. Este sistema é essencial para manter as condições de temperatura controladas durante a produção de sumos, garantindo que o sabor, a cor, a textura e os nutrientes sejam preservados.

A Sumol+Compal é uma marca portuguesa conhecida pela produção de sumos e néctares. Fundada em 1952, a Compal tornou-se uma referência em bebidas de frutas em Portugal e expandiu sua presença para diversos mercados internacionais, inclusive Moçambique. A Compal Moçambique, localizada no distrito de Boane, na Avenida de Namaacha, bairro Belo Horizonte, km 27, é uma subsidiária que faz parte da estratégia de expansão em mercados africanos, aproveitando o crescimento econômico e o aumento da classe média.

A produção de sumos na Compal Moçambique requer condições de temperatura rigorosamente controladas para garantir a qualidade do produto final. Durante o processo de pasteurização e embalagem, o sumo é submetido a altas temperaturas e precisa ser resfriado rapidamente para preservar os nutrientes e o sabor natural das frutas, evitando o seu rápido envelhecimento.

Como parte de seu processo produtivo, a empresa utiliza tecnologia avançada para garantir a qualidade e a segurança dos seus produtos, com os *chillers* desempenhando um papel crucial. No entanto, esses sistemas também são grandes consumidores de energia, representando uma parcela significativa dos custos operacionais.

Em um mercado competitivo e regulado por padrões ambientais rigorosos, a eficiência energética torna-se um fator crucial para a sustentabilidade e viabilidade econômica da empresa. Neste contexto, este trabalho visa estudar a eficiência energética do sistema de refrigeração (*chiller*) da

Sumol+Compal Mz. O objetivo é reforçar o compromisso da marca com a qualidade e a responsabilidade ambiental em toda a sua cadeia produtiva, garantindo um controle de temperatura eficiente para a preservação dos produtos.

1.2. Problemática

No mundo globalizado, a crescente competitividade entre as indústrias alimentares exige a oferta de produtos de alta qualidade e baixo custo, capazes de satisfazer um mercado e consumidores cada vez mais exigentes (Eduardo Olivera, 2007).

A eficiência energética é um factor crítico na operação de qualquer indústria moderna, especialmente no setor de produção de alimentos e bebidas, onde o consumo de energia pode ser significativo. Na empresa Sumol+Compal Mz, o estudo da eficiência energética envolve uma análise detalhada de como a energia é utilizada em todas as etapas do processo de produção.

A produção de sumos envolve várias etapas que demandam energia intensiva, especialmente o resfriamento, que utiliza *chillers*. O desempenho desses equipamentos está intimamente ligado à sua eficiência energética. Identificar áreas de desperdício de energia e implementar medidas para reduzir o consumo é um desafio contínuo. Sem uma gestão eficiente, os custos energéticos podem tornar-se elevados, impactando diretamente a rentabilidade da empresa.

O mau desempenho dos *chillers* pode causar ineficiência energética, resultando em vários problemas inter-relacionados, como aumento dos custos operacionais, comprometimento da qualidade do produto, risco de paragens não programadas e impacto ambiental negativo.

Portanto, é necessário realizar um estudo aprofundado da eficiência energética dos *chillers* para evitar paragens desnecessárias, comprometendo a produção e a qualidade do produto.

1.3. Problema

O sistema de refrigeração *chiller* da empresa Sumol+Compal MZ tem apresentado falhas recorrentes que comprometem diretamente a continuidade e a eficiência do processo produtivo. Interrupções não programadas devido a avarias constantes têm sido registadas, afetando negativamente o desempenho operacional da indústria. Dentre os principais problemas identificados estão fugas de água, que reduzem a capacidade de refrigeração e forçam o equipamento a operar acima da carga ideal, aumentando significativamente o consumo de energia. Além disso, há oscilações frequentes na pressão interna do sistema, o que indica instabilidade no

funcionamento do compressor, gerando desgaste prematuro e riscos de falha crítica. Alarmes constantes também sugerem falhas nos sensores ou no sistema de controle automático, dificultando o monitoramento preciso das condições de operação. Esses fatores combinados resultam em baixa eficiência energética, maior custo de operação e risco à qualidade final do produto, evidenciando a necessidade de uma análise técnica aprofundada para diagnosticar e corrigir tais ineficiências. Diante desse cenário, coloca-se a seguinte questão de pesquisa:

- Como pode ser avaliada e aprimorada a eficiência energética do sistema de refrigeração *Chiller* na empresa Sumol+Compal MZ?

1.4. Objectivo geral

- Avaliar a eficiência energética do sistema de refrigeração *Chiller* usado na Sumol+Compal Mz.

1.5. Objectivos específicos

- Determinar o consumo energético atual do *chiller* e compará-lo com parâmetros ideais de funcionamento;
- Propor soluções para melhorar a eficiência energética do *chiller*.
- Sugerir boas práticas de manutenção e monitoramento contínuo para garantir a eficiência do sistema a longo prazo.

1.6. Hipóteses/proposições

Hipóteses e pistas de solução que podem ser consideradas para abordar os problemas do sistema de refrigeração *chiller*

Table 1: Hipóteses

Hipótese	Suposição	Solução
Optimização do consumo energético	A monitoria em tempo real pode ajudar a identificar padrões e anomalias no uso energético	Integrar sensores avançados e eficientes para monitorar o desempenho em tempo real.
Impacto da interrupções	As interrupções não programadas afetam o consumo de energia, a qualidade do produto e a eficiência.	Criar um modelo de simulação para quantificar o impacto das falhas na produtividade e custos.
Redução de Fugas de Água	A maioria das fugas é causada por desgaste ou falta de manutenção preventiva eficiente.	Implementar um programa de manutenção preditiva com análise de vibração e termografia.
Obsolescência do <i>Chiller</i>	O desempenho do sistema pode estar abaixo dos padrões actuais.	Realizar uma análise de custo-benefício para a substituição do <i>chiller</i> obsoleto por um modelo mais moderno e eficiente

1.7. Perguntas de investigação

- Quais são os principais factores que afetam a eficiência energética do sistema de refrigeração *chiller* na empresa Sumol+Compal MZ?
- Que práticas de operação e manutenção podem ser usadas para melhorar a eficiência energética dos sistemas de resfriamento *chiller*?

1.8. Importância ou Razões que motivam o estudo

Este estudo tem como objetivo analisar e melhorar a eficiência energética do sistema de resfriamento (*chiller*) da empresa Sumol+Compal MZ, buscando reduzir o consumo de energia elétrica, os custos operacionais e os impactos ambientais. A motivação surge dos conhecimentos adquiridos na cadeira de Refrigeração e Climatização, lecionada no Departamento de Engenharia Mecânica (DEMA), que fornecem a base teórica para determinar o coeficiente de desempenho (COP), principal indicador da eficiência do sistema. A relevância do estudo está na sua aplicabilidade prática para garantir a qualidade da produção, minimizar as paragens, identificar falhas e propor melhorias técnicas. Socialmente, promove práticas sustentáveis e pode servir de referência para outras indústrias. Além disso, contribui para o desenvolvimento acadêmico e técnico ao aplicar ferramentas de monitoramento, análise de dados e gestão energética, fortalecendo a formação e a tomada de decisões eficazes na indústria.

1.9. Estrutura do trabalho

Este projeto é constituído por seis capítulos, através dos quais são apresentados o problema enfrentado pela Empresa Sumol+Compal Mz e as possíveis soluções.

Capítulo 1: Introdução

No capítulo introdutório, é feita uma breve explicação da problemática e da inconveniência da situação atual enfrentada pela empresa em relação à eficiência energética do *chiller*. São descritos os objetivos a serem alcançados ao fim do projeto, as hipóteses de solução para a resolução do problema e as razões que levaram à elaboração do projeto.

Capítulo 2: Revisão da Literatura

Este capítulo aborda os conceitos teóricos necessários para a compreensão do objeto de estudo do projeto. É feita uma descrição detalhada do *chiller*, seus componentes e seu funcionamento.

Capítulo 3: Contextualização da Investigação

Aqui são apresentadas informações relativas à empresa, desde o seu histórico até a sua estrutura organizacional. Descreve-se o estado atual do *chiller* e seus componentes, que são o objeto de estudo.

Capítulo 4: Metodologia de Resolução do Problema

Neste capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para o tratamento dos dados, incluindo os instrumentos e procedimentos usados para a coleta, tratamento e análise dos dados obtidos.

Capítulo 5: Apresentação, Análise e Discussão dos Resultados

Apresentam-se os dados coletados e faz-se uma análise dos resultados. Discute-se o impacto desses resultados no coeficiente de desempenho e no processo produtivo da empresa.

Capítulo 6: Conclusões e Recomendações

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas com base nos resultados encontrados, apresenta as recomendações, limitações da pesquisa e sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Estado actual da teoria

2.1. Conceitos básicos

2.1.1. Energia

A energia é um conceito fundamental que permeia diversas áreas do conhecimento, desde as ciências naturais até a economia e a engenharia. Em sua essência, a energia é a capacidade de realizar trabalho, sendo uma grandeza física de grande relevância em diversos sistemas, desde aqueles naturais até os artificiais.

A definição de energia pode ser abordada de várias formas, dependendo do contexto. Do ponto de vista da física, energia é definida como a capacidade de um sistema de realizar trabalho, podendo ser transformada de uma forma para outra sem que ocorra perda no total. De acordo com Tipler e Mosca (2015), “energia é uma quantidade escalar associada ao estado de um sistema físico, que pode ser transferida entre sistemas, mas não criada ou destruída”.

2.1.2. Tipos de energia

Existem vários tipos de energia, classificados principalmente com base na sua forma de ocorrência e utilização. Os tipos mais comuns incluem:

- **Energia Cinética:** A energia que um corpo possui devido ao seu movimento. A sua magnitude depende da massa do objeto e da sua velocidade.
- **Energia Potencial:** Energia armazenada em um corpo devido à sua posição ou condição, como a energia gravitacional e a elástica.
- **Energia Térmica:** Associada ao calor, resulta do movimento das partículas em uma substância.
- **Energia Elétrica:** Gerada pela movimentação de cargas elétricas através de condutores.
- **Energia Nuclear:** Liberada a partir da fissão ou fusão de átomos, sendo uma das formas mais poderosas de energia.

Conforme descrito por Boylestad e Nashelsky (2012), “a energia elétrica desempenha um papel central/importante nas sociedades modernas, sendo um dos principais vectores para a distribuição de outras formas de energia, como a mecânica e a térmica”.

2.1.3. Fontes de energia

As fontes de energia são os meios pelos quais a energia é obtida para uso humano. Elas podem ser classificadas em renováveis e não renováveis:

- **Fontes de Energia Renováveis:** Incluem energia solar, eólica, hídrica, biomassa e geotérmica. Essas fontes são consideradas mais sustentáveis por serem naturalmente reabastecidas e apresentarem menor impacto ambiental. Segundo Jacobson (2020), “o uso de energias renováveis tem crescido em importância no combate às mudanças climáticas, visto que reduzem a dependência de combustíveis fósseis e diminuem as emissões de gases de efeito estufa”.
- **Fontes de Energia Não Renováveis:** Estas incluem combustíveis fósseis, como o carvão, petróleo e gás natural, além da energia nuclear. Embora essas fontes tenham sido cruciais para o desenvolvimento industrial, elas são finitas e causam maiores danos ambientais devido à emissão de poluentes e gases de efeito estufa (Sovacool, 2008).

2.2. Eficiência energética

A eficiência energética refere-se à utilização otimizada da energia para realizar um determinado trabalho, minimizando as perdas. De acordo com Gellings (2009), "a eficiência energética é uma das maneiras mais rápidas e baratas de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a segurança energética".

A busca por maior eficiência energética envolve a adoção de tecnologias e práticas que permitam a realização do mesmo trabalho com menor consumo de energia, seja na indústria, no setor residencial ou nos transportes. Para Gillingham et al. (2016), a promoção da eficiência energética não só beneficia o meio ambiente, mas também resulta em economia de custos, um aspecto crucial para a competitividade das empresas e para o bem-estar das famílias.

A transição para fontes renováveis e a promoção da eficiência energética são desafios globais que exigem mudanças profundas em infra-estruturas e comportamentos. No contexto moçambicano, onde a eletrificação rural ainda é um desafio, o uso de fontes renováveis, como a energia solar, representa uma oportunidade importante para expandir o acesso à energia de maneira sustentável. Segundo Vale (2019), "Moçambique tem um potencial considerável em energias renováveis, principalmente solar e hídrica, o que pode ajudar o país a superar o déficit energético, especialmente em zonas rurais".

2.3. Refrigeração

A refrigeração é um processo fundamental utilizado para remover calor de um espaço ou substância e transferir este calor para um outro espaço ou corpo, mantendo sua temperatura abaixo da temperatura ambiente. Esse processo é essencial em várias áreas, como a conservação de alimentos, a climatização de ambientes e aplicações industriais.

2.3.1. Principais Componentes e Funcionamento

Um sistema típico de refrigeração por compressão de vapor, que é o mais comum, inclui quatro componentes principais:

1. **Compressor:** Aumenta a pressão e a temperatura do refrigerante.
2. **Condensador:** Dissipa o calor do refrigerante para o ambiente externo.
3. **Válvula de Expansão:** Reduz a pressão e a temperatura do refrigerante.
4. **Evaporador:** Absorve o calor do ambiente interno, resfriando-o.

O ciclo de refrigeração começa com o compressor, que comprime o refrigerante, transformando-o em gás quente de alta pressão. Este gás passa pelo condensador, onde cede calor ao ambiente externo e se condensa em líquido. Em seguida, o líquido passa pela válvula de expansão, onde sua pressão e temperatura diminuem. Por fim, o refrigerante entra no evaporador, onde absorve calor do ambiente interno, completando o ciclo.

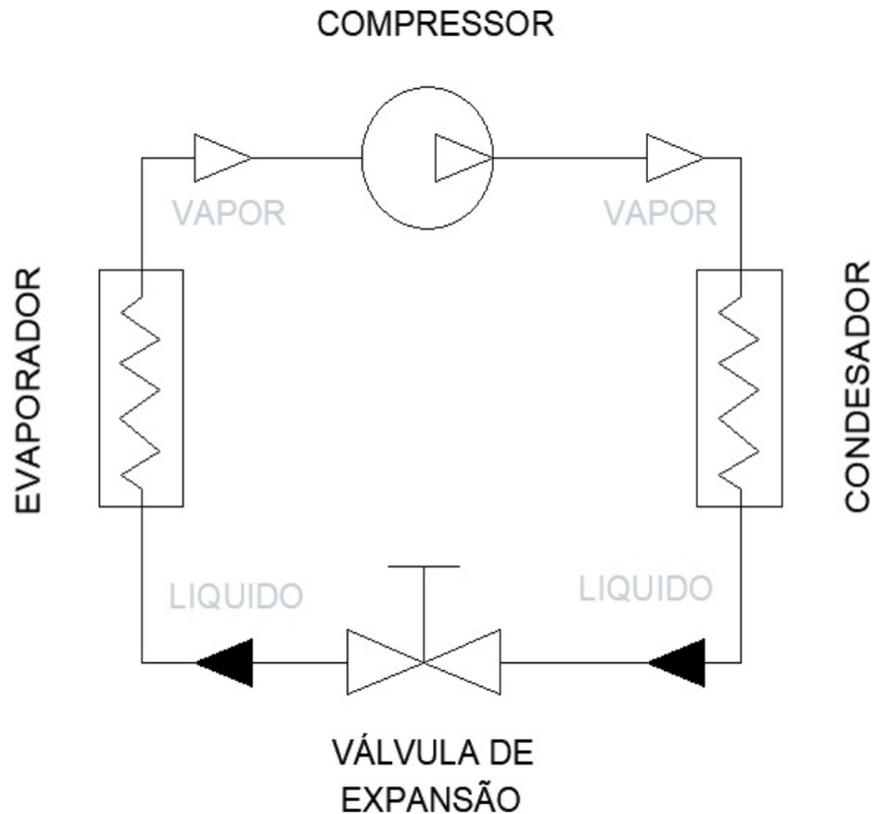


Figura 1: Ciclo de refrigeração básico

Fonte: Autor

2.4. Arrefecimento

Arrefecimento é o processo de remoção de calor de um objeto ou espaço para reduzir sua temperatura até a temperatura ambiente, ou seja, é um processo de remoção de calor de um sistema para evitar superaquecimento, mantendo-o dentro de uma faixa de temperatura segura. O objetivo do arrefecimento é a gestão térmica eficiente para prevenir danos e garantir o funcionamento adequado dos sistemas. É um conceito fundamental em diversas áreas, como engenharia, climatização, eletrônica e automotiva. Diferente da refrigeração, que se concentra na redução e manutenção de baixas temperaturas, o arrefecimento é um termo mais amplo que abrange qualquer técnica de dissipação de calor.

2.4.1. Métodos Comuns de Arrefecimento

1. **Convecção Natural:** Transferência de calor através do movimento natural de fluidos (ar ou líquido) em torno do objeto aquecido. Exemplo: radiadores que dissipam calor naturalmente sem a necessidade de ventiladores.
2. **Convecção Forçada:** Utiliza ventiladores ou bombas para aumentar a circulação de ar ou líquido, melhorando a dissipação de calor. Exemplo: sistemas de arrefecimento em motores de automóveis que usam ventiladores e bombas de água.
3. **Condução:** Transferência de calor através de materiais sólidos. Exemplo: dissipadores de calor em componentes eletrônicos que transferem calor para o ambiente.
4. **Radiação:** Emissão de calor na forma de ondas eletromagnéticas. Exemplo: dissipadores térmicos que utilizam radiação infravermelha para liberar calor.
5. **Evaporação:** Utiliza a mudança de estado de líquido para gás para remover calor. Exemplo: sistemas de arrefecimento evaporativo usados em climas secos.

2.5. Resfriamento

Resfriamento é o processo de redução da temperatura de um objeto ou espaço, para um nível mais baixo, muitas vezes abaixo da temperatura ambiente até sua temperatura de congelamento.

2.5.1. Métodos de Resfriamento

1. **Resfriamento por Convecção:**
 - **Natural:** Utiliza o movimento natural de ar ou líquido ao redor de um objeto quente para dissipar calor. Exemplo: radiadores domésticos.
 - **Forçada:** Utiliza ventiladores ou bombas para aumentar a circulação de ar ou líquido. Exemplo: resfriamento de computadores com ventiladores.

2. Resfriamento por Condução:

- Transferência de calor através de materiais sólidos. Exemplo: dissipadores de calor em componentes eletrônicos.

3. Resfriamento por Radiação:

- Emissão de calor na forma de ondas eletromagnéticas. Exemplo: painéis radiadores em sistemas de aquecimento central.

4. Resfriamento Evaporativo:

- Utiliza a evaporação de um líquido para remover calor. Exemplo: resfriadores evaporativos em climas secos.

5. Resfriamento por Compressão de Vapor:

- Utilizado em sistemas de refrigeração e ar condicionado. O refrigerante é comprimido, resfriado, expandido e evaporado para remover calor. Exemplo: geladeiras e aparelhos de ar condicionado.

2.6. Congelamento

O congelamento é o processo de redução da temperatura de uma substância até o ponto em que ela passa do estado líquido para o sólido. Esse método é amplamente utilizado em várias indústrias e aplicações, principalmente na conservação de alimentos, mas também em ciências biológicas e engenharia.

2.6.1. Princípios do Congelamento

- **Ponto de Congelamento:** A temperatura na qual uma substância líquida se transforma em sólido. Para a água, esse ponto é 0°C (32°F).
- **Transferência de Calor:** Para congelar uma substância, o calor precisa ser removido de forma contínua até que a temperatura caia abaixo do ponto de congelamento.

2.6.2. Métodos de Congelamento

1. Congelamento de Ar Forçado:

- Uso de ventiladores para circular ar frio ao redor dos produtos, acelerando o processo de congelamento. Exemplo: Freezers comerciais com circulação de ar forçado.

2. Congelamento por Imersão:

- Imersão de produtos em líquidos criogênicos, como nitrogênio líquido, para congelamento ultra-rápido. Exemplo: Flash freezing de frutas e vegetais.

3. Congelamento por Placas:

- Produtos são colocados entre placas de metal resfriadas, permitindo a transferência de calor e congelamento rápido. Exemplo: Congeladores de placas usados na indústria de frutos do mar.

4. Congelamento Criogênico:

- Uso de gases liquefeitos, como nitrogênio líquido ou dióxido de carbono, para alcançar temperaturas extremamente baixas. Exemplo: Crio conservação de células e tecidos.

2.7. Isolamento térmico

Isolamento térmico é a técnica utilizada para reduzir a transferência de calor entre dois ambientes com diferentes temperaturas. O objetivo do isolamento térmico é manter a temperatura desejada de um ambiente ou material, seja ele quente ou frio, economizando energia e aumentando a eficiência.

2.7.1. Princípios do Isolamento Térmico

1. Condução:

- Transferência de calor através de materiais sólidos. Materiais com baixa condutividade térmica são utilizados como isolantes.

2. Convecção:

- Transferência de calor através de líquidos ou gases em movimento. Isolantes reduzem a circulação de ar ou líquidos, diminuindo a perda de calor.

3. Radiação:

- Transferência de calor na forma de ondas eletromagnéticas. Materiais refletivos, como folhas de alumínio, são usados para reduzir a transferência de calor por radiação.

2.8. Refrigerante (agente refrigerante)

É o corpo empregado como absorvedor de calor ou agente de resfriamento do espaço refrigerado. Exemplo: Gelo, gelo seco (dióxido de carbono) e refrigerantes líquidos.

2.8.1. Refrigerantes líquidos

São substâncias essenciais em sistemas de refrigeração, responsáveis pela remoção de calor de um ambiente ou processo. Eles circulam pelos componentes do sistema, mudando de fase (líquido para vapor e vice-versa) durante o ciclo de refrigeração, permitindo a transferência eficiente de calor.

2.8.2. Características dos refrigerantes líquidos

De acordo com Dossat (2001) um refrigerante líquido deve ter as seguintes características:

- **Baixo ponto de ebulição:** Para facilitar a evaporação rápida e eficiente a baixas temperaturas.
- **Alta capacidade de calor:** Para absorver uma grande quantidade de calor durante a evaporação.

- **Baixa viscosidade:** Para minimizar a perda de pressão durante o ciclo de refrigeração e otimizar o fluxo.
- **Estabilidade química:** Deve ser estável sob diferentes condições operacionais para evitar degradação que poderia prejudicar o desempenho do sistema.
- **Compatibilidade com o material do sistema:** O refrigerante deve ser compatível com os materiais dos componentes do sistema de refrigeração (tubulações, válvulas, compressores) para evitar corrosão ou desgaste.

2.8.3. Tipos de refrigerantes líquidos

- **Refrigerantes Clássicos: CFCs e HCFCs**

Históricamente, os clorofluorocarbonos (CFCs) e hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), como o R-12 e o R-22, eram amplamente usados em sistemas de refrigeração, devido à sua eficácia na remoção de calor. Esses refrigerantes eram comuns em *chillers*, até serem banidos pela sua contribuição à destruição da camada de ozono. Segundo Dossat e Horan (2001), os CFCs eram valorizados por sua estabilidade química, no entanto, com o Protocolo de Montreal, a indústria teve que migrar para refrigerantes mais seguros.

- **Refrigerantes Modernos: HFCs e HFOs**

Atualmente, os hidrofluorcarbonetos (HFCs), como o R-134a, têm sido amplamente utilizados devido à sua maior segurança em relação à camada de ozono. No entanto, de acordo com Stoecker e Jones (1982), os HFCs ainda possuem um potencial elevado de aquecimento global (PAG). Como alternativa, surgiram os hidrofluor-olefinas (HFOs), como o R-1234yf, que são conhecidos por terem baixo impacto tanto na camada de ozono quanto no aquecimento global.

- **Refrigerantes Naturais**

Os refrigerantes naturais, como amônia (R-717), dióxido de carbono (R-744) e propano (R-290), são amplamente considerados opções ecológicas, devido ao seu impacto ambiental reduzido. A amônia (R-717), por exemplo, é um dos refrigerantes mais eficientes em termos de transferência de calor e tem sido utilizada em grandes sistemas de refrigeração industrial, conforme destacado

no ASHRAE (2018). No entanto, a amônia é tóxica e requer cuidados específicos em termos de manuseio e instalação.

2.9. Sistemas de refrigeração

Segundo Ribeiro et al (2019), “o sistema de refrigeração tem como função principal a transferência de calor de uma região de baixa temperatura para uma região de alta temperatura, utilizando um meio de transporte de calor, que geralmente é um fluido refrigerante”. Em termos simples, a refrigeração inverte o fluxo natural de calor, que seria da área mais quente para a mais fria.

Os sistemas de refrigeração são baseados nos princípios da termodinâmica, especificamente no ciclo de compressão de vapor ou em ciclos de absorção, que promovem a retirada do calor de forma contínua e controlada (Silva, 2018). Dessa forma, são usados em diferentes campos, como na indústria alimentícia, na climatização de edifícios e em processos industriais.

2.9.1. Tipos de Sistemas de Refrigeração

Os sistemas de refrigeração podem ser divididos em várias categorias, dependendo da aplicação, do fluido refrigerante utilizado e do princípio de funcionamento. Abaixo, são descritos alguns dos tipos mais comuns:

1. Sistemas de Refrigeração por Compressão de Vapor

Este é o tipo mais comum de sistema de refrigeração. Ele utiliza um fluido refrigerante que circula por um ciclo composto por quatro principais componentes: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. Segundo Pereira e Sousa (2020), "o ciclo de compressão de vapor é amplamente utilizado em aplicações comerciais e residenciais devido à sua eficiência energética e à disponibilidade de componentes". O ciclo envolve a compressão do refrigerante para aumentar sua temperatura, seguido pela dissipação do calor no condensador e a expansão para reduzir a temperatura.

2. Sistemas de Refrigeração por Absorção

Este tipo de sistema utiliza uma fonte de calor para gerar a mudança de fase do refrigerante, eliminando a necessidade de um compressor mecânico. "A principal vantagem dos sistemas de absorção é que eles podem ser alimentados por energia térmica residual, como vapor de processos industriais, tornando-os uma solução eficiente para instalações com acesso a esse tipo de energia" (Menezes & Costa, 2021). Embora menos comuns que os sistemas de compressão de vapor, os sistemas de absorção são utilizados em aplicações específicas, como em refrigeração por amônia em indústrias alimentares.

3. Sistemas de Refrigeração por Expansão Direta (DX)

Nos sistemas de expansão direta, o fluido refrigerante evapora diretamente dentro do evaporador, sem necessidade de um intermediário. Isso permite uma troca de calor mais eficiente e é frequentemente utilizado em sistemas de ar condicionado para ambientes pequenos. Como destaca Lemos (2022), "os sistemas de expansão direta são vantajosos devido à simplicidade de seu desenho, mas são limitados em termos de capacidade de resfriamento comparado a sistemas de água gelada".

4. Sistemas de Refrigeração por Água Gelada

Utilizados em grandes edifícios comerciais e industriais, esses sistemas usam água gelada como meio intermediário para resfriamento. Eles envolvem o uso de *chillers*, que resfriam a água, que, por sua vez, circula para remover o calor dos ambientes. Segundo Gonçalves (2019), "os sistemas de água gelada são a solução ideal para grandes demandas de refrigeração, devido à sua capacidade de resfriamento distribuído e à eficiência energética, quando projetados corretamente".

2.9.2. Classificação dos Sistemas de Refrigeração

A classificação dos sistemas de refrigeração pode ser feita com base em diferentes critérios:

1. Baseado no Fluido Refrigerante:

Os sistemas podem ser classificados dependendo do tipo de refrigerante utilizado, como HFCs (hidrofluorcarbonetos), amônia ou dióxido de carbono (CO₂). Conforme Mendes e Silva (2021), “o tipo de refrigerante utilizado é um fator determinante na eficiência do sistema e no seu impacto ambiental”. Refrigerantes naturais, como a amônia, são preferidos em indústrias devido ao seu baixo impacto ambiental e alto coeficiente de desempenho.

2. Baseado no Princípio de Funcionamento:

Como mencionado, os sistemas podem operar com base em compressão mecânica de vapor ou em ciclos de absorção. A escolha do princípio de funcionamento depende da disponibilidade de energia e do tipo de aplicação.

3. Baseado na Aplicação:

A refrigeração pode ser classificada de acordo com a sua aplicação, como refrigeração industrial, comercial ou doméstica. Para cada aplicação, há um tipo específico de sistema otimizado para as necessidades específicas de resfriamento.

2.10. *Chiller*

Segundo Pereira, Magalhães e Cartaxo (2015), o uso de água gelada é aplicado em grandes empreendimentos para climatização de ambientes, sendo esta produzida por meio de *chillers*, que são resfriadores de água, que funcionam seguindo os princípios de trocadores de calor.

Um *chiller* é um equipamento utilizado em sistemas de refrigeração e ar-condicionado para remover o calor de um líquido através de um ciclo de compressão ou absorção de vapor. O líquido resfriado, geralmente água ou uma mistura de água e glicol, é então circulado através de um trocador de calor para resfriar o ar ou outros equipamentos/processos industriais.

Seu funcionamento se baseia em um ciclo de refrigeração, similar ao de um refrigerador doméstico, porém em uma escala muito maior.

2.4.1. Evolução Histórica do *Chiller*

Os primeiros sistemas de resfriamento mecânico surgiram no final do século XIX, com invenções como o refrigerador de compressão de vapor. Em 1851, John Gorrie, um médico americano, patenteou uma máquina de gelo mecânica que usava compressão de ar para resfriamento.

Na virada do século XX, os sistemas de refrigeração começaram a ser usados comercialmente, principalmente em indústrias que exigiam controle de temperatura, como a fabricação de cerveja e a indústria alimentícia.

Nas décadas de 1920 e 1930, a tecnologia de compressão de vapor se tornou a principal metodologia para *chillers*. Empresas como *Carrier* começaram a desenvolver sistemas de ar condicionado baseados nessa tecnologia.

A descoberta e o uso de refrigerantes sintéticos, como o Freon, pela DuPont nos anos 1930, revolucionaram a indústria, proporcionando uma refrigeração mais eficiente e segura.

Na década de 1980, preocupações com o impacto ambiental dos refrigerantes sintéticos levaram à regulamentação e, eventualmente, à eliminação de substâncias como CFCs e HCFCs, que eram prejudiciais à camada de ozônio.

Novos refrigerantes, como HFCs e, mais recentemente, refrigerantes naturais, começaram a ser usados. A eficiência energética tornou-se uma prioridade, levando ao desenvolvimento de *chillers* com melhor desempenho e menor consumo de energia.

A integração de sistemas de controle avançados e automação permitiu um monitoramento e ajuste mais preciso dos *chillers*, aumentando a eficiência e a confiabilidade.

Nos últimos anos, a ênfase na sustentabilidade impulsionou o desenvolvimento de *chillers* que utilizam energia renovável e tecnologias de recuperação de calor, reduzindo ainda mais o impacto ambiental.

2.4.2. Classificação dos *Chillers*

1) Classificação por tipo de ciclo de refrigeração

- ***Chillers* de compressão:** São os mais comuns e utilizam um compressor mecânico para mover o refrigerante no ciclo;
- ***Chillers* de absorção:** Utilizam uma fonte de calor (como vapor ou gás natural) para acionar o ciclo de refrigeração;
- ***Chillers* de centrífuga:** Utilizam uma bomba centrífuga para mover o refrigerante no ciclo.

2) Classificação por tipo de condensador

- ***Chillers* de condensação a ar:** O calor do condensador é dissipado para o ar ambiente;
- ***Chillers* de condensação a água:** O calor do condensador é dissipado para a água, que é resfriada em uma torre de resfriamento.

3) Classificação por tipo de refrigerante:

- ***Chillers* com refrigerantes tradicionais:** Utilizam refrigerantes como R-22, R-410A e R-134a;
- ***Chillers* com refrigerantes naturais:** Utilizam refrigerantes naturais como água, amônia e dióxido de carbono.

4) Classificação por tamanho e capacidade:

- ***Chillers* de pequeno porte:** Utilizados em aplicações comerciais e residenciais;
- ***Chillers* de médio porte:** Utilizados em aplicações industriais e comerciais de grande porte;
- ***Chillers* de grande porte:** Utilizados em aplicações industriais muito grandes.

5) **Classificação por tipo de aplicação:**

- **Chillers para ar condicionado:** Utilizados para refrigerar o ar em edifícios;
- **Chillers para processos industriais:** Utilizados para resfriar equipamentos, produtos ou processos;
- **Chillers para laboratórios:** Utilizados para manter equipamentos e reagentes em baixas temperaturas.

6) **Classificação por tipo de controle:**

- **Chillers com controle analógico:** Utilizam componentes analógicos para controlar o funcionamento;
- **Chillers com controle digital:** Utilizam componentes digitais para controlar o funcionamento.

7) **Classificação por tipo de instalação:**

- **Chillers de instalação interna:** Instalados dentro do edifício;
- **Chillers de instalação externa:** Instalados fora do edifício.

8) **Classificação por tipo de operação:**

- **Chillers de operação contínua:** Funcionam 24 horas por dia, 7 dias por semana;
- **Chillers de operação intermitente:** Funcionam apenas quando necessário.

9) **Classificação por tipo de eficiência energética:**

- **Chillers de alta eficiência energética:** Utilizam tecnologias avançadas para reduzir o consumo de energia;

- **Chillers de eficiência média:** Utilizam tecnologias padrão para reduzir o consumo de energia;
- **Chillers de baixa eficiência energética:** Utilizam tecnologias antigas e menos eficientes.

2.4.3. Componentes do Sistema de Refrigeração – *Chiller*

2.4.3.1. Compressor

O compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração; é um equipamento mecânico projetado para aumentar a pressão de um fluido, geralmente um gás como o ar. Sua função é aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação desse fluido no sistema. Os principais tipos de compressores utilizados são: alternativo, centrífugo, de parafusos, palhetas e Scroll. O compressor utilizado é de parafuso individual semi-hermético.

O funcionamento de um compressor de parafuso em um *chiller* é de processo contínuo e eficiente de compressão de gás refrigerante, compreendendo 4 fases:

1. Admissão (Sucção)

O refrigerante na forma gasosa de baixa pressão entra no compressor de parafuso através da abertura de sucção, o motor do compressor aciona apenas directamente o rotor macho e os lóbulos do rotor macho engatam no rotor fêmea que fica alojado em uma carcaça estacionária, fazendo com que ambos girem em direções opostas.

2. Movimentação

À medida que os rotores giram, o refrigerante entra pela parte superior de uma das extremidades do compressor, quando os espaços entre os ressaltos (lóbulos) dos rotores passam pela entrada, as cavidades são preenchidas pelo refrigerante.

Em rotação contínua, o refrigerante retido nas cavidades move-se ao longo da carcaça do compressor.

3. Compressão do Gás

O refrigerante circula pela carcaça do compressor até encontrar um ressalto do rotor macho. O rotor macho começa a se encaixar na cavidade do rotor fêmea, reduzindo o volume da cavidade desta forma comprimindo o gás refrigerante e conseqüentemente aumentando a sua pressão e temperatura.

4. Descarga

O refrigerante comprimido move-se em direção à saída do compressor. Ao atingir o orifício de saída, o gás comprimido é expelido devido ao encaixe final do ressalto do rotor macho na cavidade do rotor fêmea.

O refrigerante comprimido sai pela parte inferior da outra extremidade do compressor.

2.4.3.2. Condensador resfriado a água

O condensador resfriado a água é uma parte crucial do sistema de refrigeração de um chiller, responsável pela rejeição de calor do refrigerante comprimido, permitindo que ele se condense de volta em um líquido.

Sua função principal é transformar o refrigerante gasoso em líquido, liberando o calor para um circuito de água. Obedecendo os seguintes estágios:

1. Entrada do Refrigerante no Condensador

O refrigerante comprimido pelo compressor entra no condensador em estado gasoso (alta pressão e temperatura), carregando o calor extraído do evaporador.

2. Transferência de Calor

No interior do condensador, o refrigerante flui através de tubos. A água de resfriamento circula ao redor dos tubos contendo o refrigerante. O calor do refrigerante é transferido para a água de resfriamento através das paredes dos tubos.

3. Condensação do Refrigerante

À medida que o refrigerante libera calor para a água de resfriamento, ele se condensa, passando do estado gasoso para o estado líquido. O refrigerante condensado é coletado na parte inferior do condensador.

4. Saída do Refrigerante Condensado

O refrigerante líquido de alta pressão sai do condensador e segue para a válvula de expansão, onde sua pressão será reduzida antes de entrar no evaporador.

2.4.3.3. Torre de Resfriamento

Uma torre de resfriamento em um sistema de *chiller* é um dispositivo utilizado para dissipar o calor removido do sistema de refrigeração para a atmosfera. Sua principal função é resfriar a água que foi aquecida no condensador do *chiller*, permitindo que essa água resfriada seja reutilizada no sistema de refrigeração. Obedecendo a seguinte sequência:

A água quente, que foi usada para condensar o refrigerante no condensador do *chiller*, é bombeada para a torre de resfriamento. De seguida é distribuída uniformemente na parte superior da torre de resfriamento através de bicos de pulverização ou bandejas de distribuição, que espalham a água sobre o meio de enchimento.

Ventiladores na torre puxam ou empurram o ar ambiente através do meio de enchimento. À medida que a água quente desce pelo meio de enchimento, ela entra em contato com o ar mais frio que está subindo ou atravessando a torre.

O ar, agora aquecido e húmido devido à evaporação da água, é expelido para a atmosfera através da parte superior da torre. Os separadores de gotas (drift eliminators) são usados para minimizar a perda de água em forma de gotas.

A água resfriada cai na bacia de coleta na base da torre de resfriamento, que de seguida é bombeada de volta para o condensador do *chiller*, completando o ciclo.

2.4.3.4. Válvula de Expansão

A válvula de expansão em um *chiller* desempenha um papel crucial no ciclo de refrigeração, regulando o fluxo de refrigerante para o evaporador e controlando a pressão e a temperatura do refrigerante.

2.4.3.5. Evaporador

O evaporador é um componente responsável pela absorção calor do ambiente que está sendo resfriado, transformando um fluido refrigerante de estado líquido em vapor.

O refrigerante, que está em estado líquido após passar pela válvula de expansão, entra no evaporador. No evaporador, o refrigerante líquido absorve calor do ambiente que está sendo resfriado (água).

À medida que o refrigerante absorve calor, sua temperatura e pressão aumentam, resultando na mudança de estado líquido para vapor. Esse processo é endotérmico, ou seja, requer energia na forma de calor.

O vapor refrigerante, agora a uma pressão e temperatura mais altas, sai do evaporador e é enviado para o compressor.

CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3. Contextualização

3.1. Breve historial da empresa Sumol+Compal em Moçambique

A Sumol+Compal é uma empresa com uma rica história de inovação e excelência na indústria de bebidas não alcoólicas. Fundada em 1945, a empresa tem se inspirado na natureza para oferecer experiências únicas aos consumidores, tornando a vida mais saborosa todos os dias.

Nos anos 40, António João Eusébio teve a visão de criar um dos maiores grupos económicos de bebidas e alimentação em Portugal. Esse espírito empreendedor culminou, em 2009, na fusão entre Sumolis e Compal, dando origem à Sumol+Compal SA. Essa união criou uma empresa portuguesa com um impacto significativo na vida dos portugueses.

Hoje, a Sumol+Compal possui uma forte presença internacional, estando presente em mais de 50 países. A empresa se dedica ao desenvolvimento, gestão, produção, comercialização e distribuição de marcas únicas e inovadoras. Ela abrange toda a cadeia de valor, desde a transformação de matérias-primas de frutas e vegetais até a produção de bebidas e alimentos, garantindo a distribuição e chegando ao consumidor final.

Com uma visão de longo prazo e um compromisso com a qualidade, a Sumol+Compal continua a alimentar o sonho de tornar cada dia uma oportunidade para tornar a vida mais saborosa.

A presença da Sumol+Compal em Moçambique é um capítulo significativo na história de expansão internacional da empresa. Moçambique, com o seu mercado em crescimento e potencial de consumo, tem sido um foco estratégico para a Sumol+Compal.

A entrada da Sumol+Compal em Moçambique aconteceu em resposta à crescente demanda por bebidas não alcoólicas de alta qualidade na região. A empresa iniciou suas operações no país em 2013 com o objetivo de estabelecer uma presença forte e fornecer aos consumidores locais produtos frescos e saborosos.

Os produtos da Sumol+Compal disponíveis em Moçambique incluem uma variedade de sumos, néctares e refrigerantes conhecidos por sua qualidade e sabor. As marcas Sumol e Compal, em particular, têm se tornado populares entre os consumidores moçambicanos.

A empresa Sumol+Compal Mz possui 3 certificações nomeadamente: ISO 9001 sistema de gestão da qualidade; Halal e BRCGS.

Além de fornecer produtos de alta qualidade, a Sumol+Compal tem contribuído para a economia local através da criação de empregos e do desenvolvimento de infraestruturas de distribuição. A empresa também tem se envolvido em iniciativas comunitárias e programas de responsabilidade social, reforçando seu compromisso com o desenvolvimento sustentável do país.

3.2. Apresentação da empresa Sumol+Compal Mz

A empresa Sumol+Compal Mz localiza-se no município de Boane, bairro Belo Horizonte, Av. Da Namaacha, Km27. Tel: 21 777 256/ 84 310 2761.

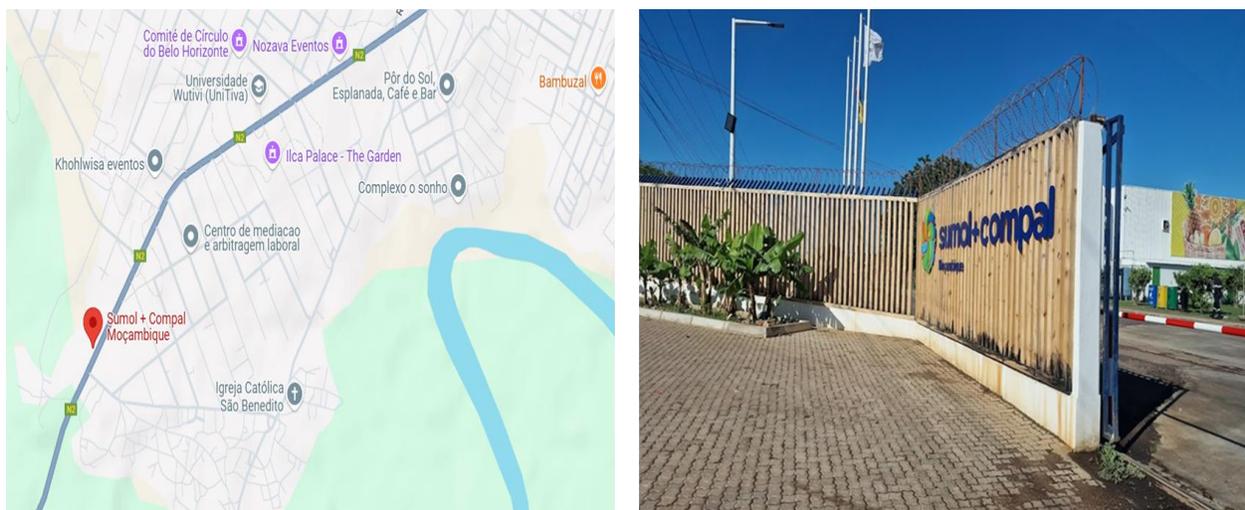


Figura 2: Localização da empresa

Fonte: Autor e Google Maps

A empresa Sumol+Compal Mz contempla duas partes principais, onde uma é técnica ou Executiva e a outra de Produção cujas actividades são as do processo produtivo propriamente dito no qual a matéria-prima é transformada no produto final, e outra Administrativa, onde são desencadeadas as actividades de gestão de recursos humanos, a parte orçamental e contabilística da empresa.

A empresa apresenta 4 departamentos nomeadamente:

- Operações;
- Qualidade, Ambiente e Segurança;
- Suportes;
- Marketing e Vendas

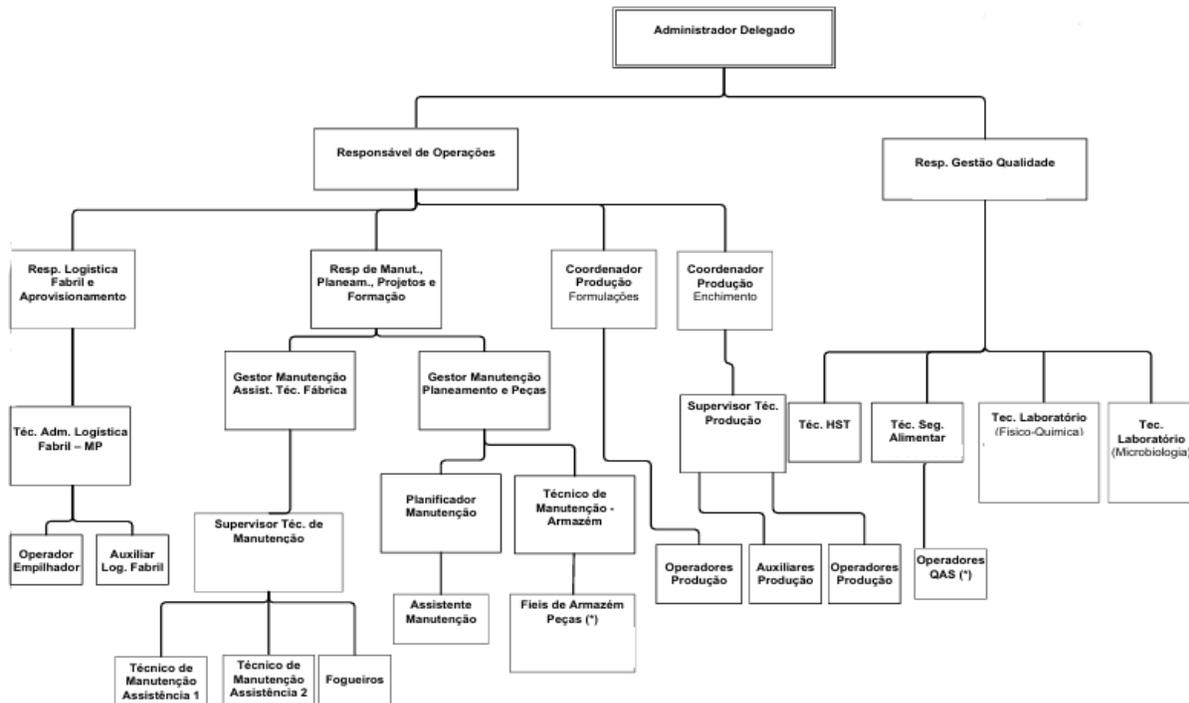


Figura 3: Organograma da empresa

Fonte: Autor

Funcionamento da Área Fabril da Sumol+Compal

A área fabril da Sumol+Compal opera 24 horas por dia, em um regime de turnos. Existem dois turnos principais: Turno A e Turno B. Estes turnos seguem o seguinte regime semanal:

- **Regime de Turnos:**
 - 2 manhãs
 - 2 noites
 - 2 folgas

Períodos dos Turnos:

- **Turno da Manhã:** 06h00 - 18h00
- **Turno da Noite:** 18h00 - 06h00

Além dos turnos rotativos mencionados, alguns colaboradores da área fabril, assim como o pessoal administrativo e a direção, trabalham em um regime de turno normal, que é de segunda a sexta-feira. Obedecendo o horário de 07h30 – 17h30.

3.3. Estado actual do *Chiller*

O *chiller* em investigação é de marca italiana DAIKIN e tem como referência EWAD390D-SS016 onde que de acordo com o catálogo, os caracteres caracterizam de forma técnica o *chiller* como pode-se ver abaixo:

EWA - *Chiller* arrefecido a ar, apenas para refrigeração;

D - Refrigerante R-134a;

390 - Classe de capacidade de refrigeração 390 kW;

D - Serie do Modelo;

S - Nível de eficiência padrão;

S - Nível ruído padrão;

0 - Garantia de um ano;

16 - Número sequencial (determina a quantidade de máquinas requisitadas);



Figura 4: *Chiller EWAD D390*

Fonte: Autor

Informação adicional sobre a caracterização e nomenclatura do *chiller* encontra-se nos Anexos 1 e 2. Acerca dos equipamentos usados no *chiller* abaixo está a descrição:

3.3.1. Compressor

O compressor é semi-hermético, de parafuso único, com um rotor de portas fabricado com o mais recente material de alta resistência reforçado com fibras. Este compressor possui uma regulagem deslizante assimétrica, gerida pelo controlador da unidade, permitindo uma modulação contínua de capacidade de 100% a 25%. Um separador de óleo integrado de alta eficiência maximiza a separação de óleo, e o arranque padrão é do tipo estrela-triângulo (Y- Δ).

O compressor foi projectado para operar com o refrigerante ecológico **R-134a**, que possui Potencial de Destruição do Ozono (ODP) igual a zero e Potencial de Aquecimento Global (GWP) muito baixo, resultando em um baixo Impacto Total de Aquecimento Equivalente (TEWI).



Figura 5: Compressor semi-hermético de parafuso

Fonte: Autor

3.3.2. Evaporador

Todas as outras unidades estão equipadas com um evaporador de expansão direta tipo casco e tubos, com tubos de cobre embutidos em placas tubulares de aço. Os evaporadores possuem passagem única tanto no lado do refrigerante quanto no lado da água, permitindo uma troca de

calor de contra fluxo puro e baixas perdas de pressão do refrigerante. Ambos os atributos contribuem para a eficácia do permutador de calor e para a eficiência excepcional da unidade como um todo.

A carcaça externa é revestida com um material isolante de células fechadas de 10 mm, e as conexões de saída de água do evaporador vêm equipadas com um *kit victaulic* (de série). Cada evaporador possui 2 circuitos, um para cada compressor.



Figura 6: Evaporador

Fonte: Autor

3.3.3. Condensador

O condensador é fabricado com tubos de cobre seamless (sem costura) internamente aprimorados, dispostos em um padrão escalonado e mecanicamente expandidos em lâminas de alumínio perfuradas e onduladas, com bordas totalmente contornadas para maximizar a transferência de calor. Um circuito integrado de sub-resfriamento proporciona resfriamento adicional, eliminando eficazmente o flash de líquido e aumentando a capacidade de refrigeração sem aumento no consumo de energia.

Os ventiladores do condensador são do tipo hélice, com lâminas de alta eficiência para maximizar o desempenho. O material das lâminas é de resina reforçada com fibra de vidro, e cada ventilador é protegido por uma grade de proteção.

Os motores dos ventiladores são protegidos por disjuntores (instalados dentro do quadro elétrico como padrão) e possuem classificação IP54.



Figura 7: Condensador do tipo Hélice

Fonte: Autor

3.3.4. Válvula de Expansão Electrónica

A unidade está equipada com válvulas de expansão electrónicas de última geração, que permitem um controle preciso do fluxo de massa do refrigerante. À medida que os sistemas atuais exigem maior eficiência energética, controle de temperatura mais rigoroso, uma ampla gama de condições operacionais e incorporam funcionalidades como monitorização e diagnóstico remoto, o uso de válvulas de expansão electrónicas torna-se indispensável.

As válvulas de expansão electrónicas possuem características únicas: tempo curto de abertura e fecho, alta resolução, função de vedação positiva para eliminar a necessidade de uma válvula solenóide adicional, modulação contínua do fluxo de massa sem sobrecarga no circuito de refrigerante, e corpo em aço inoxidável resistente à corrosão.

As válvulas de expansão electrónicas normalmente operam com uma diferença de pressão (ΔP) menor entre os lados de alta e baixa pressão em comparação com uma válvula de expansão termostática. A válvula de expansão eletrónica permite que o sistema funcione com baixa pressão no condensador (no inverno) sem problemas de fluxo de refrigerante, garantindo um controlo perfeito da temperatura de saída da água gelada.

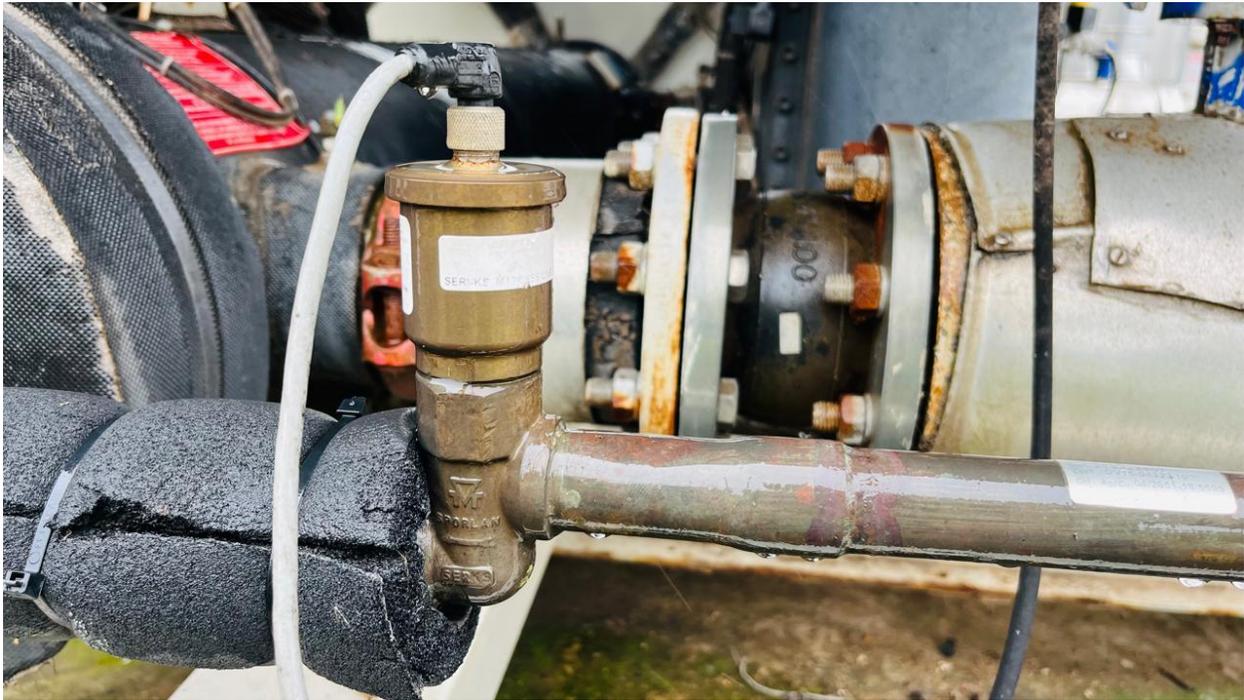


Figura 8: Válvulas de expansão electrónica

Fonte: Autor

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

4. Metodologia

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos utilizados para conduzir o estudo sobre a eficiência energética do sistema de resfriamento tipo *chiller*. A metodologia foi definida com o objetivo de permitir uma análise rigorosa, sistemática e baseada em dados reais coletados no ambiente de operação do equipamento.

4.1. Tipo de investigação

Este estudo enquadra-se numa investigação documental e experimental. Onde a parte documental é baseada em literaturas e dados históricos de desempenho do *Chiller* e relatórios de manutenção. A componente experimental envolve o monitoramento prático das operações do sistema, com a colecta de dados directamente durante o funcionamento do *Chiller*.

4.2. Métodos

Foi adotado o **método experimental** aliado ao **estudo de caso**. O estudo de caso foi realizado em uma unidade industrial "Sumol+Compal, Mz", onde o *chiller* está em operação contínua. O método experimental permitiu a coleta de dados técnicos diretamente do equipamento, possibilitando a avaliação do seu desempenho energético de forma prática e contextualizada.

Serão igualmente aplicados métodos quantitativos e qualitativos para alcançar métricas de desempenho (quantitativos) como as causas e impactos qualitativos das falhas e oscilações no sistema de refrigeração. O método quantitativo permitirá comparar o consumo energético com parâmetros ideais, enquanto que o qualitativo ajudará na compreensão dos factores que levam a interrupções ou paragens não programadas.

4.3. População e amostra

A amostra será uma seleção dos dados de consumo energético, ocorrências de falhas e registros de produtividade durante um período específico.

A população do estudo compreende o sistema de refrigeração do tipo *chiller* (EWAD390D-SS016) utilizado durante o processo produtivo para resfriar o produto após o processo de pasteurização. A amostra será composta pelo *chiller* que foi escolhido com base na sua relevância e disponibilidade de dados. Serão colhidos dados de temperatura, consumo energético, ocorrências de falhas e registros de produtividade durante um período específico (25 dias).

4.4. Instrumentos e procedimentos para recolha, tratamentos e análise de dados

4.4.1. Instrumentos e procedimentos para recolha de dados

Os dados de consumo energético e funcionamento do *Chiller* serão monitorados diariamente, enquanto que os registros de falhas e fugas serão conferidos semanalmente para análise contínua. Sempre que ocorrer uma falha ou interrupção, será feito um registro imediato da situação, incluindo o tempo de inatividade e o impacto produtivo.

A coleta de dados foi realizada por meio dos seguintes instrumentos:

- Medidores de energia eléctrica;
- Sensores de Temperatura;
- Registros operacionais e históricos de consumo energético da empresa;
- Termómetros;
- Entrevistas técnicas com operadores e responsáveis pela manutenção.

Os procedimentos incluíram:

- Levantamento das especificações técnicas do *chiller* em estudo;
- Medição e registro da temperatura de entrada e saída da água gelada;
- Acompanhamento das cargas térmicas demandadas ao longo de períodos definidos;
- Registro de dados durante turnos completos ou horários críticos de operação;
- Comparação com padrões de eficiência energética.

Adicionalmente, serão integradas as atividades de manutenção programada (interventiva) tais como:

- Substituição dos fluidos refrigerantes;
- Avaliação dos compressores;
- Verificação da tubagem e balão de ar;
- Limpeza de filtros e substituição dos óleos;

Este momento estratégico será aproveitado para recolha de dados que considerar-se-á momento antes e momento depois das intervenções. Isso permitirá medir directamente o impacto dessas intervenções sobre indicadores como o COP, o consumo elétrico, a pressão e a vazão do sistema, gerando uma base de dados prática para calibrar o sistema de monitoramento. Ao analisar as variações nos parâmetros operacionais após cada ação de manutenção, acreditasse que será possível ajustar os alertas e planejar futuras intervenções de forma mais eficiente, garantindo não apenas a continuidade operacional do sistema, mas também a sua melhoria contínua em termos de eficiência energética e confiabilidade.

4.4.2. Tratamentos e análise de dados

Serão aplicadas análises estatísticas para comparar o consumo energético em diferentes condições operacionais e verificar padrões de consumo. No que diz respeito às falhas serão feitas análises qualitativas causas e efeitos de modo a identificar as causas principais e propor soluções que aumentem a eficiência energética e a produtividade.

Os dados coletados serão organizados em planilhas eletrônicas para posterior análise estatística e energética. Serão utilizados os seguintes indicadores de desempenho:

- Consumo energético;
- Carga térmica retirada;
- Coeficiente de desempenho ou performance (COP).

A análise será feita por meio de gráficos comparativos, tabelas de desempenho e confrontação com dados de referência da literatura técnica e dos fabricantes dos equipamentos.

No que diz respeito às falhas serão feitas análises qualitativas causas e efeitos de modo a identificar as causas principais e propor soluções que aumentem a eficiência energética e a produtividade.

4.5. Variáveis de investigação

Entende-se que a recolha de dados terá dois tipos de variáveis conforme ilustra-se abaixo:

Variáveis independentes:

- Temperatura de entrada e saída da água;
- Carga térmica do sistema;
- Tempo de operação;
- Condições de manutenção preventiva.

Variáveis dependentes

- Consumo de energia eléctrica;
- Eficiência energética (COP).

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5. Apresentação, análise e discussão dos resultados

5.1. Apresentação e análise dos resultados

Os dados foram retirados em 25 dias antes da manutenção programada (interventiva) em horários pré-definidos das 6 horas as 18 horas conforme o anexo 2 de modo a garantir uma amostra capaz de reflectir as condições reais de funcionamento por sua vez apresentar-se-á os valores médios diários pelo que os mesmos reflectem-se na tabela abaixo:

Para a análise dos resultados foi necessário trazer ao entendimento alguns parâmetros de refrigeração tais como o COP (coeficiente de desempenho) que é uma medida da eficiência do *chiller* em condições de operação específicas. Ele é definido como a razão entre a capacidade de refrigeração fornecida pelo *chiller* e a energia eléctrica consumida para produzir essa refrigeração segundo a fórmula:

$$\text{COP} = \frac{Q}{W_{\text{in}}}$$

Onde:

Q – Energia térmica retirada, kW

W_{in} – Energia eléctrica consumida, kW

A energia térmica retirada (Q) – representa a quantidade de calor que é removida de um ambiente ou fluido durante o processo de refrigeração podemos dizer em outras palavras que é a energia que o *chiller* ou outro equipamento retira do fluido para manter uma temperatura específica. Pode ser calculada através da fórmula:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

Onde:

\dot{m} – Vazão da água, kg/s

$C_p = 4.186 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C}$ – Calor específico da água, kJ/Kg°C

ΔT – Diferença de temperatura ($T_{entrada} - T_{saida}$), °C

5.2. Avaliação do coeficiente ou de eficácia (COP) antes da intervenção de manutenção

Tabela 2: Dados recolhidos antes da manutenção

Dia	T. de Entrada (°C)	T. de Saída (°C)	Vazão massica (kg/s)	Potência Térmica (kW) (kW)	Consumo Elétrico (kW)
1	18.8	6.6	18.6	947.4	270.7
2	16.2	7.1	18.6	706.5	220.8
3	15.4	7.8	18.6	590.1	210.8
4	18	8.4	18.6	745.9	248.6
5	13.8	7.5	18.6	489.3	244.6
6	19	6.9	18.6	940.1	261.1
7	14.5	8.9	18.6	434.9	241.6
8	13	7.2	18.6	451.5	188.1
9	12.1	7.3	18.6	373.2	248.8
10	18.3	8.7	18.6	745.9	240.6
11	12.7	6.6	18.6	473.3	189.3
12	14	7	18.6	543.1	187.3
13	15.7	8.3	18.6	573.1	179.1
14	17.3	9	18.6	645.8	293.5
15	13.5	6.8	18.6	585.3	344.3
16	18.9	7.4	18.6	892.2	247.8
17	13.2	8.1	18.6	395.2	329.3
18	16.5	7.8	18.6	755.6	302.2
19	15	7.3	18.6	668.1	215.5
20	12.3	6.9	18.6	418.2	418.2
21	19	7.2	18.6	916.3	269.5
22	13.3	8	18.6	409.9	151.8
23	15.6	8.9	18.6	489.3	163.1
24	16.7	7.6	18.6	706.5	294.4
25	17.3	8.3	18.6	698.4	232.8

Os resultados dos COP atingidos pelo sistema com suas respectivas energias térmicas retiradas na água de resfriamento, podem ser encontrados na Tabela 3

Tabela 3: Cálculo do COP antes da manutenção

Dia	Consumo Elétrico (kW)	CP da água	ΔT	Q	COP
1	270.7	4.186	12.2	949.89	3.51
2	220.8	4.186	9.1	708.52	3.21
3	210.8	4.186	7.6	591.73	2.81
4	248.6	4.186	9.6	747.45	3.01
5	244.6	4.186	6.3	490.52	2.01
6	261.1	4.186	12.1	942.10	3.61
7	241.6	4.186	5.6	436.01	1.80
8	188.1	4.186	5.8	451.59	2.40
9	248.8	4.186	4.8	373.73	1.50
10	240.6	4.186	9.6	747.45	3.11
11	189.3	4.186	6.1	474.94	2.51
12	187.3	4.186	7	545.02	2.91
13	179.1	4.186	7.4	576.16	3.22
14	293.5	4.186	8.3	646.23	2.20
15	344.3	4.186	6.7	521.66	1.52
16	247.8	4.186	11.5	895.39	3.61
17	329.3	4.186	5.1	397.08	1.21
18	302.2	4.186	8.7	677.38	2.24
19	215.5	4.186	7.7	599.52	2.78
20	418.2	4.186	5.4	420.44	1.01
21	269.5	4.186	11.8	918.74	3.41
22	151.8	4.186	5.3	412.66	2.72
23	163.1	4.186	6.7	521.66	3.20
24	294.4	4.186	9.1	708.52	2.41
25	232.8	4.186	9	700.74	3.01

A análise dos dados operacionais recolhidos ao longo de 25 dias antes da realização da manutenção interventiva revela um funcionamento irregular e instável do sistema de refrigeração (*chiller*) da Sumol+Compal Mz. Embora em alguns dias o *chiller* tenha apresentado bons níveis de eficiência

energética com o COP a atingir valores superiores a 3,5 uma parte significativa do período estudado apresentou níveis baixos de desempenho.

Cerca de 32% dos dias analisados apresentaram COP abaixo de 2, o que indica forte ineficiência energética, com o sistema a consumir grandes quantidades de energia elétrica para retirar uma quantidade limitada de calor da água. Este cenário pode ser resultado de vários fatores, como:

- Fluido refrigerante degradado;
- Obstruções em filtros ou tubagens;
- Problemas no compressor (vibração, pressão excessiva);
- Falta de manutenção nos componentes críticos.

O ponto mais crítico foi observado no Dia 20, com um COP de apenas 1,01, revelando que o *chiller* estava praticamente a consumir a mesma quantidade de energia que conseguia remover em calor uma situação que reflete uma falha grave na eficiência do sistema.

De forma geral, os dados confirmam que o *chiller* não estava a operar de forma otimizada, o que justifica plenamente a necessidade de uma intervenção técnica imediata. Estes resultados servem como linha de base (*baseline*) para comparação futura com os dados que serão recolhidos após as manutenções programadas, possibilitando uma avaliação objetiva dos ganhos obtidos com as correções técnicas.

5.3. Avaliação do coeficiente ou de eficácia (COP) depois da intervenção

Os dados coletados após a manutenção são apresentados na tabela abaixo, com os mesmos parâmetros analisados anteriormente.

Tabela 4: Dados recolhidos após a manutenção

Dia	T. de Entrada (°C)	T. de Saída (°C)	Vazão massica (kg/s)	Potência Térmica (kW)	Consumo Elétrico (kW)
1	17	6.2	18.6	839.1	262.2
2	16.3	6.1	18.6	792.5	203.2
3	15.5	7	18.6	660	161
4	18.1	7.1	18.6	839.1	239.7
5	14.7	6.2	18.6	660	220
6	17.5	6	18.6	892.2	207.5
7	16.9	6.5	18.6	807.3	218.3
8	14.2	5.7	18.6	660	194.1
9	13.6	6	18.6	591.4	131.4
10	18.5	7.3	18.6	861.3	261
11	12.9	6.2	18.6	521.1	179.7
12	13.5	6.1	18.6	573.1	184.9
13	15.8	6.3	18.6	738.7	184.7
14	17.2	6.7	18.6	816.5	214.9
15	14.1	6	18.6	631.3	150.3
16	18	7.5	18.6	816.5	263.4
17	13.2	6.2	18.6	544.6	123.8
18	16.5	6.3	18.6	792.5	220.1
19	15	6.5	18.6	660	143.5
20	11.8	5.7	18.6	474.2	148.2
21	19	7.1	18.6	916.3	223.5
22	13.3	6	18.6	567.1	141.8
23	15.6	6.8	18.6	683.7	235.7
24	16.8	7	18.6	761.4	205.8
25	17.3	6.6	18.6	831.6	184.8

Tabela 5: Cálculo do COP após a manutenção

Dia	Consumo Elétrico	CP da água	ΔT	Q	COP
1	262.2	4.186	10.8	840.88	3.21
2	203.2	4.186	10.2	794.17	3.91
3	161	4.186	8.5	661.81	4.11
4	239.7	4.186	11	856.46	3.57
5	220	4.186	8.5	661.81	3.01
6	207.5	4.186	11.5	895.39	4.32
7	218.3	4.186	10.4	809.74	3.71
8	194.1	4.186	8.5	661.81	3.41
9	131.4	4.186	7.6	591.73	4.50
10	261	4.186	11.2	872.03	3.34
11	179.7	4.186	6.7	521.66	2.90
12	184.9	4.186	7.4	576.16	3.12
13	184.7	4.186	9.5	739.67	4.00
14	214.9	4.186	10.5	817.53	3.80
15	150.3	4.186	8.1	630.66	4.20
16	263.4	4.186	10.5	817.53	3.10
17	123.8	4.186	7	545.02	4.40
18	220.1	4.186	10.2	794.17	3.61
19	143.5	4.186	8.5	661.81	4.61
20	148.2	4.186	6.1	474.94	3.20
21	223.5	4.186	11.9	926.53	4.15
22	141.8	4.186	7.3	568.38	4.01
23	235.7	4.186	8.8	685.16	2.91
24	205.8	4.186	9.8	763.02	3.71
25	184.8	4.186	10.7	833.10	4.51

Após a manutenção, observa-se uma melhoria significativa no desempenho do *Chiller*:

- Aumento do COP: O COP médio aumentou, com valores frequentemente acima de 3,5, indicando maior eficiência energética. O maior COP registrado foi 4,61 (Dia 19), e o menor foi 2,90 (Dia 11), ainda superior ao pior caso pré-manutenção (1,01).

- Redução do Consumo Elétrico: O consumo elétrico médio diminuiu, com valores mais baixos em comparação com o período pré-manutenção, especialmente em dias como o 17 (123,8 kW).
- Estabilidade Operacional: A variação do COP foi menos pronunciada, sugerindo maior consistência no desempenho do sistema.

5.4. Análise comparativa do COP antes e depois da manutenção interventiva

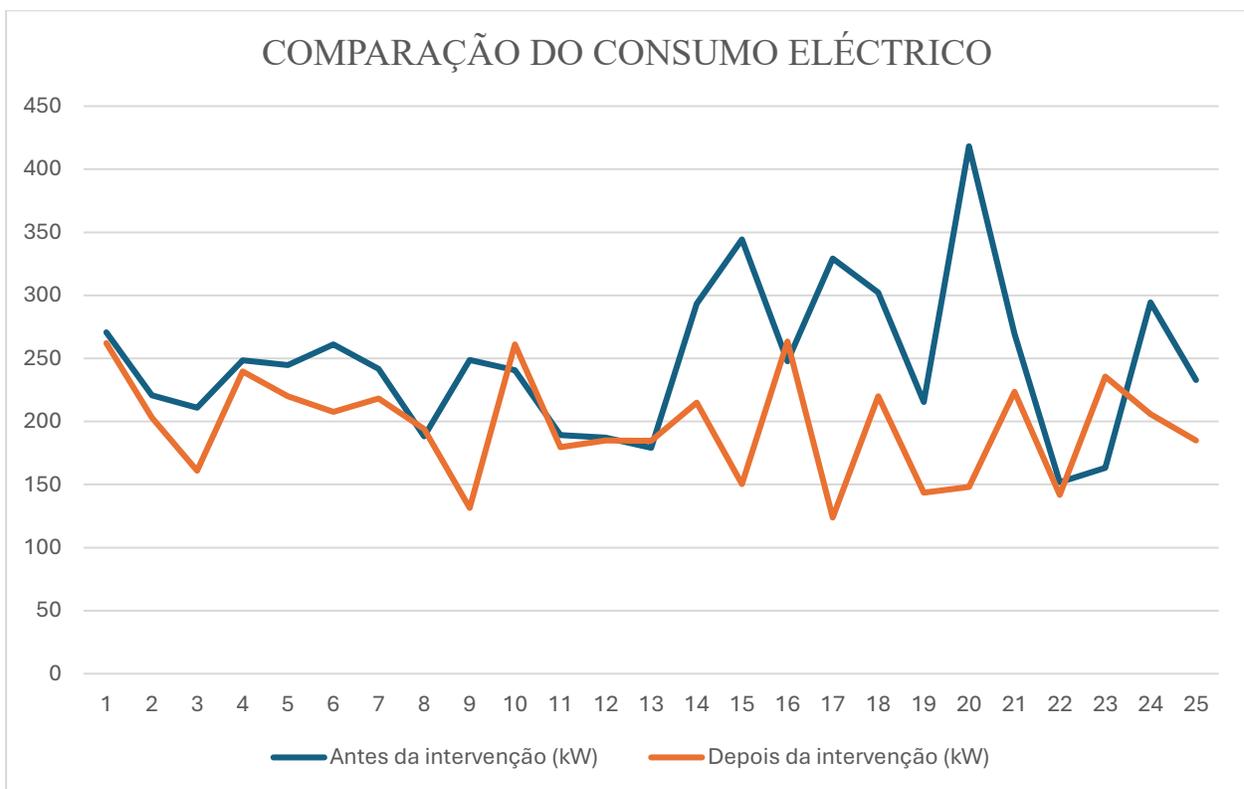


Gráfico 1: Análise comparativa do COP antes e depois da manutenção interventiva

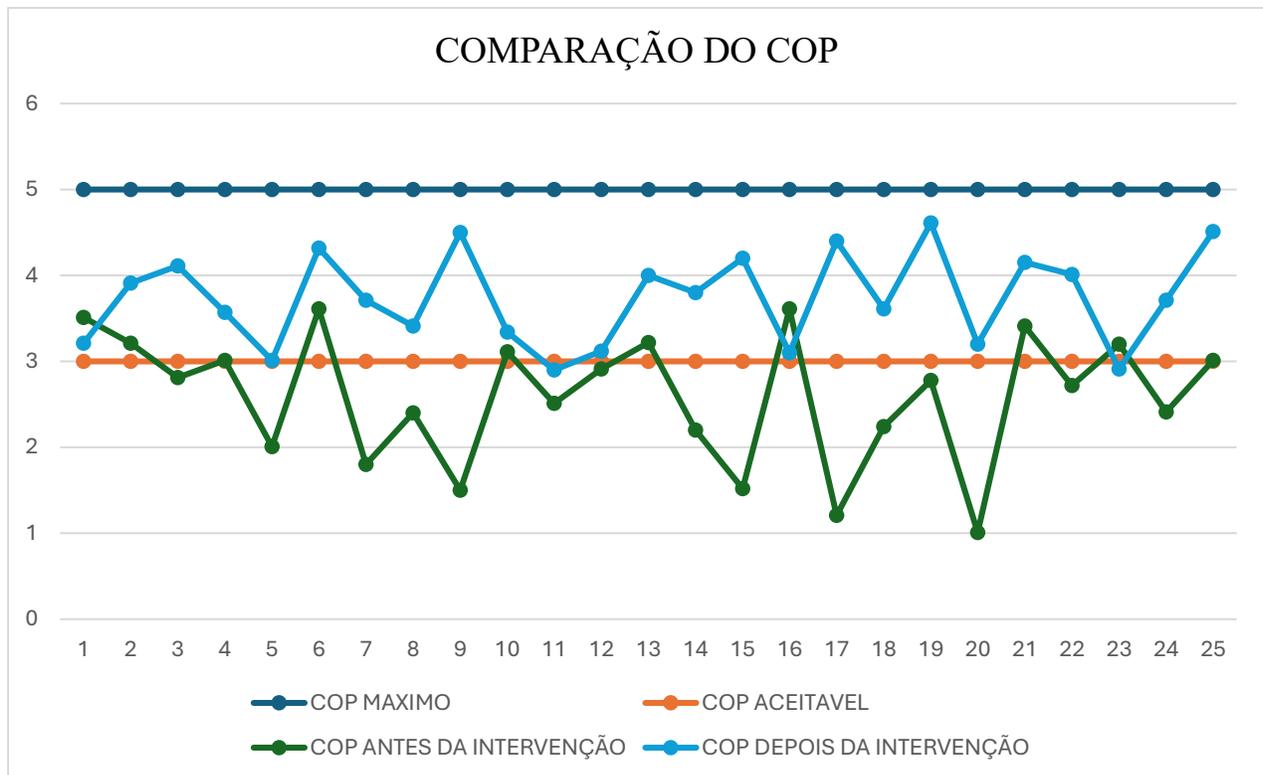


Gráfico 2: Comparação do COP

A comparação entre os períodos pré e pós-manutenção revela os benefícios da intervenção técnica:

- Antes da manutenção, 32% dos dias apresentaram COP abaixo de 2, enquanto após a manutenção, todos os dias registraram COP acima de 2,9, demonstrando uma clara melhoria na eficiência energética garantido assim a melhoria na eficiência
- Redução de falhas críticas: O caso extremo do Dia 20 (COP = 1,01) não se repetiu após a manutenção, indicando que os problemas graves, como possíveis obstruções ou falhas no compressor, foram corrigidos notando-se dessa forma uma redução de falhas críticas
- A redução no consumo elétrico e o aumento do COP sugerem menor custo operacional e maior sustentabilidade do sistema.

Esses resultados validam a eficácia da manutenção interventiva e estabelecem uma linha de base para futuras avaliações.

5.5. Proposta de solução

Para garantir a eficiência energética e a continuidade operacional do sistema de refrigeração, este trabalho propõe a implementação de uma solução integrada de manutenção, que combina rotinas sistemáticas com práticas de manutenção preditiva baseadas em dados reais de funcionamento. Com base nas análises realizadas e nos resultados obtidos antes e depois da intervenção de manutenção, foi possível constatar que a eficiência do *chiller* está diretamente ligada ao estado de conservação dos seus componentes e à regularidade das intervenções técnicas.

Assim, além da aplicação de um plano de manutenção sistemática com atividades diárias, semanais, mensais e anuais, conforme a realidade vivida na instituição, recomenda-se a adoção de um sistema de manutenção preditiva, que permita monitorar continuamente os parâmetros operacionais do *chiller*, tais como:

- O Coeficiente de Desempenho (COP);
- O consumo elétrico, as pressões nos circuitos do condensador e evaporador;
- As temperaturas de entrada e saída da água e os níveis de vibração do compressor.

Através deste plano, será possível identificar desvios nos padrões de funcionamento e antecipar falhas, promovendo uma atuação técnica antes que ocorram avarias graves.

A manutenção preditiva, nesse contexto, não substitui as inspeções calendarizadas, mas actua de forma complementar, preenchendo as lacunas entre uma intervenção e outra. Por exemplo, se forem identificados valores de COP abaixo de 3 durante três dias consecutivos, ou se o consumo de energia aumentar de forma anormal sem variação de carga térmica, este plano poderá orientar a equipa de manutenção a intervir pontualmente no componente que apresenta tendência de falha. Esta lógica também se aplica a situações de queda brusca de pressão ou alteração no comportamento térmico do sistema, permitindo que as intervenções ocorram de forma planejada e com maior eficiência.

Desta forma, a integração entre o plano de manutenção preventiva e a manutenção preditiva proporciona ganhos significativos para a operação da Sumol+Compal Mz. Entre os principais benefícios esperados, destacam-se a melhoria contínua do COP (mantendo-o consistentemente

acima de 3,5), a redução das paragens não programadas, a diminuição dos custos operacionais e o prolongamento da vida útil do *chiller*.

Além disso, a atuação baseada em dados permite que o histórico de desempenho do equipamento seja utilizado para reajustar as estratégias de manutenção, tornando o sistema cada vez mais inteligente e adaptado à realidade da empresa.

5.5.1. Modelo de Weibull

O modelo de Weibull é uma ferramenta estatística muito utilizada na manutenção preditiva para analisar a probabilidade de falha de um equipamento ao longo do tempo. Ele permite prever quando componentes ou sistemas estão mais propensos a falhar, ajudando na tomada de decisões sobre substituição, inspeção ou manutenção.

5.5.2. Objectivos do Modelo de Weibull

- Prever o tempo de falha dos componentes;
- Classificar o tipo de falha;
- Definir o momento ideal para manutenção;
- Aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos;
- Apoiar a tomada de decisão na gestão da manutenção;
- Estabelecer ciclos de vida dos componentes.

Ele é definido por dois parâmetros:

1. Beta (β) – parâmetro de forma:

- $\beta < 1$: **Falhas precoces** (defeitos de fabricação, por exemplo)
- $\beta = 1$: **Falhas aleatórias** (sem relação com o tempo)
- $\beta > 1$: **Falhas por desgaste** (uso prolongado, envelhecimento dos componentes)

2. **Eta (η) – parâmetro de escala:**

- Representa a **vida característica** do equipamento

5.5.3. Fórmula da Função de Distribuição de Weibull

A função de confiabilidade (probabilidade de um equipamento não falhar até o tempo t) é:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

R – Confiabilidade de weibull

t – Tempo até a falha

η – parâmetro de falha

β – parâmetro de forma

5.5.4. Definição da periodicidade usando o método de Weibull

Com base na ficha técnica do *chiller* e nas condições operacionais observadas no equipamento, foram realizados os seguintes cálculos para definir a periodicidade da manutenção preditiva.

- ✓ Segundo o fabricante a cada 40000h deve se fazer uma revisão completa.
- ✓ Durante o monitoramento do *chiller* pode-se notar que a cada 3600h, o equipamento falha.
- ✓ Tendo em conta que as falhas são por desgaste, toma-se $\beta = 2$
- ✓ Tem-se como taxa de confiabilidade de weibull 90% por conta do equilíbrio entre a confiabilidade e os custos.

Para $\eta = 3600h$

$$\begin{aligned}R(t) &= e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \\0.90 &= e^{-\left(\frac{t}{3600}\right)^2} \\-\ln(0.90) &= \left(\frac{t}{3600}\right)^2 \\ \sqrt{0.1054} &= \frac{t}{3600} \\t &= 3600 \times \sqrt{0.1054} \\t &= 1168.75h \approx 1 \text{ mês e } 19 \text{ dias}\end{aligned}$$

Contudo, a manutenção preditiva idealmente deve ser planejada antes de atingir 1.62 meses para manter uma alta confiabilidade. Uma boa pratica é aplicar um factor de segurança (para garantir segurança e evitar falhas) para o tempo estimado.

FS de 90% de 1.62 meses = 1.46 meses aproximadamente a 1 mês e 14 dias. Esse é o período ideal para a manutenção.

Para $\eta = 40000h$

$$\begin{aligned}R(t) &= e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \\0.90 &= e^{-\left(\frac{t}{40000}\right)^2} \\-\ln(0.90) &= \left(\frac{t}{40000}\right)^2 \\ \sqrt{0.1054} &= \frac{t}{40000} \\t &= 40000 \times \sqrt{0.1054} \\t &= 12986.14h \approx 1 \text{ ano e } 176 \text{ dias}\end{aligned}$$

O tempo de desgaste dos componentes é de 1.48 anos, logo deve-se trocar os componentes antes deste tempo. FS de 90% de 1.48 anos = 1.33 anos aproximadamente a 1 ano e 121 dias, período ideal para a revisão geral.

Abaixo apresenta-se o plano de manutenção preditiva e a check list no anexo 5.

6: Proposta do plano de manutenção preditiva

FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL	ACTIVIDADES DE MANUTENÇÃO	OBJECTIVO	IMPACTO ESPERADO
Diária	Operador	<ul style="list-style-type: none"> - Limpeza externa do equipamento; - Inspeção visual rápida; - Verificação de resolução de anomalias do dia anterior; 	Detetar alterações visuais e condições operacionais básicas	Previne sujidade e desgaste superficial que podem influenciar trocas térmicas
1.46 meses	Mecânico	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar pressão do condensador; - Verificar pressão do evaporador; - Análise de vibração do compressor; - Análise termográfica. 	Avaliar pressões, detectar falhas precoces em componentes mecânicos	Permite correção de desvios que comprometem o COP e evitam paragens inesperadas.
1.46 meses	Mecânico	<ul style="list-style-type: none"> - Limpeza de todos os filtros de água; - Verificação e possível substituição do óleo e refrigerante; - Inspeção de fugas nas válvulas e tubagens. 	Manter o fluxo térmico e hidráulico ideal, prevenir falhas no circuito frigorífico	Garante a diferença de temperatura adequada e manutenção da eficiência térmica (aumenta o COP)
1.33 anos	Mecânico	<ul style="list-style-type: none"> - Repetir todas as manutenções mensais; - Verificação da carga de refrigerante e nível de óleo; - Substituição dos componentes; - Análise laboratorial do óleo - Inspeção completa do condensador; - Teste do aquecedor do cárter. 	Revisão completa para restabelecer condições de fábrica e prolongar vida útil	Reduz o desgaste geral, optimiza consumo e previne grandes avarias.

5.6. Estudo do custo da implementação da manutenção interventiva voltada a viabilidade da implementação da manutenção preditiva

5.6.1. Custo da Implementação da Manutenção Interventiva

Os custos associados à implementação do plano de manutenção interventiva foram calculados com base nos preços fornecidos pelo parceiro de negócios da Sumol+Compal Mz. A tabela abaixo apresenta o levantamento detalhado dos custos envolvidos nesta fase. Estes valores representam um investimento inicial que, a médio e longo prazo, contribuirá para a redução de perdas energéticas, o aumento da vida útil do sistema e a melhoria da eficiência global do processo produtivo.

Tabela 7: Custo da implementação da manutenção interventiva

EQUIPAMENTO	PREÇO UNITÁRIO (MZN)	QUANTIDADE	TOTAL (MZN)
Sonda de temperatura de sucção	19,568.23	4	78,272.92
Sonda de temperatura água entrada/saída	19,568.23	6	117,409.38
Cabo com ficha para válvula de expansão SERI-KS M12	10,031.68	2	20,063.36
Pressostato transd. 0-30Bar NSK-BE031-U009	5,642.82	2	11,285.64
Cabo com ficha para pressostato	8,445.92	3	25,337.76
Válvula de expansão SERI-KS M12	64,425.43	2	128,850.86
Placa de controle EXV	38,681.16	2	77,362.32
Botijas do refrigerante 134a	8,250.00	3	24,750.00
TOTAL SEM CUSTOS ADICIONAIS (MZN)		483,332.24	
Custos de transporte e direitos (35%) (MZN)		169,166.248	
Custos da mão-de-obra (MZN)		477,400.90	
TOTAL GERAL (MZN)			1,129,899.424

O custo total da implementação da manutenção interventiva foi estimado em aproximadamente a 1,129,899.424 Meticais, valor que inclui equipamentos, transporte, direitos e formação da equipa e mão-de-obra. Os dispositivos propostos são compatíveis com o *Chiller* da empresa Sumol+Compal Mz e permitem monitorar componentes críticos como compressor, condensador, evaporador e válvulas de expansão. Embora a formação inicial da equipa represente um desafio, a

sua viabilidade é garantida com um planeamento adequado, permitindo que os técnicos interpretem correctamente os dados e actuem de forma preventiva.

A adoção da manutenção preditiva trará ganhos significativos, como a redução de paragens não programadas, aumento da confiabilidade do sistema e maior eficiência energética. Com isso, o investimento deixa de ser apenas um custo imediato e transforma-se numa solução viável e sustentável, alinhada aos objectivos da empresa. A proposta reforça o compromisso com a continuidade produtiva, a redução de desperdícios e a melhoria do desempenho técnico do equipamento.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6. Conclusões e recomendações

6.1. Conclusões

O presente estudo avaliou a eficiência energética do sistema de refrigeração (*chiller*) da Sumol+Compal Mz, com base em dados reais recolhidos antes e depois de uma intervenção técnica. Os resultados demonstraram que o desempenho do *chiller* melhora significativamente após manutenções adequadas, com o COP a alcançar valores superiores a 4 em vários dias, contrastando com os baixos níveis registados antes da intervenção. Conclui-se, assim, que a eficiência do sistema depende diretamente da regularidade e da qualidade das manutenções realizadas, bem como do controlo contínuo dos seus parâmetros operacionais.

Neste sentido, propõe-se a implementação de um modelo de manutenção integrado, que combine rotinas sistemáticas (diárias, semanais, mensais e anuais) com um sistema de manutenção preditiva baseado na monitoria contínua de indicadores como COP, consumo elétrico, pressão e temperatura. Essa abordagem permitirá antecipar falhas, otimizar recursos, reduzir paragens não programadas e prolongar a vida útil do equipamento. A manutenção preditiva, ao actuar de forma complementar ao plano sistemático, torna o processo mais eficiente, inteligente e adaptado à realidade da empresa, contribuindo para um sistema de produção mais sustentável e confiável.

6.2. Recomendações

Para melhorar a eficiência do *Chiller* e garantir melhores resultados, sugerem-se as seguintes medidas:

- Implementar de forma contínua um sistema de monitoramento inteligente do *chiller*, com recolha e análise automática de dados como COP, pressão, temperatura e consumo elétrico, permitindo acompanhar o desempenho energético em tempo real e tomar decisões baseadas em evidências.

- Realizar inspeções frequentes nos principais componentes, como o compressor, condensador, evaporador e válvulas;
- Ajustar a vazão de água e a temperatura para operar na faixa mais eficiente possível;
- Oferecer capacitação regular para os técnicos de manutenção, para que saibam identificar problemas e resolvê-los antes de impactarem o sistema;
- Se for economicamente viável, considerar a substituição do equipamento ou partes dele por tecnologias mais modernas e eficientes, que reduzam o consumo de energia e contribuam para práticas mais sustentáveis.

6.3. Limitações da pesquisa

As condições operacionais durante a recolha de dados foram variáveis, como alterações na carga térmica, temperatura ambiente e a demanda operativa, o que pode ter influenciado directamente os resultados obtidos.

Dificuldade no acesso a informação financeira da empresa, situação esta que minou o estudo da viabilidade mais apurado e fidedigno.

6.4. Sugestões para futuros trabalhos

Com vista a aprofundar a compreensão da eficiência energética em sistemas de refrigeração e na busca de práticas mais sustentáveis e redução de custos operacionais sugiro esses temas:

- Explorar a viabilidade de integrar fontes de energia renováveis (como solar) para alimentar sistemas de refrigeração (*chiller*), analisando os benefícios e desafios dessa abordagem;
- Realizar uma análise do ciclo de vida dos *chillers* para entender o impacto ambiental total, desde a fabricação até a disposição final, e como isso se relaciona com a eficiência energética.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. (2005). *Handbook fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE. (2018). *Handbook of refrigeration*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2012). *Eletrônica: teoria e prática*. São Paulo: Pearson.

Dossat, R. J., & Horan, T. J. (2001). *Principles of refrigeration*. Prentice Hall.

Gellings, C. W. (2009). *Efficient use and Conservation of energy*. Volume II. Oxford, United Kingdom.

Gillingham, K., Newell, R. G., & Palmer, K. (2016). Energy efficiency economics and policy. *Annual Review of Resource Economics*, 8(1), 133-154. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095548>

Jacobson, M. Z. (2020). *100% Clean Renewable energy and Storage for everythink*. Cambridge University Press: Cambridge

Lemos, F. A. (2022). *Sistemas de climatização e refrigeração: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro: LTC.

Menezes, F., & Costa, J. (2021). *Absorption refrigeration systems: Principles and applications*. Springer.

OLIVEIRA, Eduardo Augusto. (2007). *Controle de Qualidade em Refrigerantes*. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual de Londrina.

Pereira, M. C., Magalhães, F., & Cartaxo, R. (2015). *Sistemas de refrigeração industrial: Princípios e práticas*. Porto: FEUP Edições.

Ribeiro, J. R., & Silva, T. R. (2019). *Refrigeração e ar condicionado: Fundamentos e aplicações industriais*. São Paulo: Edusp.

Sovacool, B. K. (2008). *Valuing the Greenhouse Gas Emissions from Nuclear Power: A Critical Survey*. Energy Policy. Routledge.

Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1982). *Refrigeration and air conditioning*. McGraw-Hill.

Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1985). *Refrigeração e ar condicionado* (J. M. Saiz Jabardo, E. Zerbine, S. de Oliveira Júnior, & S. Ikeda, Trad.). São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2015). *Physics for scientists and engineers*. W.H. Freeman.

Vale, D. A. (2019). *Energia renovável e desenvolvimento sustentável em Moçambique*. Maputo: Centro de Estudos Energéticos.

BIBLIOGRAFIA

- ASHRAE. (2008). *Instrumentation for monitoring central chilled-water plant efficiency*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers;
- Trane, (2009). *Chiller System Design and Control*. Trane;
- Gonçalves, P. R. (2019). *Sistemas de água gelada em edifícios industriais*. Lisboa;
- Landman, W., & Bradley, B. (1996). Off-design chiller performance. *Engineers Newsletter*. Trane;
- Mendes, L., & Silva, A. (2021). Impacto ambiental e eficiência de refrigerantes. *Revista de Engenharia e Ambiente*, 17(3);
- Pereira, F., & Sousa, C. (2020). *Ciclo de compressão de vapor: Aplicações e melhorias na eficiência energética*. Brasília: UnB Press;
- Rodrigues, L. G. G., Cavalheiro, D., Schmidt, F. C., & Laurindo, J. B. (2012). Integration of cooking and vacuum cooling of carrots in the same vessel. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(1), 187-195. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000030>
- Silva, M. A. (2018). *Termodinâmica aplicada à refrigeração industrial*. São Paulo: Atlas;
- Stoecker, W. F., & Jabardo, J. M. S. (2002). *Refrigeração industrial* (2. ed.). São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.
- Vargas, L. C. P., et al (2009). *Projeto do ejector de um sistema de refrigeração por jato de compressão de vapor*. In *Anais do IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica*, Belém, PA.

ANEXOS

Anexo 1: Especificações técnicas

Technical specifications

EWAD~D-SS

TECHNICAL SPECIFICATIONS			EWAD~D-SS	390	440	470	510	530	
Capacity (1)	Cooling	kW		389	436	466	502	532	
Capacity control	Type		---	Stepless					
	Minimum capacity	%		12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	
Unit power input (1)	Cooling	kW		152	164	167	184	194	
EER (1)			---	2.56	2.66	2.79	2.73	2.74	
ESEER			---	3.36	3.54	3.55	3.52	3.52	
IPLV			---	3.75	3.86	3.88	3.85	3.93	
Casing	Colour		---	Ivory White					
	Material		---	Galvanized and painted steel sheet					
Dimensions	Unit	Height	mm	2223	2223	2223	2223	2223	
		Width	mm	2234	2234	2234	2234	2234	
		Length	mm	3139	4040	4040	4040	4040	
Weight	Unit	kg		2960	4030	4220	4230	4230	
	Operating Weight	kg		3090	4195	4395	4395	4395	
Water heat exchanger	Type		---	Single Pass Shell&Tube					
	Water volume	l		130	165	175	165	165	
	Nominal water flow rate	Cooling l/s		18.60	20.80	22.20	24.00	25.40	
	Nominal Water pressure drop	Cooling kPa		45.6	37.9	66.5	47.1	52.1	
	Insulation material			Closed cell					
Air heat exchanger	Type		---	High efficiency fin and tube type with integral subcooler					
Fan	Type		---	Direct propeller type					
	Drive		---	DOL					
	Diameter	mm		800	800	800	800	800	
	Nominal air flow	l/s		32772	32772	43694	43455	43694	
	Model	Quantity	No.		6	6	8	8	8
		Speed	rpm		920	920	920	920	920
Motor input		kW		1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	
Compressor	Type		---	Semi-hermetic single screw compressor					
	Oil charge	l		26	32	32	32	32	
	Quantity	No.		2	2	2	2	2	
Sound level	Sound Power	Cooling dB(A)		95.8	96.7	96.7	96.7	98.2	
	Sound Pressure (2)	Cooling dB(A)		76.5	77.0	77.0	77.0	78.5	
Refrigerant circuit	Refrigerant type		---	R-134a	R-134a	R-134a	R-134a	R-134a	
	Refrigerant charge	kg.		56	60	70	76	82	
	N. of circuits	No.		2	2	2	2	2	
Piping connections	Evaporator water inlet/outlet	mm		139.7	139.7	139.7	139.7	139.7	
Safety devices	High discharge pressure (pressure switch)								
	High discharge pressure (pressure transducer)								
	Low suction pressure (pressure transducer)								
	Compressor motor protection								
	High discharge temperature								
	Low oil pressure								
	Low pressure ratio								
	High oil filter pressure drop								
	Phase monitor								
	Water freeze protection controller								
Notes (1)	Cooling capacity, unit power input in cooling and EER are based on the following conditions: evaporator 12/7°C; ambient 35°C, unit at full load operation.								
Notes (2)	The values are according to ISO 3744 and are referred to: evaporator 12/7°C, ambient 35°C, full load operation.								

Anexo 2: Nomenclatura da DAIKIN

Nomenclatura

	EWW	D	C11	BJ	YN	N	****
Tipo de máquina							
ERA: Unidade de condensação refrigerada a ar							
EWW: Chiller de água embalado, refrigerado a água	┌						
EWL: Chiller de água com condensador remoto	└						
EWA: Chiller refrigerado a ar, para refrigeração							
EWY: Chiller refrigerado a ar, com bomba de calor							
EWC: Chiller refrigerado a ar, para refrigeração, com ventilador centrífugo							
EWT: Chiller refrigerado a ar, para refrigeração, com recuperação de calor							
Refrigerante							
D: R-134a		┌					
P: R-407C		└					
Q: R-410A							
Classe de capacidade em kW (refrigeração)							
É sempre um código de 3 algarismos							
Cap. < 50 kW: sem arredondamento; exemplo: 37 kW => 037							
50 < Cap. < 999 kW: com arredondamento 0/5: 536 kW => 535							
Cap. > 999 kW: utilização do símbolo C (C=100); exemplo: 2578 kW => C26							
Séries dos modelos							
primeiro carácter: letra A, B,...: modificação significativa							
segundo carácter: letra A, B,... : modificação menor DENV							
letra J-W...: modificação menor, série nova							
Tensão							
V1: ~ / 220 - 240 V / 50 Hz							
V3: 1~ / 230 V / 50 Hz							
T1: 3~ / 230 V / 50 Hz							
W1: 3N~ / 400 V / 50 Hz							
Y1: 3~ / 380-415 V / 50 Hz							
YN: 3~ / 400 V / 50 Hz							
Módulo hidráulico/Versão com recuperação de calor/ Opções eléctricas e bomba (software Consult Selection)							
N: Sem componentes hidráulicos							
M: Modular							
A-V: Combinação de opções específicas							
Código de opção (software Consult Selection)							
****: 4 algarismos							
Opção relativa à eficiência da versão ou sonoridade da versão							
/H: Versão para alta temperatura ambiente							
/A: Versão de eficiência elevada							
/Q: Versão com ruído extremamente baixo							
/Z: Versão de eficiência elevada e ruído extremamente baixo							

Anexo 3: Tabela de pressão x temperatura

Pressão / Temperatura

Pressão/temperatura para R-134a							
°C	bar	°C	bar	°C	bar	°C	bar
-14	0,71	12	3,43	38	8,63	64	17,47
-12	0,85	14	3,73	40	9,17	66	18,34
-10	1,01	16	4,04	42	9,72	68	19,24
-8	1,17	18	4,37	44	10,30	70	20,17
-6	1,34	20	4,72	46	10,90	72	21,13
-4	1,53	22	5,08	48	11,53	74	22,13
-2	1,72	24	5,46	50	12,18	76	23,16
0	1,93	26	5,85	52	13,85	78	24,23
2	2,15	28	6,27	54	13,56	80	25,33
4	2,38	30	6,70	56	14,28	82	26,48
6	2,62	32	7,15	58	15,04	84	27,66
8	2,88	34	7,63	60	15,82	86	28,88
10	3,15	36	8,12	62	16,63	88	30,14

Anexo 4: Monitoramento de ocorrências

Monitoramento de ocorrências

Data da Ocorrência	Horário da Ocorrência (h)	Duração da Parada (h)

1. Tipo de ocorrência

1. Descrição da ocorrência	2. Causa provável da ocorrência
3. <u>Accões correctivas adoptadas</u>	
4. <u>Impacto na operação</u>	

5. Observações Adicionais

Responsável pela Correção

Anexo 5: Check List

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO

Ano 2025

Equipamento: Chiller

Componente	Frequência	Data	Atividades de Manutenção	Realizado? (✓/X)	Ajustes Necessários? (Sim/Não)	Observações	Assinatura
Geral	Diária		Limpeza externa do equipamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Inspeção visual rápida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Verificação de resolução de anomalias do dia anterior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Compressor	Mensal		Análise de vibração	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Verificação do nível de óleo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Inspeção de ruídos e temperatura anormais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
	Anual		Análise laboratorial do óleo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Teste do aquecedor do cárter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Condensador	Mensal		Verificação da pressão de condensação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Limpeza da superfície externa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Inspeção visual de corrosão ou danos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
	Anual		Inspeção interna e teste de estanquidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Evaporador	Mensal		Verificação da pressão de evaporação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Inspeção de troca térmica (ΔT entrada/saída)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Limpeza do interior e exterior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
	Anual		Revisão completa dos tubos e conexões	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Válvula de Expansão	Trimestral		Inspeção de funcionamento e resposta à carga térmica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Verificação de sinais de congelamento ou entupimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
			Teste de modulação do fluxo de refrigerante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
	Anual		Substituição preventiva, se necessário	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		

Verificado por: _____

Data: ___/___/___

Anexo 6: Diagrama Funciona

A1		13	DEMA PC	VÁLVULA DE PRESSÃO	6	
A1		12	DEMA PC	UNIÕES	10	
A1		11	DEMA PC	VÁLVULA DE PARAGEM DO LIQUIDO	4	
A1		10	DEMA PC	CONDENSADOR	6	
A1		9	DEMA PC	VÁLVULA DE EXPANSÃO	2	
A1		8	DEMA PC	VISOR	3	
A1		7	DEMA PC	DESUMIDIFICADOR	2	
A1		6	DEMA PC	FILTRO	2	
A1		5	DEMA PC	VÁLVULA DE PARAGEM DE ASPIRAÇÃO	2	
A1		4	DEMA PC	COMPRSSOR	2	
A1		3	DEMA PC	ENTRADA DA ÁGUA	1	
A1		2	DEMA PC	FLUXOSTATO	1	
A1		1	DEMA PC	SAIDA DA ÁGUA	1	
				Documentação		
Folhas	Zona	Ref.	Designação	Nome	Quant	Observ
DEMA - EP - 2025						
					Código	Massa
						Escala
Alt. Executado	Folha	N. Documento	Assinatura	Data	Legenda do Chiller	
		Uamusse	Melcina	06/25		
Verificado		Eng. Matavel			Folha:	N° de folhas
					UEM-FE-DEMA	

