



**FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA
RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PARA
MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
AVAC (AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO)**

Autor:

Tiago Jorge Nhaguilunguane

Supervisores:

Supervisor da UEM: Msc Engº Anacleto Albino

Supervisor da empresa: Paulo Gonçalves

Maputo, de junho 2025



**FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA
RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PARA
MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
AVAC (AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO)**

Autor:

Tiago Jorge Nhaguilunguane

Supervisores:

Supervisor da UEM: Msc Engº Anacleto Albino

Supervisor da empresa: Paulo Gonçalves

Maputo, de junho 202

Resumo

O presente relatório técnico tem como finalidade demonstrar o contributo da automação predial inteligente, através da optimização de um sistema de gestão técnica centralizada (Building Management System - BMS), na melhoria da eficiência energética em sistemas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) do sede do Banco standart Bank localizado na avenida 10 de novembro. O estudo foi conduzido na empresa Politérmica Moçambique, Lda., uma organização de referência no setor das instalações eletromecânicas e sistemas de climatização no mercado moçambicano. Através de um levantamento detalhado da instalação e das necessidades operacionais, foram analisados os diversos subsistemas AVAC existentes, como chillers, UTAs, fan coils, bombas, sensores e variadores de velocidade. Estes foram interligados a uma rede de automação que permite ao BMS recolher, processar e atuar com base em dados em tempo real. A arquitetura proposta integrou controladores programáveis (CLPs), dispositivos de campo (sensores e atuadores), protocolo de comunicação (BACnet/Modbus), painéis HMI, formando um ecossistema inteligente. O trabalho inclui a modelação de circuitos unifilares, diagramas de arquitetura funcional, análise energética comparativa pré e pós-automação, e planeamento de manutenção preditiva com base na monitorização contínua de variáveis críticas como pressão, temperatura, vibração e consumo elétrico. O BMS demonstrou a sua eficácia na deteção precoce de falhas, na redução do tempo de resposta operacional e na optimização dos ciclos de funcionamento dos equipamentos, contribuindo para maior conforto, menor desgaste técnico e economia substancial. Os resultados obtidos indicam uma redução do consumo energético superior a 25%, uma poupança financeira significativa e um tempo de retorno do investimento inferior a 5 meses. Este caso de estudo comprova que a implementação de soluções de automação e BMS, quando bem dimensionadas e ajustadas às necessidades da instalação, conduz a edifícios mais eficientes, resilientes e sustentáveis, em alinhamento com os princípios da engenharia moderna e da gestão inteligente de infraestruturas.

Palavras chave: AVAC, Optimização, PLC, BMS, BACnet/ModBus

Abstract

This technical report aims to demonstrate the contribution of intelligent building automation through the implementation of a Building Management System (BMS) to the enhancement of energy efficiency in HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems. The study was carried out at Polit mica Moçambique, Lda., a leading company in the field of electromechanical installations and climate control systems in Mozambique. Based on a comprehensive survey of the facility and its operational requirements, the existing HVAC subsystems—such as chillers, AHUs, fan coils, pumps, sensors, and variable frequency drives—were analyzed and integrated into an automation network that enables the BMS to collect, process, and act on real-time data. The proposed architecture combines programmable logic controllers (PLCs), field devices (sensors and actuators), communication protocols (BACnet/Modbus), and HMI panels, creating a smart and centralized management ecosystem. The work includes single-line electrical diagrams, functional architecture models, comparative energy analysis before and after automation, and a predictive maintenance plan based on the continuous monitoring of key variables such as pressure, temperature, vibration, and power consumption. The BMS proved effective in early fault detection, reducing operational response time, and optimizing HVAC equipment performance, thereby improving indoor comfort and lowering wear and energy usage. The findings indicate an energy reduction of over 25%, significant cost savings, and a payback period of less than five months. This case study confirms that implementing well-dimensioned BMS and automation strategies tailored to the facility's context leads to more efficient, resilient, and sustainable buildings, aligned with modern engineering practices and smart infrastructure management principles.

Key Words: BMS, PLC Optimization, HVAC, BACnet/Modbus

INDICE

DECLARAÇÃO DA ORIGINALIDADE	Erro! Marcador não definido.
Resumo	i
Abstract	ii
CAPÍTULO I	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Formulação do problema	1
1.3. Justificativa	2
1.4. Objectivos	2
1.4.1. Objectivo geral.....	2
1.4.2. Objectivos específicos	2
1.5. Metodologia	3
1.6 Organização do trabalho	4
CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2. Visão Geral dos sistemas AVAC	5
2.1 Fundamentos do Sistemas AVAC	6
2.2 Componentes Principais dos Sistemas AVAC	6
2.2.1 Chillers	6
2.2.2 Unidades de Tratamento de Ar (UTA)	8
2.2.3 Torres de arrefecimento	9
2.2.4 Caldeiras	9
2.2.5 Condensador a ar	11
2.2.6 Condensador a água	11
2.2.7 Ventiladores e exaustores	11
2.2.8 Conduitas e Difusores de Ar	12
2.2.9 Sensores	13
2.2.10 Controladores e atuadores	13
2.3 Tipos de Sistemas AVAC	14
2.3.1 Sistemas de expansão direta	14
2.3.2 Sistemas VRV	15
2.3.3 Sistemas tudo-ar	16
2.3.4 Eficiência Energética dos sistemas AVAC e sua manutenção	18
2.3.5 Proteção Eléctrica dos sistemas AVAC	20

2.3.6	Indicadores de Desempenho Energético.....	20
2.3.7	Estratégias Técnicas de Melhoria da Eficiência	21
2.3.8	Contributo dos Sistemas Automatizados na Eficiência Energética.....	23
2.3.9	Arquitecturas de Integração e Protocolos de Comunicação	24
2.3.10	Exemplos de Ganhos Energéticos Reais	24
3.	CAPÍTULO III.....	25
3.1	CASO DE ESTUDO	25
3.1.1	Caracterização do edifício.....	25
3.1.2	Localização	25
3.1.3	Condições exteriores.....	26
3.1.4	Condições Interiores	26
3.2	Instalações Eléctricas	26
3.2.1	Tubagem	26
3.2.2	Ventilação.....	26
3.2.3	Conduitas	27
3.2.4	Difusores, Grelhas e Válvulas de Extracção.....	27
3.3	Levantamento das Características Actuais do Sistema AVAC (Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado).....	28
3.3.1	Descrição Geral do Sistema	28
3.3.2	Unidade de tratamento de ar (UTA).....	28
3.3.3	Equipamentos Principais existentes no local	28
3.4	Sistema de Controlo e Automação.....	31
3.4.1	Condições Operacionais Actuais.....	31
3.4.2	Observações Complementares	31
3.5	Funcionamento do Chiller com Base no Setpoint de Temperatura	31
3.6	Problemática	32
3.7	Optimização do sistema AVAC	33
3.7.1	Diagrama de Blocos do BMS Integrado ao Sistema AVAC	33
3.7.2	Previsão de consumo Energético (antes e Depois do BMS)	34
3.7.3	Diagrama Unifilar do sistema AVAC	35
3.8	Tabela comparativa do sistema tradicional vs sistema BMS	37
3.9	Tabela de Pontos de Medida e Controlo (I/O)	38
3.10	Orçamento Estimado para Sistema BMS – África do Sul	39

Fontes de preços e fornecedores:	40
Capítulo IV.....	41
4.1 Conclusões	41
4.2 Recomendações	41
4.3 Limitações do Estudo	42
4.4 Referências Bibliográficas	43
Especificações técnicas do chiller	2
Tipo de VFD instalados no edifício da sede do Standart Bank.....	3
Transformador para a Alimentação do edifício.....	4
Especificações técnicas do transformador.....	5
Tipo de Utas (Unidade de Tratamento de água) instalados no edifício	6
Conduitas instaladas no edifício	7

Lista Símbolos

AVAC - Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

UTA - Unidade de Tratamento de Ar

IEC - International Electrotechnical Commission

ICC - Intensidade de Curto Circuito

UCC - Tensão de Curto Circuito

BMS - Building Management System

VRV – Volume de Refrigerante Variável

VAR - Volume de AR Refrigerado

VFD - Variable Frequency Driver

CLP - Controlador Lógico Programável

HVAC – Heating Ventilation and Air Conditioning

COP – Coeficiente Of Performance

HMI – Human Machine Interface

Lista de Figuras

Figura 1:Exemplo de um chiller de compressão de vapor (Trane).....	7
Figura 2:Exemplo do um chiller de absorção (Rea16).	7
Figura 3: Distribuição de área arrefecida por tipo de sistema AC em edifícios não residenciais	7
Figura 4:Esquema típico de uma UTA.	8
Figura 5:Classificação das torres de arrefecimento de acordo com o tipo de tiragem	9
Figura 6:Esquema representativo de uma unidade do tipo caldeira	10
Figura 7:Esquematização de sistemas split e multisplit	15
Figura 8:Esquematização-exemplo de um sistema VRV	16
Figura 9:Esquematização de sistema VAC tipo multizona	17
Figura 10:Crescimento de vendas de bombas de calor, estimativa de USD para o mercado AVAC	19
Figura 11:Impacto da Redução da velocidade na potência consumida com VFD	22
Figura 12:Edifício da Sede do Standart Bank	25
Figura 13:Diagrama de Blocos do BMS Integrado ao Sistema AVAC	33
Figura 14:Previsão de consumo Energético (antes e Depois do BMS).....	34
Figura 15: Diagrama Unifilar do sistema AVAC	35

Lista de Tabelas

Tabela 1:Resumo dos equipamentos mais comuns referente ao respectivo sistema ...	18
Tabela 2:Comparação das Classes de Controlo segundo a EN 15232	22
Tabela 3: Características técnicas do Chiller	29
Tabela 4:Controlo do Chiller com base no Setpoint de Temperatura:.....	32
Tabela 5:Tabela comparativa do sistema tradicional vs sistema BMS	37
Tabela 6:Tabela de Pontos de Medida e Controlo (I/O)	38

CAPÍTULO I

1.1. Introdução

A crescente necessidade por soluções sustentáveis, económicas e eficientes nas infraestruturas modernas tem colocado os sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) no centro das atenções. Estes sistemas são cruciais para garantir conforto térmico e qualidade do ar interior em edifícios residenciais, comerciais e industriais. No entanto, o seu funcionamento contínuo e, muitas vezes, ineficiente, representa uma fatia significativa do consumo energético global.

A optimização dos sistemas AVAC através de automação possibilita o controlo mais preciso dos parâmetros ambientais, redução do consumo de energia, aumento da vida útil dos equipamentos e maior conforto para os utilizadores. Esta abordagem inclui a implementação de sensores inteligentes, controladores programáveis, sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) e Building Management Systems (BMS), permitindo uma gestão centralizada e eficiente das instalações técnicas.

Este trabalho visa analisar o potencial e os benefícios da integração aplicada nos sistemas AVAC, promovendo uma visão técnica e prática sobre como estas soluções podem ser implementadas de forma eficiente, económica e sustentável, no contexto Moçambicano.

1.2. Formulação do problema

Apesar da crescente utilização de sistemas de climatização, muitos ainda operam de forma isolada, sem ligação entre os seus diversos componentes ou com outros sistemas do edifício. Essa fragmentação gera um desperdício energético considerável, desgaste acelerado de equipamentos e limitações na capacidade de gestão.

A inexistência de integração entre os elementos do sistema — como chillers, ou também chamados de arrefecedores de água ou unidades de arrefecimento de água ventiladores, sensores de humidade, termostatos, compressores e unidades de tratamento de ar — impede uma resposta coordenada e eficiente às variações ambientais e às exigências dos ocupantes do espaço.

Dessa forma, o problema a ser estudado é: **Como se pode otimizar, de forma técnica e economicamente viável, os sistemas de automação aplicados aos equipamentos AVAC da Politérmica Moçambique, de modo a reduzir o**

consumo energético, aumentar o desempenho dos sistemas e prolongar a vida útil dos equipamentos?

Este problema emerge da constatação de que os sistemas actuais apresentam deficiências de integração e controlo inteligente, resultando em desperdício energético e dificuldades operacionais. Com base nesta realidade, torna-se essencial desenvolver uma solução que proponha acções de melhoria fundamentadas em critérios técnicos, económicos e ambientais.

1.3. Justificativa

A optimização dos sistemas AVAC representa uma necessidade urgente num cenário global marcado pela escassez de recursos energéticos e pelas exigências legais de sustentabilidade. Em Moçambique, onde os custos com energia eléctrica são elevados e os sistemas de climatização são amplamente utilizados em edifícios comerciais, torna-se imperativo adoptar tecnologias que promovam o uso racional da energia.

Moçambique, em particular, enfrenta desafios na gestão energética, tornando imperativo o uso de tecnologias que maximizem o rendimento dos equipamentos eléctricos, principalmente em ambientes climatizados. A utilização de sistemas de automação e controlo integrado pode reduzir drasticamente os custos com eletricidade, além de melhorar a longevidade dos equipamentos.

Este estudo justifica-se pela sua relevância prática e académica, uma vez que oferece uma solução concreta para um problema real identificado numa instalação comercial. Ao propor a optimização dos sistemas de automação, contribuir-se-á para a melhoria da gestão energética da empresa, redução de custos operacionais e disseminação de boas práticas no sector de engenharia eletrotécnica.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

- ✓ Optimizar os sistemas de automação em instalações de AVAC supervisionados pela empresa Politérmica Moçambique, com intuito de melhorar a eficiência energética das instalações existentes no caso em estudo.

1.4.2. Objectivos específicos

- ✓ Identificar os principais desafios na eficiência energética em sistemas de AVAC;
- ✓ Analisar o desempenho energético actual dos sistemas de AVAC no caso em estudo em articulação com o sistema BMS existentes;
- ✓ Propor uma solução de automação mais eficiente, com potencial de optimizar o consumo energético e melhorar o controlo operacional do sistema de AVAC.

- ✓ Avaliar a viabilidade técnica e económica da implementação da automação em AVAC;

1.5. Metodologia

Seguindo a estrutura proposta por Lakatos e Marconi, a metodologia será orientada pela abordagem qualitativa, do tipo exploratória e aplicada, desenvolvida em quatro etapas principais:

1.5.1 Pesquisa Bibliográfica: Estudo de referências técnicas, científicas e normativas relacionadas com eficiência energética, automação de sistemas AVAC e integração tecnológica.

Segundo LIMA, a pesquisa bibliográfica, trata-se do levantamento de toda bibliografia já publicada em forma de livros, revistas, publicações em imprensa escrita. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contacto directo com tudo aquilo que foi escrito sobre determinado assunto, com o objectivo de permitir aos pesquisadores, reforço paralelo na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações.

1.5.2 Diagnóstico Situacional: Levantamento das condições actuais dos equipamentos da Politérmica Moçambique, utilizando instrumentos como BMS, termómetros digitais, higrómetros e registos de consumo energético.

➤ Observação directa

Este método de colecta de dados baseia-se na actuação de observadores treinados para obter determinados tipos de informação sobre resultados, processos, impactos etc. Requer um sistema de pontuação muito bem preparado e definido, treinamento adequado dos observadores, supervisão durante a aplicação e procedimentos de verificação periódica para determinar a qualidade das medidas realizadas (BARBOSA, 2008) citado por (CONSTANTINO, 2016). A observação directa baseou-se em forma de visualização dos aspectos importantes para a pesquisa, como, uso de normas CEI 60044-1 e 60044-2 e consulta aos manuais dos fabricantes; Recolha de dados.

1.5.3. Proposta de Optimização: Desenvolvimento de soluções técnicas, com base em boas práticas, para optimização dos sistemas de automação.

1.5.4 Análise de Viabilidade: Avaliação técnica e económica das soluções propostas, incluindo análise comparativa de consumo energético antes e depois da implementação.

1.6 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos, nomeadamente:

CAPÍTULO I: CONSIDERAÇÕES INICIAIS, neste capítulo faz-se uma breve apresentação do trabalho, constando a introdução, a formulação do problema, a justificativa da escolha do tema, os objectivos do trabalho e a respectiva metodologia usada para a realização do mesmo.

CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, para esta secção cabe a apresentação de fundamentos teóricos relacionados com o trabalho a ser desenvolvido.

CAPÍTULO III: EXECUÇÃO DO PROJECTO, constitui a base do projecto, onde se apresentam os cálculos efectuados nos dimensionamentos dos componentes do sistema e explicita-se de maneira pormenorizada o sistema no seu todo.

CAPÍTULO IV: CONSIDERAÇÕES FINAIS, aqui são apresentadas as conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e recomendações para futuros estudos e/ou projectos.

CAPÍTULO V: ANEXOS, são ilustrados os esquemas do projecto, catálogos consultados, assim como algumas especificações técnicas do projecto em causa.

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2. Visão Geral dos sistemas AVAC

A crescente procura por soluções energeticamente eficientes tem conduzido ao desenvolvimento e aplicação de tecnologias inteligentes nos sistemas de climatização, vulgarmente conhecidos por AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). Estes sistemas, tradicionalmente associados ao conforto térmico, têm evoluído para componentes estratégicos na gestão de energia em edifícios comerciais, industriais e institucionais [1].

A integração de sistemas de automação, em particular aqueles que envolvem controlo automático e supervisão à distância, tem ganho destaque por permitir uma regulação mais precisa dos equipamentos, reduzindo perdas energéticas e otimizando o desempenho global das instalações [2]. Neste contexto, o papel do engenheiro eletricitista torna-se central, uma vez que a implementação eficaz destas soluções depende da correta seleção, dimensionamento e parametrização dos sistemas de controlo, sensores, actuadores e interfaces de comunicação.

Os sistemas de Building Management System (BMS), por exemplo, permitem uma supervisão e controlo em tempo real dos consumos energéticos, temperaturas ambiente, humidade relativa, níveis de CO₂, entre outros parâmetros críticos. Esta monitorização contínua favorece a tomada de decisão informada, com impacto directo na redução de custos operacionais e na sustentabilidade ambiental das infraestruturas [3].

A presente revisão bibliográfica tem como objectivo explorar, numa perspetiva eléctrica, a forma como os sistemas de automação podem contribuir para a melhoria da eficiência energética em sistemas de AVAC. Serão analisadas dissertações, artigos científicos e relatórios técnicos recentes, com especial atenção à integração de sensores, controladores programáveis, protocolos de comunicação (como BACnet, Modbus ou KNX) e estratégias de controlo inteligente.

O estudo será orientado para o contexto real de uma instalação comercial, a sede do Standart Bank localizado na avenida 10 de novembro, em Maputo. A empresa responsável pela operação do sistema AVAC é a empresa Politérmica Moçambique - onde se pretende verificar e propor soluções viáveis para melhoria de desempenho energético através de automação no sistema AVAC existente na infra-estrutura. O enfoque será técnico, abordando aspetos como a topologia eléctrica dos sistemas, pontos de consumo críticos, eficiência dos motores eléctricos, harmónicos, correção do fator de potência, entre outros.

Referências (IEEE):

- [1] J. P. Duarte, Eficiência energética em sistemas AVAC: estratégias de operação e controlo, Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2016.
- [2] A. Rodrigues, O contributo dos sistemas de automação e controlo na eficiência energética de um edifício, Dissertação de Mestrado, UC, Coimbra, 2021.
- [3] S. Ferreira, Desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de energia em edifícios com AVAC, IST, Lisboa, 2022.

2 Fundamentos do Sistemas AVAC

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) são responsáveis por garantir o conforto térmico e a qualidade do ar interior em edifícios residenciais, comerciais e industriais. A sua operação envolve a regulação da temperatura, humidade e qualidade do ar, assegurando condições ambientais adequadas ao bem-estar e à produtividade dos ocupantes.

3 Componentes Principais dos Sistemas AVAC

Os sistemas AVAC podem ser centralizados ou descentralizados, e geralmente incluem os seguintes componentes fundamentais:

3.1.1 Chillers

Equipamentos utilizados para o arrefecimento de água que, posteriormente, será usada para arrefecer o ar em unidades terminais (como ventiloconvetores).

Os chillers são equipamentos projetados para remover calor de algo, ou seja, produzir frio. Estamos, portanto, perante uma máquina frigorífica. Estas máquinas são responsáveis pela produção de água gelada para instalações de ar-condicionado e para os circuitos de arrefecimento de instalações industriais.

Nas instalações de climatização, a água gelada produzida nestes equipamentos segue até às unidades de arrefecimento, ou seja, baterias de arrefecimento das UTAs e ventiloconvectores.

O ciclo de refrigeração é a chave principal que diferencia os diversos tipos de chillers. Os chillers de compressão de vapor e de absorção são os dois tipos de ciclos que tipicamente são mais utilizados nas instalações de ar condicionado. Nas Figuras 1 e 2, pode ver-se um exemplo de um chiller de compressão de vapor e um chiller de absorção, respetivamente (Trane, 2012).



Figura 1:Exemplo de um chiller de compressão de vapor (Trane).

Fonte: Lemos



Figura 2:Exemplo do um chiller de absorção (Rea16).

Fonte:Lemos

A utilização deste tipo de equipamentos tem sofrido um aumento ao longo das últimas décadas. Isto acontece devido à maior exigência, do sector terciário em relação ao controlo das condições interiores dos edifícios de modo a proporcionar maior conforto aos ocupantes (Lemos, 2011).

A variedade de sistemas utilizados para arrefecer os edifícios não residenciais é patente na figura 13 abaixo, onde os *chillers* apresentam uma fatia significativa, ou seja, equipamentos que normalmente estão associados a grandes sistemas.

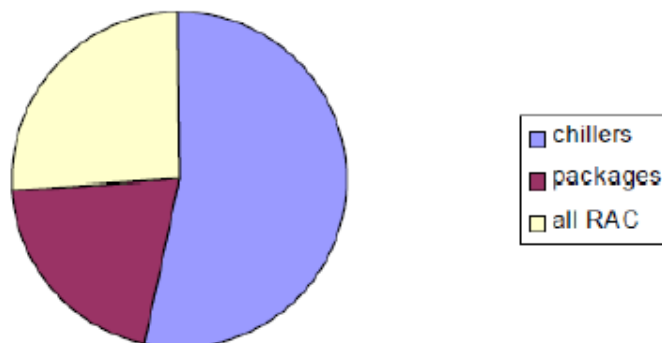


Figura 3: Distribuição de área arrefecida por tipo de sistema AC em edifícios não residenciais

Fonte: (Lemos, 2011)

O mercado ainda se encontra longe de saturação, pelo que se prevê um contínuo aumento da instalação de sistemas de climatização, embora tenham sido efectuados grandes esforços, a nível de construção moderna, de modo que os edifícios necessitem cada vez menos de energia para climatização (Lemos, 2011).

Segundo a Revista Trimestral Energia Moçambique, em 2011 a cobertura eléctrica aos mais de 800mil quilómetros quadrados que perfazem o território moçambicano era de apenas 14 por cento, segundo os dados oficiais de 10 por cento segundo o Banco Mundial. A importância estratégica de que Moçambique goza no campo da energia em África, tem estado a seduzir múltiplas companhias e investidores e o desfecho com êxito do *dossier* HCB (Hidroeléctrica de Cahora Bassa) a servir de “pedra de toque” de todo este “*puzzle*” energético que se vai seguir nos próximos tempos no país.

3.1.2 Unidades de Tratamento de Ar (UTA)

Outro equipamento, integrante do sistema AVAC, responsável por filtrar, aquecer, arrefecer, humidificar ou desumidificar o ar, antes de o distribuir pelos ambientes. Uma unidade de tratamento de ar é uma máquina de produção centralizada de ar condicionado que trata o ar que, normalmente, vai ser fornecido ao edifício através da rede de condutas de ventilação. Existem unidades que também têm a capacidade de retornar o ar que é extraído do edifício. Tratar o ar significa que o ar vai ser fornecido às diversas divisões do edifício com tratamento termo higrométrico e também a nível de qualidade do ar interior (QAI), através de filtragem (AHU magazine, 2015).

Existem duas principais variantes nas unidades de tratamento de ar, a saber (Carpinteiro, 2011):

- UTAs – Efetuam o tratamento do ar resultante da mistura de ar novo (ar exterior), como ar recirculado ou apenas ar recirculado;
- UTANs – Efetuam o tratamento exclusivamente de ar novo.

Estas unidades consistem numa grande caixa metálica, que contém pelos menos um ventilador mecânico (nas UTAs são dois ventiladores: extração e insuflação), um permutador de aquecimento (permite aquecimento sensível), um condensador (permite efetuar arrefecimento e desumidificação) e uma secção de filtragem. Estas unidades podem ter mais e variados componentes, tais como:

- **Pré filtro** – Responsável por filtrar o ar novo, removendo partículas e gases. Evita que se acumule sujidade na unidade de tratamento de ar;
- **Misturador** – Onde se realiza a mistura de parte do ar interior extraído com o ar novo;
- **Separador de gotas** - Necessário em UTANs, cuja velocidade na passagem pelo condensador seja igual ou superior a 2,5 m/s;
- **Humidificador** - Permite efetuar a humedificação do ar através da injeção de vapor de água;
- **Atenuador acústico** - Ajuda a reduzir o ruído provocado pela instalação.

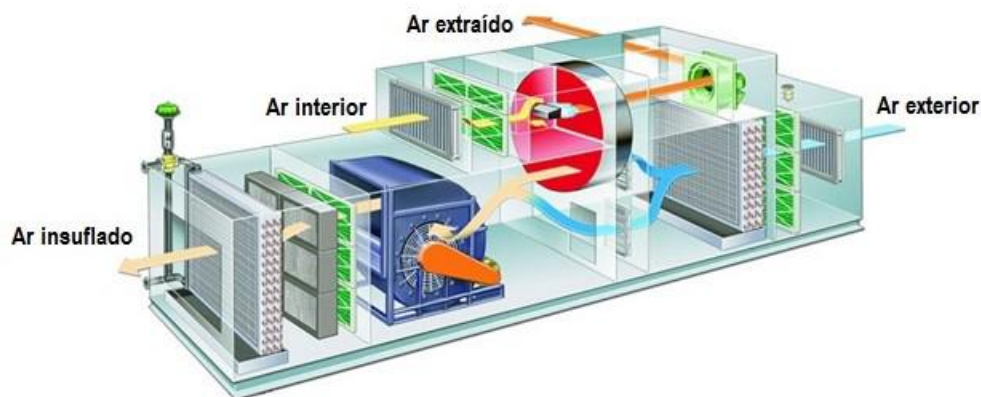


Figura 4:Esquema típico de uma UTA.

Fonte: Adaptado de (Thomas Engineering Inc., 2016).

3.1.3 Torres de arrefecimento

As torres de arrefecimento são convencionalmente utilizadas para libertar para a atmosfera excessos de calor proveniente de processos exotérmicos (Facão, 1999).

As principais aplicações incluem o arrefecimento de água utilizada em refinarias de petróleo, petroquímica e centrais térmicas de instalações de AVAC. Dependendo do processo industrial, fontes de calor residual existentes podem ser agrupadas em diferentes níveis:

- Elevada (acima de 60°C);
- Média (25 – 60°C);
- Baixa (10 – 25°C).

As torres podem ser classificadas de acordo com o tipo de indução do ar na torre. É possível dividi-las em torres de tiragem natural, tiragem forçada ou de tiragem induzida (Figura).

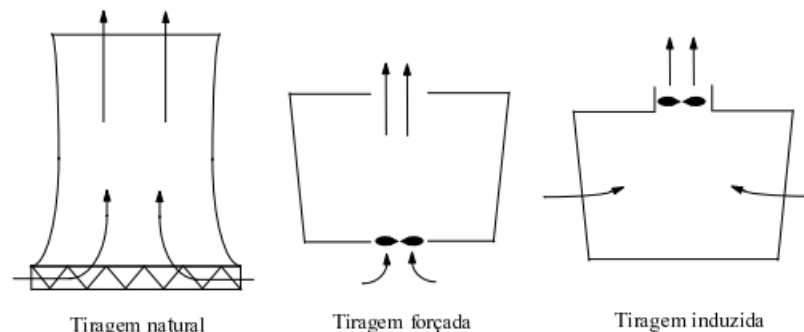


Figura 5:Classificação das torres de arrefecimento de acordo com o tipo de tiragem

Fonte: (Facão, 1999)

Por outro lado, as torres de arrefecimento podem ser agrupadas de acordo com o método de transferência de calor utilizado no processo de arrefecimento. Com base nesta classificação, existem basicamente três tipos de torres de arrefecimento, a saber (Sampaio, 2010):

- Torres de Arrefecimento Secas (*Dry Cooling Towers*);
- Torres de Arrefecimento Híbridas (*Wet-Dry Cooling Towers*);
- Torres de Arrefecimento Evaporativas (*Wet Cooling Towers*).

3.1.4 Caldeiras

Utilizadas para aquecimento de água, sendo mais comuns em sistemas com exigência térmica elevada.

Caldeiras em Sistemas AVAC: Função, Tipos e Controlo Elétrico

As caldeiras são componentes fundamentais em muitos sistemas AVAC, sobretudo nos que requerem aquecimento de água ou ar para climatização. O seu papel é fornecer energia térmica através da combustão de combustíveis (gás, gasóleo, biomassa) ou por meio de resistências elétricas, sendo utilizadas principalmente em edifícios que exigem conforto térmico rigoroso, como hospitais, hotéis e escolas.

3.1.5 Tipos de Caldeiras em AVAC

As caldeiras podem ser classificadas segundo diferentes critérios:

Quanto à fonte de energia:

- Caldeiras a gás (natural ou propano): comuns em instalações urbanas.
- Caldeiras a gasóleo: mais usadas em regiões sem rede de gás.
- Caldeiras elétricas: fáceis de instalar, mas com maior custo de operação.
- Caldeiras a biomassa: alternativa sustentável com elevado rendimento.

Quanto ao funcionamento:

- *Convencionais*: produzem calor contínuo até atingir o ponto de regulação.
- *De condensação*: recuperam o calor latente dos gases de combustão, alcançando eficiências superiores a 100% em PCS.

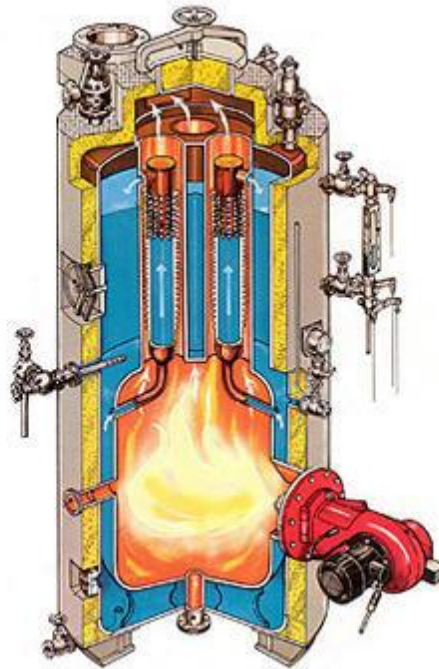


Figura 6:Esquema representativo de uma unidade do tipo caldeira

Fonte: (Energy Efficiency Manual U.S.A1999)

3.1.6 Condensador a ar

Um condensador a ar típico tem o fluido frigorigénio a alta pressão e temperatura a fluir pelo interior dos tubos de um permutador e usa ventiladores como forma de circular ar na tentativa de remoção de calor. Uma variante deste tipo de tecnologia são os condensadores evaporativos em torre fechada.

Com este equipamento, o frigorigénio flui no interior dos tubos de um permutador e são da mesma maneira utilizados ventiladores para fazer circular ar. A diferença reside na existência água a ser borrifada na superfície dos tubos do permutador, como esquematizado na (Figura).

Enquanto o ar passa pelo exterior dos tubos, este faz com que a parte da água evaporada pelo calor que recebe do fluido frigorigénio seja transportada pelo fluxo de ar, melhorando as condições para a transferência de calor. A restante água é geralmente recolhida e borrifada de novo para ser evaporada

3.1.7 Condensador a água

Neste tipo de sistemas o fluido frigorigénio troca calor directamente com um caudal de fluido intermediário, geralmente água. Esta flui em tubos enquanto o frigorigénio quente passa pela superfície dos mesmos. Com a transferência de calor do frigorigénio para a água, dá-se a condensação do primeiro. O calor cedido à água pode ser recuperado, trocado com um meio ou removido pela circulação forçada de ar num permutador ar-água. Uma mistura entre sistemas a água e torres evaporativas são chamadas as torres evaporativas abertas. Nestas, a água que recebeu calor do frigorigénio é borrifada numa zona onde existe um caudal de ar forçado por ventiladores, é estimulada a evaporação e a água que resta cai para um depósito de onde é de novo circulada para o condensador (ver Figura 19). O perigo de contaminação da água é um factor a ter em conta neste tipo de solução.

3.1.8 Ventiladores e exaustores

Promovem a circulação forçada do ar nos ambientes e a renovação do ar interior. Os ventiladores e exaustores são componentes essenciais nos sistemas AVAC, responsáveis pela movimentação do ar. Os ventiladores forçam a entrada de ar climatizado ou de renovação nos ambientes, enquanto os exaustores retiram o ar viciado, poluído ou quente do espaço.

3.1.8.1 Tipos de ventiladores:

- Axiais: para grandes volumes de ar com baixa pressão estática.
- Centrífugos: usados em sistemas que exigem maior pressão (UTAs, grandes edifícios).
- Plug-fans e EC fans: mais eficientes, com controlo eletrónico integrado.

Os exaustores são essenciais em WC, cozinhas industriais, laboratórios e qualquer espaço onde a qualidade do ar possa ser comprometida. A instalação de variadores de frequência (VFD) permite ajustar a velocidade de rotação dos ventiladores conforme a carga térmica e a ocupação, poupando energia.

Importância:

- Controlam o fluxo de ar essencial à climatização.
- Mantêm a qualidade do ar interior (remoção de CO₂ e odores).
- Podem contribuir com até 25% da eficiência energética global do sistema.

3.1.9 Conduatas e Difusores de Ar

As conduatas de ar são o “sistema circulatório” do AVAC, transportando o ar tratado desde as UTAs ou equipamentos de climatização até aos diferentes espaços do edifício. Os difusores, por sua vez, distribuem esse ar nos ambientes, garantindo cobertura uniforme, conforto térmico e acústico.

As conduatas podem ser:

- Circulares metálicas (preferidas por oferecerem menor perda de carga);
- Retangulares galvanizadas (comuns em edifícios comerciais);
- Conduatas flexíveis (usadas para ramificações curtas);
- Pré-isoladas (com maior eficiência térmica e acústica).

O seu dimensionamento deve obedecer às normas de projeto (como a ASHRAE ou CEN), garantindo velocidades de ar adequadas, níveis de ruído reduzidos e perdas mínimas de pressão. O mau dimensionamento pode causar desconforto, ruídos e aumento do consumo energético.

Importância:

- Asseguram a distribuição homogénea do ar climatizado.
- Evitam perdas térmicas e ruídos indesejados.
- Contribuem para a eficiência e durabilidade do sistema.

3.1.10 Sensores

Responsáveis pela medição de variáveis como temperatura, humidade, pressão e qualidade do ar.

Os sensores são dispositivos fundamentais em qualquer sistema de climatização e automação predial. A sua principal função é detetar e medir variáveis físicas do ambiente — como temperatura, humidade, pressão, presença de pessoas ou concentração de gases — e enviar esses dados ao sistema de controlo (como um CLP ou um sistema BMS).

Estes dados permitem que o sistema AVAC ajuste os seus parâmetros de funcionamento de forma contínua e automática, otimizando o desempenho e garantindo conforto térmico, qualidade do ar interior (IAQ) e eficiência energética. Os sensores mais utilizados incluem:

- Sensores de temperatura: instalados em condutas, paredes ou equipamentos, regulam os ciclos de aquecimento e arrefecimento.
- Sensores de humidade relativa: controlam a desumidificação ou humidificação do ar.
- Sensores de CO₂ e VOCs: medem a concentração de poluentes para ajustar a renovação do ar.
- Sensores de pressão diferencial: utilizados em filtros e condutas para verificar entupimentos ou quedas de pressão.
- Sensores de presença/movimento: utilizados em sistemas de ventilação sob demanda.

A correta escolha, posicionamento e calibração dos sensores são cruciais para a fiabilidade do sistema. Em sistemas modernos, sensores conectados via IoT permitem integração em plataformas de gestão técnica com monitorização em tempo real, alertas e análise preditiva.

Importância:

- Permitem respostas automáticas às condições ambientais em constante mudança.
- Garantem conforto térmico e segurança para os ocupantes.
- Reduzem consumos desnecessários, prolongando a vida útil do equipamento.

Belimo (2023). Understanding HVAC Sensors.

TE Connectivity (2022). Sensors for HVAC and Refrigeration Applications.

3.1.11 Controladores e atuadores

Executam comandos de regulação do sistema com base nas leituras dos sensores. Atuadores e Válvulas Motorizadas Os atuadores são dispositivos eletromecânicos que convertem sinais de controlo (elétricos ou pneumáticos) em movimento físico. Nos sistemas AVAC, eles estão geralmente acoplados a válvulas e persianas,

permitindo abrir, fechar ou modular o fluxo de ar ou de água quente/fria conforme as necessidades térmicas do edifício.

3.1.11.1 Tipos de atuadores:

- Elétricos (os mais comuns, alimentados a 24V, 230V, etc.);
- Pneumáticos, utilizados em ambientes industriais;
- Digitais, integrados com sistemas de controlo centralizado (BACnet, KNX, Modbus).

As válvulas motorizadas controladas por atuadores são vitais para a regulação de temperatura em UTAs, fan coils, radiadores e sistemas de piso radiante. A precisão do atuador garante um fornecimento adequado de energia térmica e evita oscilações de temperatura.

Importância:

- Permitem um controlo contínuo e adaptativo do sistema AVAC.
- Melhoram a eficiência energética ao minimizar ciclos desnecessários de operação.
- Reduzem a manutenção ao evitar operações excessivas dos equipamentos.

3.2 Tipos de Sistemas AVAC

Para além dos sistemas Tubo-água (*Chillers*), existem também outras configurações, sendo as mais comuns:

3.2.1 Sistemas de expansão direta

Os sistemas de expansão direta servem-se do fluido primário nos locais a climatizar para absorver ou libertar as cargas térmicas. Para tal, compõem-se de unidades de produção própria. A sua utilização circunscreve-se a pequenas ou grandes residências em zonas únicas ou separadas e ainda a escritórios ou comércio.

A marca distintiva destes sistemas encontra-se na forma como as unidades interiores estão unidas às exteriores e pela utilização do fluido secundário como meio de condensação (ar ou água). No mercado, existem diferentes tipos de máquinas com este sistema: “janela”; consolas; equipamentos divididos; *split/multisplit*; equipamentos portáteis e sistemas de Volume de fluido Frigorígeno Variável, designados por VRF. É habitual os fabricantes distinguirem os *splits* dos outros tipos, mesmo sendo todos eles autónomos em termos de produção.

Os sistemas de expansão direta servem-se do fluido primário nos locais a climatizar para absorver ou libertar as cargas térmicas. Para tal, compõem-se de unidades de produção

própria. A sua utilização circunscreve-se a pequenas ou grandes residências em zonas únicas ou separadas e ainda a escritórios ou comércio.

A marca distintiva destes sistemas encontra-se na forma como as unidades interiores estão unidas às exteriores e pela utilização do fluido secundário como meio de condensação (ar ou água).

No mercado, existem diferentes tipos de máquinas com este sistema: “janela”; consolas; equipamentos divididos; *split/multisplit*; equipamentos portáteis e sistemas de Volume de fluido Frigorígeno Variável, designados por VRF. É habitual os fabricantes distinguirem os *splits* dos outros tipos, mesmo sendo todos eles autónomos em termos de produção.

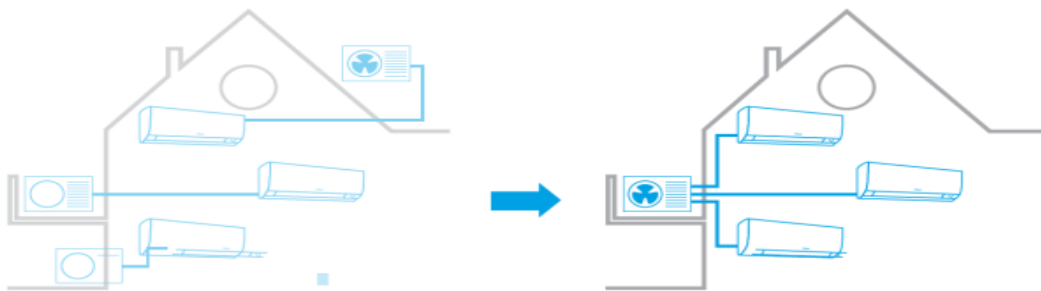


Figura 7: Esquematização de sistemas split e multisplit

Fonte (Catálogo Geral de 2021)

3.2.2 Sistemas VRV

Os sistemas VRV são aqueles que possibilitam regular o funcionamento da instalação em harmonia com as necessidades térmicas de cada espaço. Assim, é garantido um aquecimento ou arrefecimento diferenciado dependendo das necessidades do espaço, possibilitando um ajuste da capacidade de carga para a remoção de calor pontual de forma pouco dispendiosa. A Figura demonstra um exemplo de um sistema VRV.

Compõem-se através de unidades exteriores e unidades interiores conectadas através de vários tubos de fluido refrigerante (existem duas redes de tubos, uma de fluido líquido, outra de vapor), assemelhando-se não só fisicamente aos *multisplits*, mas também em termos de funcionamento: o fluido refrigerante condensa a alta pressão na unidade exterior, libertando as cargas térmicas, sendo distribuído pelas unidades interiores nas quais se evapora a baixa pressão e temperatura, absorvendo, assim, o calor do espaço. As unidades de exterior são dotadas de um sistema de controlo do tipo *inverter* ou de variador de frequência cuja função é a de adaptar a potência frigorífica produzida às unidades interiores. Um dos compressores funciona de forma tudo ou nada, ou seja, ou trabalha à potência máxima ou encontra-se parado, enquanto o outro varia a velocidade de rotação para assim adaptar o caudal de fluido refrigerante às necessidades térmicas.

Os dispositivos de expansão são normalmente do tipo válvula eletrónica pois possibilita a constante regulação do caudal de fluido ao evaporador para corresponder às necessidades térmicas.

Se o sistema não for dotado de recuperação de calor, os tubos reúnem-se em conjuntos de dois. Já se existir recuperação de calor, esse número aumenta para três e usa-se uma caixa de recuperação térmica cuja função é permitir, simultaneamente, o aquecimento e o arrefecimento, definindo também o modo das unidades interiores localizadas abaixo da caixa. Existem vários tipos de unidades de interior (mural, cassete, conduta e chão). A soma da potência destas pode ser superior à capacidade da unidade de exterior pois tal situação está condicionada a fatores de simultaneidade.

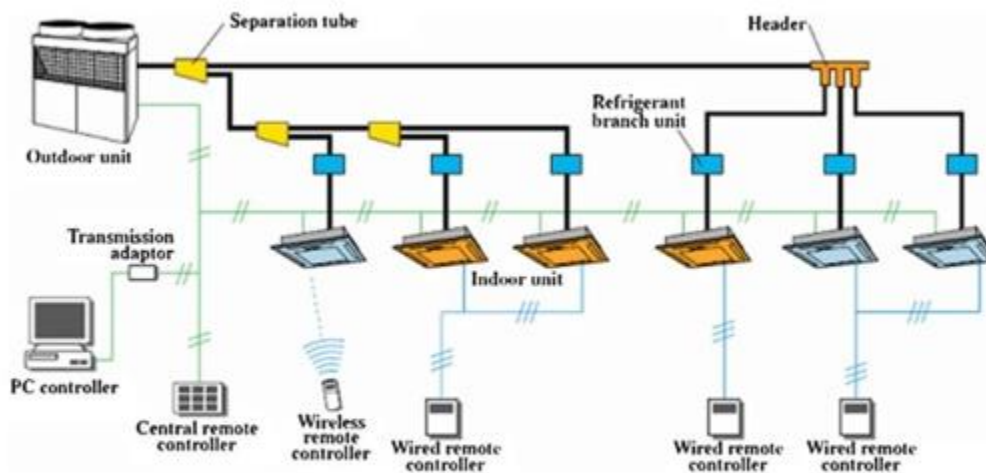


Figura 8: Esquemática-exemplo de um sistema VRV

Fonte: (Catálogo Geral de 2021)

3.2.3 Sistemas tudo-ar

Estes sistemas servem-se de uma corrente de ar frio ou de ar quente como fluído a injetar nos espaços a climatizar, sendo ela quem absorve ou liberta as cargas térmicas nesse espaço. São sistemas centralizados pois compõem-se de um conjunto de unidades centralizadas, localizadas num espaço técnico, cuja função é tratar o ar que é enviado para os espaços (arrefecendo-o ou aquecendo-o, desumidificando-o ou humidificando-o e limpando-o). Existem três soluções de maquinaria centralizada:

1. Caldeira para aquecer a água e *chiller* para a arrefecer; esta é a mais convencional e nela a água circula pela unidade de tratamento de ar (UTA);
2. bomba de calor com modo de aquecimento e de arrefecimento, água-água ligada a uma UTA;

3. bomba de calor com modo de aquecimento e de arrefecimento com ligação direta do fluido frigorigéneo à UTA.

As unidades terminais destes sistemas são elementos de difusão de ar (difusores, grelhas, etc.) e, quando necessário, unidades de controlo de qualidade do ar como comportas.

Classificam-se como elementos intermédios as condutas e os seus acessórios auxiliares.

As UTAs podem funcionar sob dois princípios:

1. Volume de ar constante e temperatura de insuflação variável;
2. Volume de ar variável e temperatura de insuflação constante

A Figura exemplifica um sistema volume de ar constante (VAC).

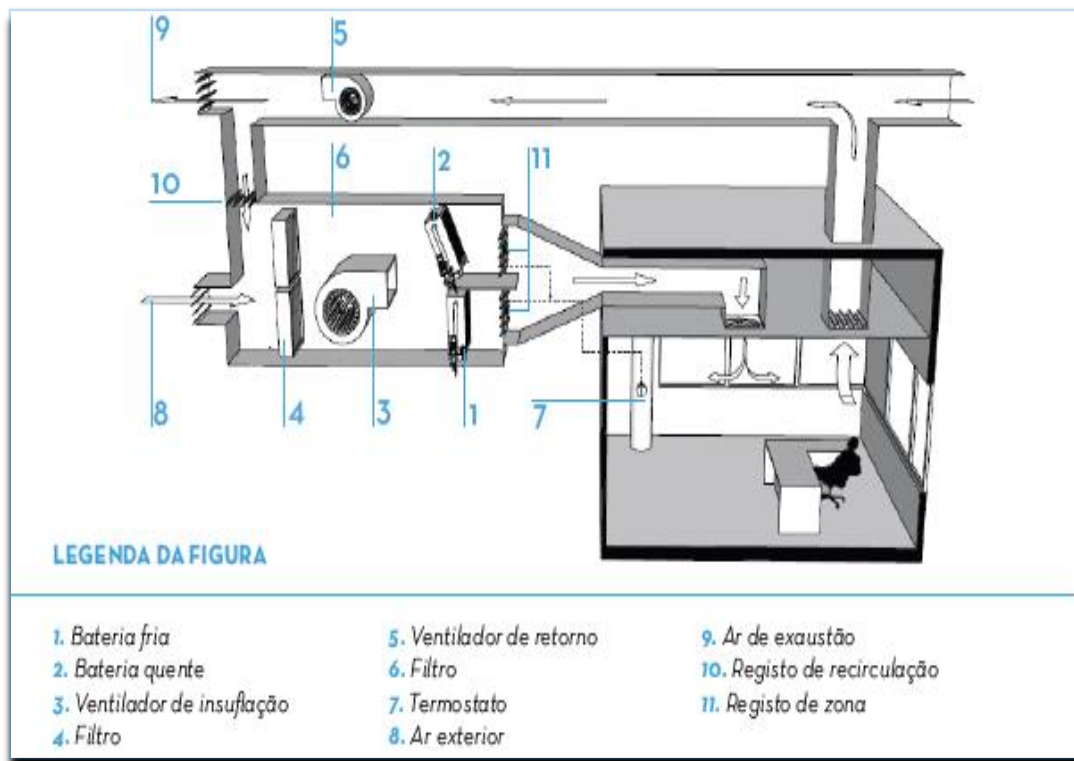


Figura 9:Esquematização de sistema VAC tipo multizona

Fonte Porto:Engebook, 2018.

Segundo a tabela abaixo, pode-se encontrar de uma forma resumida os sistemas de climatização de edifícios: Sistemas Tubo Ar, Sistemas Tubo Água, Sistemas Água-Ar, Sistemas de Expansão Directa e Sistemas Híbridos.

Tabela 1: Resumo dos equipamentos mais comuns referente ao respectivo sistema

Fonte: (Costa, 2018)

Sistemas	Exemplos dos equipamentos mais comuns
Tubo Ar	-UTA; -Roof-top; -Ventiladores; -Cortinas de ar; -Recuperadores de calor.
Tubo Água	-Caldeira; -Radiadores; -Toalheiros.
Água-Ar	-Bomba de calor e Chiller; -Ventiloconvectores.
Expansão directa	-Mono-split; -Multi-split; -VRF (<i>Variable Refrigerant Flow</i>); -Close Control

3.2.4 Eficiência Energética dos sistemas AVAC e sua manutenção

Os sistemas de gestão de energia computadorizada e de controlo são um excelente meio para reduzir as despesas de consumo associadas com a manutenção das condições ambientais nos edifícios de comércio e serviços (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2011). As caldeiras representam um dos principais pontos de consumo energético em edifícios com aquecimento. A sua eficiência pode ser melhorada com:

- Instalação de bombas de velocidade variável nas linhas primárias e secundárias;
- Isolamento térmico eficaz das tubagens e depósitos;
- Controlo por curva climática, ajustando a temperatura da água ao clima exterior;
- Monitorização contínua para deteção de sujidade no permutador, fugas ou excesso de ciclos de ignição.

Para minimizar os custos de funcionamento dos sistemas de climatização existe um controlo de dois níveis. O de nível inferior é um controlo de malha aberta. Por exemplo, a temperatura do ar de entrada, a partir de uma bateria de arrefecimento, é controlada pelo ajuste na abertura de uma válvula que fornece a água arrefecida à bateria. O controlo de nível superior, controlo de supervisão, especifica pontos de ajuste e outros modos, dependentes do tempo de funcionamento (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2011).

A eficiência energética aplicada aos sistemas de climatização representa, actualmente, um vector estratégico fundamental na promoção da sustentabilidade, da racionalização do consumo de energia eléctrica e da mitigação dos impactos ambientais associados à exploração de edifícios comerciais, industriais e habitacionais. Os sistemas AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado – figuram entre os subsistemas com maior

peso no balanço energético das instalações representando, em média 40 a 60% do consumo eléctrico total em edifícios de serviços. Esta percentagem pode ser ainda mais elevada em edifícios com elevada densidade de ocupação ou onde se exijam condições ambientais muito controladas, exigindo, por isso, soluções tecnológicas e operacionais cada vez mais eficientes e integradas.

A crescente necessidade destes sistemas é notório a nível mundial, o que faz com que anualmente gaste-se milhões de dólares a procura dos mesmos.

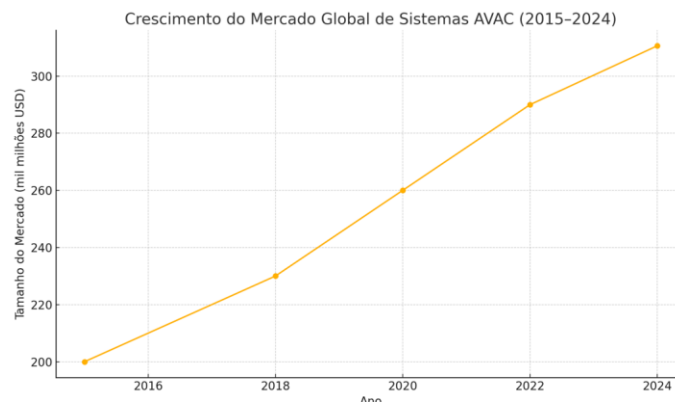


Figura 10: Crescimento de vendas de bombas de calor, estimativa de USD para o mercado AVAC

Fonte: (International Energy Agency) 2024

A vertente eléctrica destes sistemas revela-se determinante para a aferição do seu desempenho global, uma vez que engloba equipamentos de elevado consumo específico, como compressores, ventiladores, motores eléctricos, bombas de circulação, actuadores e dispositivos de comando e protecção. Assim, a abordagem à eficiência energética deve contemplar não apenas o dimensionamento e selecção criteriosa de equipamentos, mas também a optimização dos circuitos eléctricos, a adopção de estratégias de controlo inteligente e a manutenção preventiva orientada por dados.

Sensores de temperatura e pressão ligados a um CLP (Controlador Lógico Programável) ou controlador dedicado, que ajusta a potência da caldeira de acordo com a necessidade térmica da instalação.

Válvulas motorizadas controladas por sinais digitais ou analógicos, para regular o fluxo de água quente para as UTAs, radiadores ou permutadores de calor.

Integração com o **BMS**, que permite:

- Monitorização remota da temperatura da caldeira, consumos e alarmes.
- Geração de gráficos de desempenho térmico.
- Comutação entre caldeiras (em sistemas redundantes).

Referências

M. Fernandes, “Caldeiras Industriais e Eficiência Energética”, Universidade do Minho, 2017.

ISO 22967: Performance and control of heating boilers in building automation.

3.2.5 Protecção Eléctrica dos sistemas AVAC

Do ponto de vista eléctrico, a operação segura e eficiente de caldeiras depende de um sistema de controlo e protecção adequado. Os principais elementos incluem:

- Quadro eléctrico de comando com:
- Disjuntores e relés térmicos de protecção.
- Contadoras para ligação/desligamento das resistências ou bombas de circulação.
- Fontes de alimentação estabilizada (para controladores e sensores).

O papel da engenharia eléctrica é crucial na concepção e operação de sistemas AVAC. A seguir destacam-se os principais aspetos eléctricos:

Alimentação eléctrica dos equipamentos: Os sistemas AVAC, especialmente chillers e UTAs, têm consumos elevados e requerem instalações eléctricas dimensionadas adequadamente.

Protecções eléctricas: Disjuntores, fusíveis e relés de protecção são essenciais para garantir a segurança dos sistemas.

Arranque de motores: Muitos componentes utilizam motores eléctricos (ventiladores, bombas, compressores) que exigem sistemas de arranque (estrela-triângulo, soft starters ou variadores de velocidade).

Controlo e automação: Sistemas como CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e BMS (Building Management Systems) são usados para monitorizar e controlar a operação, garantindo eficiência e segurança.

Eficiência energética eléctrica: O uso de variadores de frequência, sensores de presença e controladores inteligentes contribui para a redução do consumo eléctrico.

3.2.6 Indicadores de Desempenho Energético

A quantificação do desempenho energético de sistemas de climatização é efectuada através de indicadores normalizados, que permitem avaliar a eficácia da conversão da energia eléctrica em energia térmica útil. Destacam-se, entre os mais utilizados:

- **O Coeficiente de Desempenho (COP)**, do inglês *Coefficient Of Performance* que expressa a razão entre a potência térmica fornecida e a potência eléctrica consumida (ex: um sistema com COP=3 fornece 3 kW térmicos para cada 1 kW eléctrico consumido).

$$COP = \frac{P_{Frigorifica}}{P_{Electrica}} \quad \text{equação 1}$$

- **O Coeficiente de Eficiência Energética Sazonal (SEER)**, que considera as variações sazonais de carga e temperatura.
- **O Índice de Eficiência Energética (IEE)**, utilizado frequentemente para classificar a eficiência de equipamentos segundo a Directiva Europeia ErP (2009/125/CE).

Fontes de Ineficiência e Padrões de Consumo

A ineficiência energética nos sistemas AVAC pode decorrer de múltiplas causas, que se manifestam tanto ao nível do projecto como da exploração. Entre as principais fontes de desperdício energético salientam-se:

- O sobredimensionamento ou subdimensionamento dos componentes electromecânicos, que conduz a regimes de funcionamento subóptimos e cíclicos;
- A ausência de dispositivos de regulação e modulação da carga, como variadores de velocidade (VSD) em motores de ventiladores e bombas, resultando em consumos desnecessários durante períodos de carga parcial;
- A instalação de equipamentos com baixos níveis de rendimento nominal, em desacordo com as classes mínimas definidas na legislação europeia (por exemplo, motores IE1 já não são permitidos na UE desde 2017);
- O funcionamento contínuo de sistemas em ausência de carga térmica real, frequentemente associado à falta de automação, sensores de ocupação ou controlo por temperatura e humidade relativa;
- A degradação do isolamento térmico e a acumulação de sujidade nos permutadores e condutas, originando perdas de carga e consumo adicional de potência.

3.2.7 Estratégias Técnicas de Melhoria da Eficiência

Para alcançar níveis elevados de eficiência energética nos sistemas de climatização, é imprescindível a adopção de uma abordagem integrada, suportada por regulamentação técnica e ferramentas de monitorização contínua. As seguintes estratégias técnicas são amplamente recomendadas:

- Substituição de motores eléctricos convencionais por modelos de alta eficiência energética (IE3 ou IE4), que podem representar reduções de consumo entre 5% e 15%;
- Instalação de variadores de frequência (VFD), permitindo ajustar o funcionamento à carga real: por exemplo, uma redução de 20% na velocidade de um ventilador pode resultar numa poupança superior a 50% no consumo eléctrico, devido à relação cúbica entre potência e velocidade (Lei de Afinidade);
- Implementação de um sistema de gestão técnica centralizada (BMS) conforme a norma EN 15232, que quantifica o impacto dos sistemas de automação na redução do consumo energético – segundo esta norma, um edifício com controlo AVAC em Classe A pode obter poupanças até 30% face a um edifício com controlo convencional (Classe D);
- Aplicação da norma ISO 50001, que estabelece um Sistema de Gestão da Energia (SGE), promovendo a melhoria contínua da performance energética com base em dados reais de consumo, metas de redução e planos de acção documentados;

- Realização periódica de auditorias energéticas, de preferência com instrumentação de qualidade de energia (harmónicos, factor de potência, desequilíbrios), permitindo a identificação de perdas eléctricas escondidas e acções correctivas baseadas em medição real.

Estas estratégias, aliadas a um planeamento energético coerente e à formação técnica dos operadores, contribuem para a valorização do sistema AVAC como elemento central da eficiência global do edifício, garantindo simultaneamente o conforto térmico e a sustentabilidade ambiental.

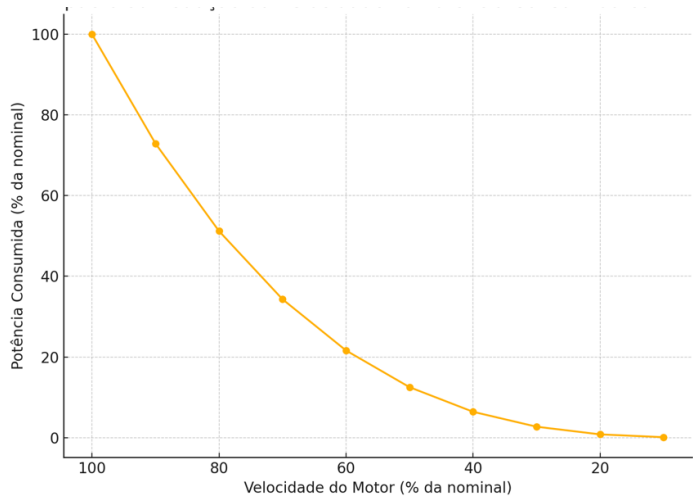


Figura 11: Impacto da Redução da velocidade na potência consumida com VFD

Fonte: (International Energy Agency) 2024

O gráfico ilustra a variação cúbica entre a velocidade e a potência devido a sua relação cúbica.

Tabela 2: Comparação das Classes de Controlo segundo a EN 15232

Fonte: o autor

Classe	Descrição	Poupança Energética Estimada
Classe A	Controlo Automatizado avançado com (BMS e regulação)	30%
Classe B	Controlo Automatizado standard	20%
Classe C	Controlo manual ou parcialmente automatizado	10%
Classe D	Controlo básico ou inexistente	0%

A norma europeia EN 15232 classifica os edifícios em função do nível de automação e controlo técnico aplicado aos sistemas AVAC e outros subsistemas energéticos. Edifícios com sistemas de controlo avançado (Classe A), como os suportados por BMS com

regulação por zonas e sensores inteligentes, podem alcançar até 30% de redução no consumo energético comparativamente aos edifícios com controlo básico (Classe D). Esta categorização é um referencial importante na definição de estratégias de reabilitação e projecto de sistemas com elevada eficiência.

A integração de sistemas de automação nos sistemas AVAC constitui uma abordagem moderna e eficaz para maximizar a eficiência energética, otimizar os processos de controlo e melhorar o desempenho operacional dos edifícios. Esta integração permite o funcionamento coordenado entre os diversos subsistemas técnicos – nomeadamente climatização, iluminação, ventilação e energia – através de controladores programáveis, sensores distribuídos e plataformas de supervisão centralizada.

A automação dos sistemas AVAC actua como um facilitador para a redução do consumo energético, ao garantir que os equipamentos apenas funcionem quando necessário, e que o façam segundo lógicas de controlo dinâmico adaptadas à ocupação real, às condições ambientais e ao perfil de carga térmica da instalação.

3.2.8 Contributo dos Sistemas Automatizados na Eficiência Energética

A aplicação de sistemas de controlo automático permite ganhos energéticos consideráveis, sobretudo quando comparada com instalações com operação manual ou limitada. O uso de sensores de temperatura, humidade, CO₂, presença e luminosidade natural, possibilita uma regulação fina dos parâmetros de conforto e a sua adaptação em tempo real.

Além disso, os controladores programáveis (PLCs, DDCs ou controladores livres de aplicação) e os sistemas supervisórios SCADA ou BMS permitem a gestão centralizada de múltiplos equipamentos, assegurando a execução de rotinas como:

- Paragens automáticas fora do horário de funcionamento;
- Modulação da carga térmica em função da ocupação por zona;
- Comutação entre fontes de energia (ex. prioridade à energia solar térmica ou fotovoltaica);
- Alarmística e diagnóstico precoce de falhas ou desvios de consumo.

Estas funcionalidades contribuem não só para a poupança energética directa, como também para a redução de picos de potência, aumento do factor de potência da instalação e minimização de harmónicos nos circuitos eléctricos, quando associados a dispositivos de controlo de qualidade de energia.

3.2.9 Arquitecturas de Integração e Protocolos de Comunicação

A comunicação entre os vários componentes do sistema é assegurada por protocolos abertos ou proprietários, como BACnet, Modbus, KNX, LonWorks, entre outros. Estes protocolos permitem a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes e a agregação de dados num sistema centralizado, essencial para uma gestão energética eficaz.

As arquitecturas mais comuns para a integração de sistemas incluem:

- Sistemas distribuídos com múltiplos controladores locais interligados a um servidor central;
- Sistemas hierárquicos, onde níveis diferentes de controlo (local, intermédio e central) operam em cascata;
- Soluções baseadas em IoT, com sensores inteligentes e conectividade em nuvem, cada vez mais utilizadas em edifícios com requisitos de flexibilidade e monitorização remota.

3.2.10 Exemplos de Ganhos Energéticos Reais

Estudos de caso realizados em edifícios de escritórios, hospitais e centros comerciais demonstram que a integração de sistemas de automação pode reduzir o consumo energético global dos sistemas AVAC em 15% a 40%, dependendo do grau de sofisticação do sistema e da condição pré-existente da instalação.

Segundo dados da ASHRAE e da IEA (International Energy Agency), edifícios com automação de classe A (segundo a EN 15232) e controlo activo da ventilação, da climatização e da iluminação, apresentam uma poupança média de 25% a 30% em energia final, face a edifícios sem controlo automatizado.

3. CAPÍTULO III

3.1 CASO DE ESTUDO

Este capítulo aborda todas as questões relacionadas com o caso de estudo: a caracterização do edifício e o zonamento climático, as soluções construtivas e sua verificação, os ganhos internos e os consumos foram obtidos através das medições e consulta do contador, e a proposta da integração de um SGI. (Sistema de Gestão Interno)

3.1.1 Caracterização do edifício

O objecto de estudo trata-se de um imponente edifício moderno de sete pisos, com fachada frontal de vidro, comportando todos os serviços centrais do Banco, nomeadamente escritórios, salas de reuniões, incluindo parques de estacionamento.

Das características do edifício destacam-se os grandes vãos envidraçados, existentes em praticamente toda a fachada do edifício.

A área bruta de implementação do edifício ronda os 7942m², erguendo-se acima do nível do chão em cerca de 26m. A área total útil do edifício é de 13942m², dos quais 7211m² se pretende climatizar.

Os 3 níveis de parque têm capacidade para 256 viaturas.

3.1.2 Localização

O edifício localiza-se na Baixa da cidade de Maputo, na Av. 10 de Novembro nº 420, conforme o ilustrado na figura 28 abaixo. A distância do edifício ao mar é cerca 150m, o que obriga ao cuidado na selecção dos materiais e equipamentos.



Figura 12:Edifício da Sede do Standart Bank

Fonte: google

3.1.3 Condições exteriores

Os valores de temperatura e humidade exteriores considerados foram retirados da publicação do site *Weather Spark* que apresenta o clima e condições meteorológicas médias em Maputo:

Inverno: Temperatura máxima=25°C, Temperatura mínima=18°C

Verão: Temperatura máxima=32,3°C, Temperatura mínima=21°C

3.1.4 Condições Interiores

O objectivo primordial deste trabalho é garantir um ambiente de elevado conforto para os seus ocupantes, de modo que estes possam executar as suas tarefas de forma progressiva. Para tal, tomam-se valores convencionais de temperatura do ar interior capazes de satisfazer as exigências de conforto térmico ambiente requeridas.

Relativamente à humidade do ar interior, não se prevê um controle efectivo, mas apenas resultante do tratamento térmico a que o ar é sujeito.

3.2 Instalações Eléctricas

Estão previstos quadros eléctricos distribuídos ao longo dos pisos (um para cada sala de *UTA*, outros que irão assegurar a alimentação e o controle dos diversos equipamentos). Nestes encontram-se instalados todos os equipamentos e cablagens necessários ao bom funcionamento dos equipamentos mecânicos, sejam a 230/400V ou 24V.

3.2.1 Tubagem

A distribuição de água é projectada pelo método de perda de carga constante e tomando como referência o caudal de água que nela circula e, consoante os casos, o diferencial de temperatura anteriormente indicado.

É dimensionada considerando os caudais envolvidos e uma velocidade de circulação da água que poderá variar, conforme os diâmetros de 0,5 a 2,5 m/s, de forma a manter uma perda de carga de aproximadamente 250Pa/m. **Apendices**

3.2.2 Ventilação

O dimensionamento e selecção das unidades de tratamento de ar novo, são realizados tomando em consideração os caudais de ar envolvidos, e as perdas de carga associadas às respectivas redes aerólicas.

3.2.3 Conduatas

Dimensionam-se as conduatas levando em conta o caudal e os locais por onde circulam. Para o efeito, foram dimensionadas pelo método de igual perda de carga que varia entre 0,70Pa/m a 0,9Pa/m, segundo as normas SMACNA. **Anexo A1-7 e Apendices.**

3.2.4 Difusores, Grelhas e Válvulas de Extracção

Os difusores são dimensionados considerando os caudais previstos e o correcto alcance do seu fluxo, de modo a garantir a insuflação, com a velocidade máxima admissível de 0.20m/s na zona ocupada. As grelhas e as válvulas de extração são dimensionadas levando em consideração os caudais de ar previstos, devendo a velocidade máxima de passagem admissível ser de 2 a 3m/s.

Tanto na insuflação como na extracção, o nível de ruído máximo deverá ser o admissível para o espaço que servem.

3.3 Levantamento das Características Actuais do Sistema AVAC (Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado)

3.3.1 Descrição Geral do Sistema

O presente levantamento técnico visa descrever as principais características do sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) atualmente em operação na instalação sob estudo.

O sistema AVAC da instalação em análise é do tipo centralizado, concebido para garantir condições adequadas de conforto térmico e qualidade do ar interior nas zonas administrativas e operacionais.

O circuito de água gelada é responsável pelo transporte de energia térmica entre a unidade de produção (chillers) e os diversos equipamentos terminais. O circuito de ar trata e distribui o ar condicionado através das UTAs e respetivas redes de condutas.

3.3.2 Unidade de tratamento de ar (UTA)

Foram instaladas 32 unidades de tratamento de ar novo com recuperação de energia térmica do ar extraído dos espaços aos quais estão afectas e reutilizam-na para arrefecimento primário do ar insuflado, através uma permuta entálpica. Estas UTAs, (**Anexo A1-6**) construídas com chapa de aço galvanizado com painel duplo de 0.9mm, com isolamento térmico e acústico de 50mm de espessura têm a seguinte composição:

- Registo de caudal de lâminas opostas para a regulação de ar quer na insuflação, quer na extracção;
- Filtros com rede nas duas faces e filtrina 600x600, 600x300 e 300x300 com aros;
- Ventiladores de insuflação e extracção de ar, de dupla entrada com pás de curvatura recuada, e motores eléctricos trifásicos
- Recuperador de calor do tipo ar/ar, estático, de fluxos cruzados;

3.3.3 Equipamentos Principais existentes no local

- Chiller(es): Modelo: TRANE RTAF 125 SN, Capacidade frigorífica: [kW], Tipo: Compressão/Absorção,
- Localização: Localiza-se por detrás do edifício no lado direito. **Anexo A1-1.**
- UTAs: N.º de unidades: 32, Funções: Filtração, Aquecimento, Arrefecimento, Humidificação.
- Ventiloincutores: Tipo: 2 tubos / 4 tubos, Localização: Em todos os pisos (ventiloincutores →SAD)
- Bombas de circulação: Tipo: Centrífugas, Controlo: Manual com VFD
- Condutas e difusores: Tipo: linear/grelhas, Isolamento: Sim

Tabela 3: Características técnicas do Chiller

Fonte: o autor

Características técnicas	Chiller de compressor de parafuso refrigerado à ar
Condensação	Ar
Corrente max de funcionamento	322A
Tensão	400V
Frequência	50 Hz
Corrente de Curto Circuito	35KA
Fluído refrigerante	R134A
Óleo	0023E/48E
Construção/Composição	Estrutura da base onde são fixos os componentes da unidade em aço galvanizado revestido com pintura peraluman
Quantidade de compressores	2
Quantidade de circuitos frigoríficos	2
Número de escalões Grupo hidráulico	2
Evaporador	Construído em aço inox do tipo soldado por brasagem, com envolvente isolada por polietileno celuloso com revestimento anti-condensação em neoprene e resistência anti-gelo
Condensador	Construído por serpentina em tubo de cobre no interior do parafuso
Visor de líquido	sim
Válvulas de expansão termostática com equalização externa	sim
Válvula de segurança de alta e baixa pressão	sim
Pressostatos de alta e baixa pressão	sim
Manómetros de alta e baixa pressão	sim
Válvula solenoide na linha de líquido	sim

Cálculos:

Conforme anteriormente descrito, o COP é a razão entre a **capacidade útil de arrefecimento (ou aquecimento)** que o chiller produz e a **energia elétrica** que consome para o fazer.

Fórmula:

$$COP = \frac{P_{Frigorifica}}{P_{electrica}} \quad \text{equação (2)}$$

Com base no catálogo da máquina o tem uma corrente máxima de funcionamento de 322A a uma tensão de 400V (trifásico).

1. Cálculo da potência eléctrica de Entrada (Kw)

$$S = \sqrt{3} \times U \times A \quad \text{equação (3)}$$

$$S = \sqrt{3} \times 400 \times 322 = 223.1KVA \quad \text{equação (4)}$$

Convertendo para potência activa (Kw), multiplicando pelo factor de potência (**cos φ=0.85**) teremos:

$$P = 223.1 \times 0.85 = 189.7KW \quad \text{equação (5)}$$

2. Para encontrar a capacidade de arrefecimento (Kw): consultando o manual técnico do chiller é de 550 Kw (cerca de 160 toneladas de refrigeração).

3. Cálculo do COP:

$$COP = \frac{P_{Frigorifica}}{P_{electrica}} = \frac{550 KW}{189.7KW} = 2.9 \quad \text{equação (6)}$$

Interpretação: Um COP de 2.9 significa que para cada 1kw de energia eléctrica consumida, o chiller produz 2.9 Kw de capacidade de arrefecimento.

3.4 Sistema de Controlo e Automação

O sistema é controlado por automação baseada em CLPs e sensores de temperatura, humidade e pressão.

3.4.1 Condições Operacionais Atuais

- Funcionamento: Manual
- Eficiência: Presença de estratégias de controlo energético
- Manutenção: Mensal/Trimestral/Anual de acordo com o tipo de equipamento.

3.4.2 Observações Complementares

- Possibilidade de modernização de sensores e válvulas
- Potencial para maior eficiência com controlo inteligente
- Necessidade de uniformizar a distribuição térmica

3.5 Funcionamento do Chiller com Base no Setpoint de Temperatura

O chiller em operação na instalação está configurado para funcionar com base num controlo de temperatura por setpoint, permitindo uma gestão mais eficiente do consumo energético e garantindo a estabilidade térmica do sistema de climatização. O setpoint definido é de 6°C, valor que corresponde à temperatura alvo da água gelada no circuito hidráulico.

O funcionamento do equipamento segue a seguinte lógica:

- O chiller permanece em funcionamento contínuo enquanto a temperatura da água de retorno se mantiver acima do valor de setpoint (6°C);
- Quando a temperatura da água atinge o valor de 6°C (ou inferior, dependendo da histerese definida no controlador), o compressor do chiller é desativado ou entra em modo de standby;
- O reinício do ciclo ocorre quando a temperatura volta a subir acima de um valor de tolerância (ex: 6,5°C), ativando novamente o compressor.

Este método garante uma melhor regulação da temperatura da água gelada e evita ciclos desnecessários, aumentando a vida útil do equipamento.

Tabela 4: Controlo do Chiller com base no Setpoint de Temperatura:

Estado do Sistema	Temperatura da Água de Retorno	Ação do Chiller
Normal (funcionamento)	> 6°C	Compressor ligado
Em standby	= 6°C	Compressor desliga
Rearranque	> 6,5°C	Compressor volta a ligar

O valor de rearme (ex: 6,5°C) depende da configuração de histerese definida no painel de controlo do chiller.

3.6 Problemática

Para a proposta de melhorias e realização de gestão continuada da energia, o levantamento de características não é suficiente para um trabalho eficiente. Deste modo, o conhecimento de boas práticas para os diferentes equipamentos é também de grande importância no combate ao consumo desnecessário de energia.

O sistema AVAC funciona maioritariamente em regime diurno, alinhado com o período de maior ocupação das instalações. A paragem ao fim de semana representa uma prática eficiente. É recomendável integrar sensores de presença ou temperatura para melhorar ainda mais o desempenho.

3.7 Optimização do sistema AVAC

3.7.1 Diagrama de Blocos do BMS Integrado ao Sistema AVAC

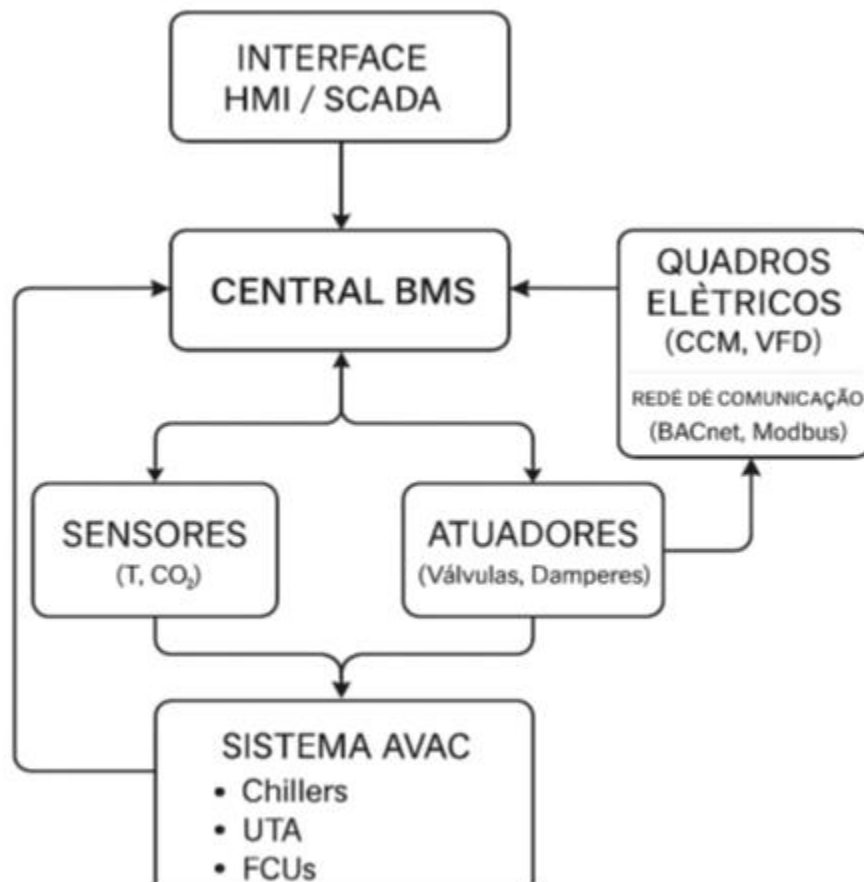


Figura 13:Diagrama de Blocos do BMS Integrado ao Sistema AVAC

Fonte: o autor

Este diagrama ilustra o funcionamento de um sistema BMS (Building Management System) interligado a um sistema AVAC. No centro está a Central BMS, que comunica com diferentes subsistemas, de acordo com o seguinte princípio de funcionamento:

1. A interface HMI/SCADA envia comandos e configurações para a Central BMS, permitindo o controlo esupervisão remota.
2. A Central BMS recolhe dados dos sensores (como temperatura e CO₂), que monitorizam o ambiente.

3. Com base nas leituras dos sensores e na lógica de controlo, o BMS envia comandos aos atuadores (como válvulas e dampers).
4. A Central BMS também interage com os quadros elétricos (CCM, VFD), para ajustar o fornecimento de energia aos equipamentos AVAC.
5. O sistema AVAC, composto por chillers, UTAs, FCUs e torres de arrefecimento, é comandado e monitorizado em tempo real.
6. A rede de comunicação (ex. BACnet, Modbus) garante a interligação entre os dispositivos e o BMS.

As setas indicam o fluxo de dados e sinais de controlo entre os blocos, representando um ciclo contínuo de monitorização e atuação, fundamental para a eficiência energética e operacional do sistema.

3.7.2 Previsão de consumo Energético (antes e Depois do BMS)

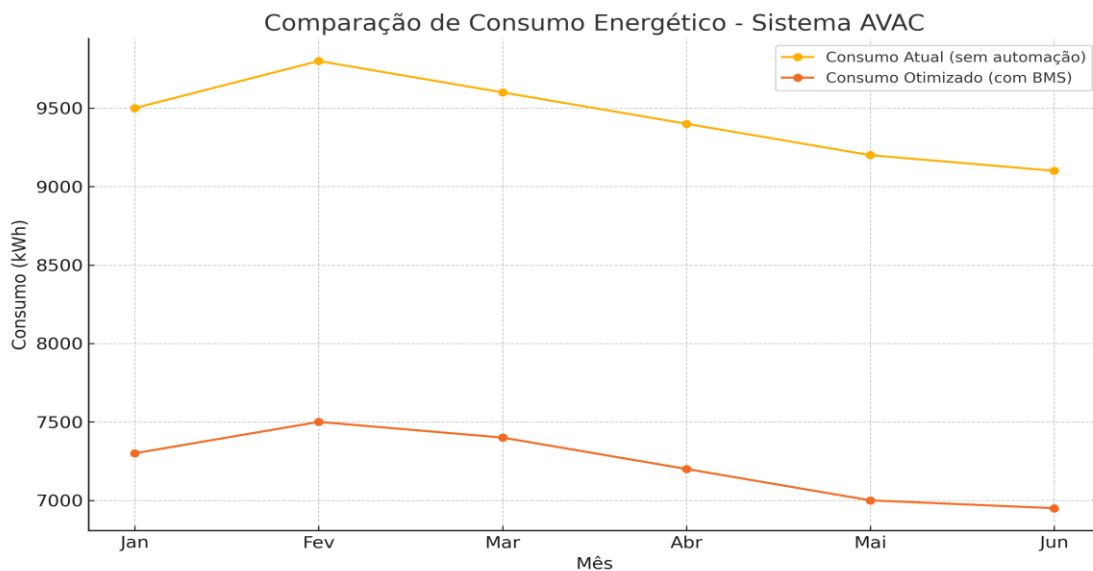


Figura 14: Previsão de consumo Energético (antes e Depois do BMS)

Fonte: o autor

O gráfico apresentado ilustra a comparação mensal do consumo energético do sistema AVAC, considerando dois cenários distintos: a operação atual sem automação integrada e a operação otimizada após a implementação de um sistema BMS (Building Management System).

Nota-se uma redução significativa do consumo em todos os meses analisados, com valores médios que apontam para uma poupança energética entre 20% e 25%. Esta melhoria é atribuída à atuação inteligente do BMS, que ajusta dinamicamente os parâmetros de funcionamento dos equipamentos, reduzindo os tempos de operação desnecessários, desligando automaticamente componentes durante períodos de inatividade e regulando com precisão a temperatura, ventilação e humidade com base em sensores distribuídos nos espaços climatizados.

No cenário atual, os sistemas operam com base em controlo manual ou automatismos locais básicos, sem coordenação global nem reação às variações das cargas térmicas. Isto conduz a ciclos excessivos de operação, sobreaquecimento ou arrefecimento desnecessário e um desgaste prematuro de componentes

Com a implementação do BMS, os dados em tempo real fornecidos por sensores de temperatura, humidade e CO2 permitem uma atuação eficaz por parte dos controladores, modulando válvulas, variadores de velocidade e ventiladores de forma eficiente.

Esta abordagem permite também o funcionamento coordenado de chillers, UTAs e ventiloconvectores, garantindo o mínimo consumo possível para alcançar os níveis de conforto definidos. Adicionalmente, a integração de funções de gestão de energia, como o controlo por horários, alarmes de funcionamento anómalo e comutação entre fontes de energia, potencia ainda mais os ganhos obtidos.

A análise demonstra que a aplicação da automação baseada em BMS traduz-se não apenas em economia direta nos custos de energia, mas também em benefícios colaterais como a redução de manutenção corretiva, a previsibilidade operacional e o alinhamento com as metas de sustentabilidade energética. Trata-se de uma solução com retorno rápido e elevado impacto operacional.

3.7.3 Diagrama Unifilar do sistema AVAC

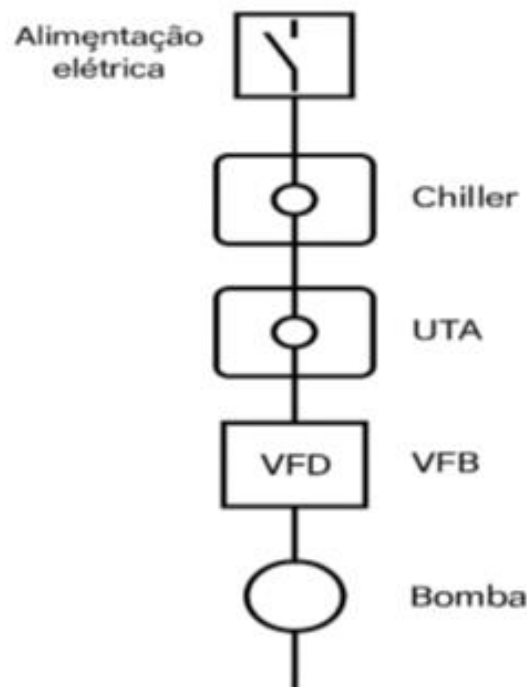


Figura 15: Diagrama Unifilar do sistema AVAC

Fonte: o autor

O diagrama unifilar do sistema AVAC apresentado ilustra de forma simplificada o circuito elétrico principal de alimentação e controlo dos componentes fundamentais do sistema de climatização.

A alimentação elétrica é fornecida a partir do quadro geral ou subquadro técnico, sendo distribuída para os diversos equipamentos através de proteções e dispositivos de corte adequados. O circuito mostrado liga-se a três principais componentes do sistema AVAC:

- Chiller: responsável pela produção de água fria para arrefecimento;
- UTA (Unidade de Tratamento de Ar): encarregada da ventilação, filtragem e eventual aquecimento/arrefecimento do ar;
- Bomba de circulação: regulada por um Variador de Velocidade (VFD) para ajustar o caudal consoante a carga térmica requerida.
- O VFD desempenha um papel essencial na eficiência energética do sistema, ao permitir o funcionamento proporcional às necessidades reais, reduzindo consumos e esforços mecânicos.

Este tipo de representação unifilar é fundamental para o dimensionamento, operação e manutenção das instalações elétricas de sistemas AVAC, facilitando a leitura por técnicos e engenheiros.

3.8 Tabela comparativa do sistema tradicional vs sistema BMS

A tabela seguinte apresenta uma análise comparativa entre os sistemas AVAC tradicionais e os sistemas otimizados com BMS (Building Management System). Esta comparação destaca as vantagens operacionais, energéticas e funcionais que um BMS pode introduzir na gestão de climatização e conforto de edifícios.

Tabela 5: Tabela comparativa do sistema tradicional vs sistema BMS

Fonte: o autor

Critério	Sistema Tradicional	Sistema com BMS
Eficiência Energética	- Baixa. - Operação sem ajustes dinâmicos às cargas	- Alta - Otimização contínua com base em sensores e algoritmos.
Tipo de Controlo	Manual ou automático local, sem supervisão central.	- Automatizado, - Centralizado, com lógica adaptativa
Flexibilidade de Operação	- Limitada. - Mudanças exigem intervenções físicas.	Pode adaptar-se a novas condições com simples configurações
Custos Operacionais	Elevados devido ao consumo ineficiente e desgaste de equipamentos.	Reduzidos devido à gestão energética eficiente e controlo inteligente.
Manutenção	Corretiva e programada, com elevado risco de falhas.	- Preditiva. - Monitorização contínua reduz falhas inesperadas.
Qualidade do ambiente interior	Irregular, sem regulação baseada em ocupação ou qualidade do ar.	- Elevada. - No ajuste em tempo real
Integração com energias renováveis	Inexistente ou limitada à operação básica.	sistemas solares, eólicos...

3.9 Tabela de Pontos de Medida e Controlo (I/O)

Tabela 6: Tabela de Pontos de Medida e Controlo (I/O)

Fonte: o autor

Tipos de dispositivos	de	Tipo de sinal	Equipamento controlado	Controlador associado
Sensor de temperatura	de	analógico (0-10v)	CLP do BMS	CLP Schneider
Sensor de humidade		analógico (0-10v)	CLP do BMS	CLP Schneider
Sensor de co2		analógico (4-20ma)	CLP do BMS	CLP Schneider
Sensor de pressão		analógico (0-10v)	CLP do BMS	CLP Schneider
Actuador de válvula		digital (on/off)	BMS via CLP	CLP Schneider
Válvula monitorizada		digital (on/off)	BMS via CLP	CLP Schneider
Sensor de presença		digital (presença)	Sistema de Ventilação	Sensor Autônomo
Variador de velocidade	de	analógico (0-10v)	Ventilador	CLP Schneider
Contador de energia		modbus rtu	Sistema SCADA	SCADA - Schneider
Interruptor de fim de curso		digital (on/off)	CLP Local	CLP Siemens

3.10 Orçamento Estimado para Sistema BMS – África do Sul

A tabela seguinte apresenta uma análise comparativa entre os sistemas AVAC tradicionais e os sistemas otimizados com BMS (Building Management System). Esta comparação destaca as vantagens operacionais, energéticas e funcionais que um BMS pode introduzir na gestão de climatização e conforto de edifícios.

Foram instaladas 32 unidades de tratamento de ar novo com recuperação de energia térmica do ar extraído dos espaços aos quais estão afectas e reutilizam-na para arrefecimento primário do ar insuflado, através uma permuta entálpica.

Estas UTAs, construídas com chapa de aço galvanizado com painel duplo de 0.9mm, com isolamento térmico e acústico de 50mm de espessura têm a seguinte composição:

Tabela 7: Orçamentos

Fonte: o autor

Tabela 7.1 ORÇAMENTO

<i>Item / Serviço</i>	<i>Qtde</i>	<i>Preço Unitário (USD)</i>	<i>Subtotal (USD)</i>	<i>Custo em Metical</i>
Controlador BMS principal (BACnet/IP compatível)	1	1800.00	1800.00	113400.00
Módulos de I/O (8 unidades)	8	200.00	1600.00	100800.00
Sensores de temperatura e humidade (20 unidades)	20	65.00	1300.00	81900.00
Atuadores (válvulas e dampers – 10 unidades)	10	120.00	1200.00	75600.00
Fonte de alimentação redundante	1	350.00	350.00	22050.00
Servidor local / gateway BACnet-Modbus	1	750.00	750.00	47250.00
Switch Ethernet Industrial (PoE)	1	500.00	500.00	31500.00
Licença de software BMS (monitorização e controle)	1	2200.00	2200.00	138600.00
Custo de envio (África do Sul – Moçambique)	1	500.00	500.00	31500.00

TABELA 7.2 ORÇAMENTO

Protocolos de acesso (BACnet, Modbus, KNX, MQTT)	1	0.00	0.00	
Mão de obra – instalação e programação (15 dias)	15	150.00	2250.00	141750.00
Treinamento de operadores (2 sessões)	2	100.00	200.00	12600.00
Custos administrativos / legalização aduaneira	1	400.00	400.00	25200.00
Total			13050.00	822150.00

Este orçamento foi elaborado com base em fornecedores de sistemas BMS na África do Sul, incluindo ACS (Automated Control Solutions), CCS BMS, e Schneider Electric South Africa. Os preços são estimativos obtidas a partir de catálogos, websites e médias de mercado referentes ao ano de 2024.

Fontes de preços e fornecedores:

- Automated Control Solutions – <https://www.acontrols.co.za>
- Customized Control Solutions – <https://ccs-bms.co.za>
- Schneider Electric South Africa – <https://www.se.com/za>
- Firetech Projects – <https://www.firetech.co.za>
- Johannesburg Building Management Systems – <https://www.jbmsa.co.za>

Capítulo IV

4.1 Conclusões

O presente relatório abordou a importância da integração de sistemas de automação para a melhoria da eficiência energética em sistemas de AVAC, tomando como estudo de caso a instalação da sede do Standard Bank em Maputo. A análise demonstrou que a adoção de tecnologias como o Building Management System (BMS) permite uma monitorização em tempo real dos parâmetros críticos de funcionamento, proporcionando economia de energia, maior conforto térmico e prolongamento da vida útil dos equipamentos.

Foram ainda analisadas as principais componentes do sistema AVAC em funcionamento, com destaque para os chillers de parafuso, UTAs e fan coils. A implementação de estratégias automatizadas, aliadas à gestão otimizada dos setpoints de temperatura e horários de funcionamento, revela-se essencial num cenário de crescente preocupação com a sustentabilidade energética.

4.2 Recomendações

1. Implementação total do BMS: Recomenda-se a expansão da integração dos sistemas de climatização ao BMS existente, permitindo maior eficiência e centralização do controlo.
2. Formação técnica contínua: Capacitar os operadores e técnicos locais no uso do BMS e no diagnóstico de anomalias em tempo real.
3. Revisão dos horários de funcionamento: Adaptar os horários de operação dos equipamentos às reais necessidades de ocupação do edifício, minimizando consumos desnecessários.
4. Manutenção preventiva regular: Programar intervenções periódicas para limpeza de filtros, verificação de sensores e recalibração dos setpoints.
5. Auditorias energéticas anuais: Implementar processos de auditoria para avaliar o desempenho do sistema e propor melhorias contínuas.

4.3 Limitações do Estudo

Uma das principais limitações encontradas durante a realização do estágio foi o acesso restrito a várias áreas técnicas da infraestrutura da sede do Standard Bank.

Tal limitação impediu a recolha completa de dados, nomeadamente:

- Ausência de acesso a salas técnicas com quadros elétricos e sistemas de controlo;
- Dificuldade em visualizar fisicamente certos sensores de temperatura e humidade;
- Inexistência de esquemas elétricos atualizados do sistema AVAC;
- Restrições na recolha de dados em tempo real dos consumos energéticos por setor.

Estas limitações impactaram parcialmente a capacidade de realizar uma análise mais detalhada do desempenho energético e da arquitetura eléctrica do sistema.

4.4 Referências Bibliográficas

- ✓ *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment*, 2020.
- ✓ *SIEMENS. Building Management Systems Overview. Siemens Building Technologies*, 2022.
- ✓ *TRANE. Understanding Chillers and Cooling Systems. Trane Technologies*, 2021.
- ✓ *Ministério da Energia e Recursos Minerais de Moçambique. Regulamento de Eficiência Energética em Edifícios*, 2016.
- ✓ *CEN – Comité Europeu de Normalização. EN ISO 52120-1: Energy Performance of Buildings – BACS*.
- ✓ *ACS South Africa. Automated Control Solutions – Produtos BMS. Disponível em: <https://www.acontrols.co.za>*.
- ✓ *KRIECK, Gabriela Alice. Eficiência energética em bombas de água gelada de um sistema de climatização com chillers. Departamento de Engenharia de Controle, Automação e Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, 2020*
- ✓ *NETO, Alberto Hernandez. Ar Condicionado e Ventilação, Carga Térmica Vidros. 2015.*
- ✓ *GUEDES, Manuel Correia. Arquitectura Sustentável em Moçambique (Manual de Boas Práticas). 2015.*
- ✓ *BRITO, Stefano da Costa. Análise do Desempenho Energético de Serviços. Instituto Politécnico de Bragança, 2016/2017.*
- ✓ *KRIECK, Gabriela Alice. Eficiência energética em bombas de água gelada de um sistema de climatização com chillers. Departamento de Engenharia de Controle, Automação e Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.*

ANEXOS

ANEXO 1: *CHILLER* de parafuso de Ar comprimido



Figura A1-1: instalação do *chiller* de parafuso de ar comprimido

ANEXO 2: Especificações técnicas do *chiller*

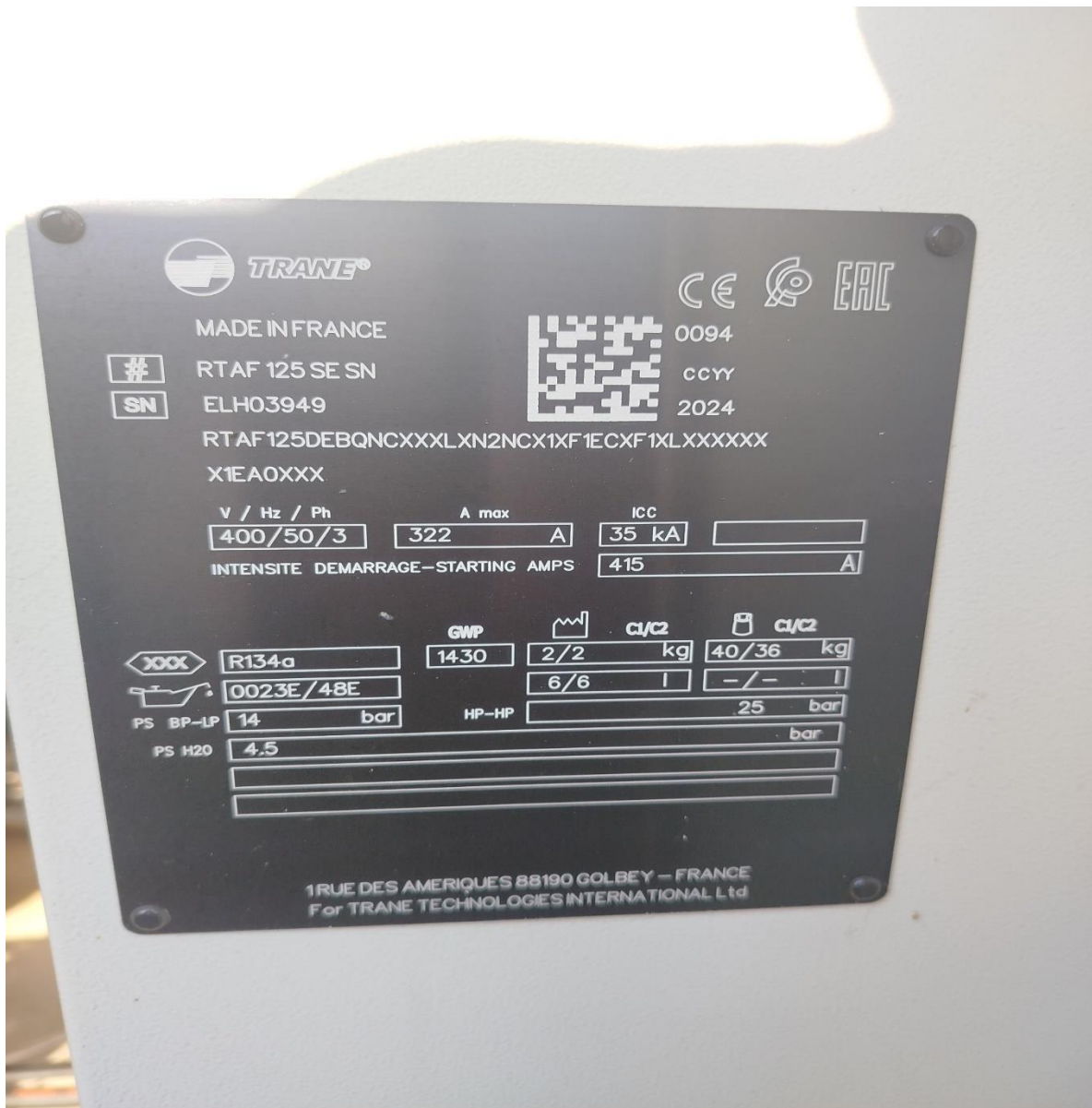


Figura A2-2: chapa de característica

TRADUÇÃO:

FABRICADO NA FRANÇA

INTENSIDADE DA CORRENTE NO ARRANQUE: 415 A

LOCALIZADO: 1 RUA DAS AMERICAS 88190 GOLGEY-FRANÇA

ANEXO 3: Tipo de VFD instalados no edifício da sede do Standart Bank



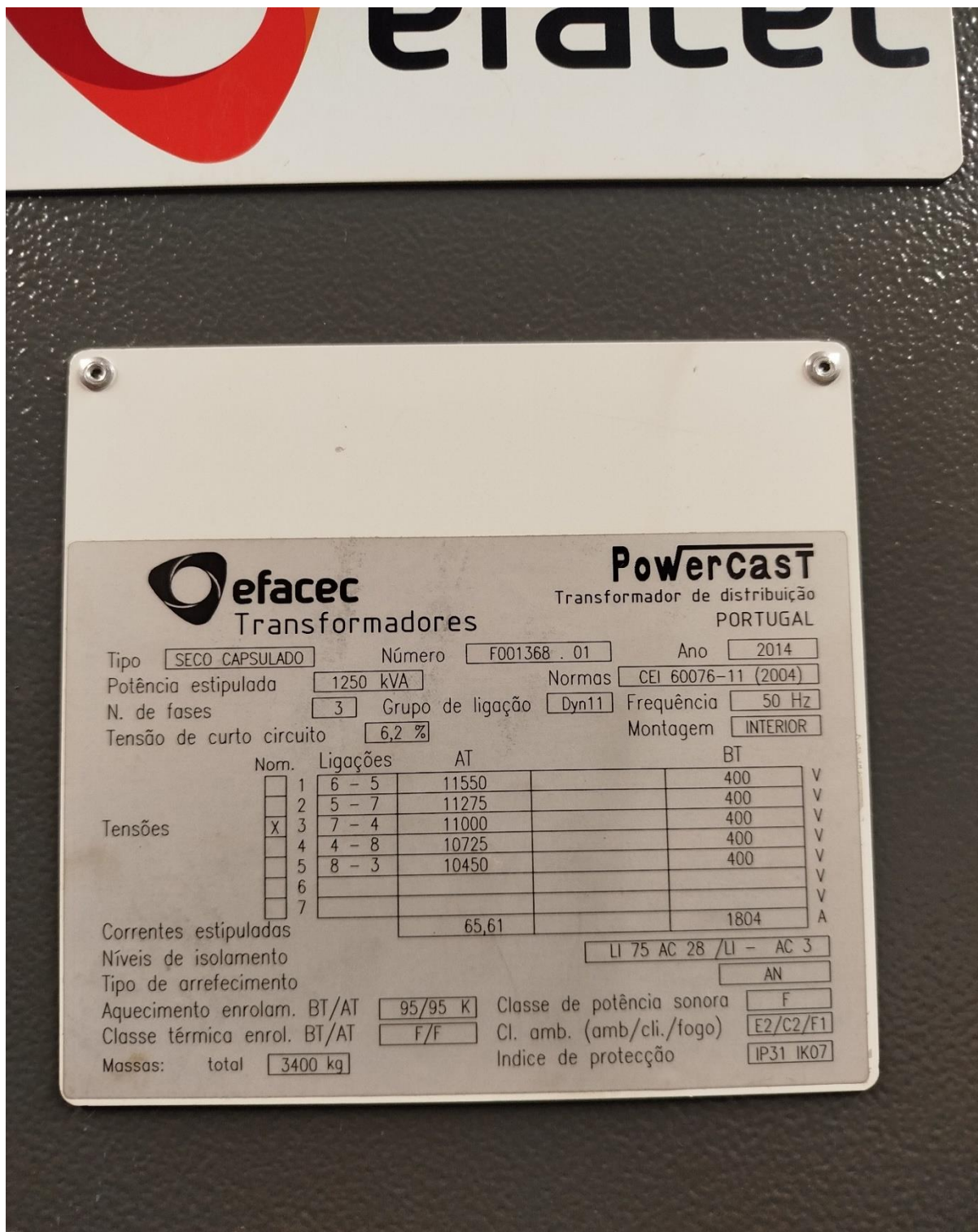
Figura A3-3: Dois (2) Variadores de Frequência instalados na sede do standart bank

ANEXO 4: Transformador para a Alimentação do edifício



Figura A4-4: Transformador de potência de 1250 KVA

ANEXO 5: Especificações técnicas do transformador



efacec **PowerCast**
Transformadores Transformador de distribuição
PORTUGAL

Tipo Número Ano
 Potência estipulada Normas
 N. de fases Grupo de ligação Frequência
 Tensão de curto circuito Montagem

Norm.	Ligações	AT	BT	
☐ 1	6 - 5	11550	400	V
☐ 2	5 - 7	11275	400	V
☒ 3	7 - 4	11000	400	V
☐ 4	4 - 8	10725	400	V
☐ 5	8 - 3	10450	400	V
☐ 6				V
☐ 7				V
		65,61	1804	A

Tensões

Correntes estipuladas
 Níveis de isolamento
 Tipo de arrefecimento
 Aquecimento enrolam. BT/AT Classe de potência sonora
 Classe térmica enrol. BT/AT Cl. amb. (amb/cli./fogo)
 Massas: total Índice de protecção

LI 75 AC 28 / LI - AC 3

Figura A5-5: Chapa de característica do Transformador de potência

ANEXO 6: Tipo de UTA (Unidade de Tratamento de água) instalados no edifício



Figura A6-6: Unidades de tratamento de Ar instalados na Sede do Standart Bank

Anexo 7: Conduatas instaladas no edifício



Figura A7-7: tipo de conduatas instaladas na sede do Standart bank

Anexo 8: RELARÓRIO DE PROGRESSO

Tabela 8-8- Relatório de progresso



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Relatório de Progresso

Tema: Optimização de Sistemas de Automação para melhoria da Eficiência Energética em sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado).

Estudo de caso: Politérmica Moçambique.

Referência: 2025ELEPD22

Semana	Data de encontro	Estágio (%)	Hora	Assunto
14/04/2025 à 20/04/2025	16/04/2025	70	15h	Apresentar TAT
21/04/2025 à 27/04/2025	23/04/2025	60	17h	Revisão literária
19/04/2025 à 25/05/2025	21/05/2025	20	17h	Apresentar cálculos do dimensionamento
02/04/2025 à 08/06/2025	05/06/2025	100	15h	Apresentar conclusão do trabalho
	Supervisor: Msc Engº Anacleto Albino			Assinatura: <i>Anacleto Albino</i>
	Estudante: Nhaguilunguane, Tiago Jorge			Assinatura: <i>Tiago</i>

ANEXO 9: Actas de encontros

Tabela 9.1-9: primeiro encontro



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD22	Data:	21/04/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação das retificações sugeridas no tema

2. PRESENÇAS

Supervisor	Msc. Engº Anacleto Albino <i>Anacleto for Albino p</i>
Co- Supervisor	
Estudante	Nhaguilunguane Tiago Jorge <i>Tiago Jr Jr</i>
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO

Verificação e Validação do TAT

Revisão bibliográfica e texto em arial

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

19-05-2025

ANEXO 9: Actas de encontros

Tabela 9.2-10: Segundo encontro



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD22	Data:	
----------------------------	-------------	--------------	--

1. AGENDA:

Entrega do relatório final.

2. PRESENÇAS

Supervisor	Msc. Engº Anacleto Albino <i>Anacleto JOÃO ALBINO p</i>
Co- Supervisor	
Estudante	<i>Tiago Jorge</i>
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO

APÊNDICES

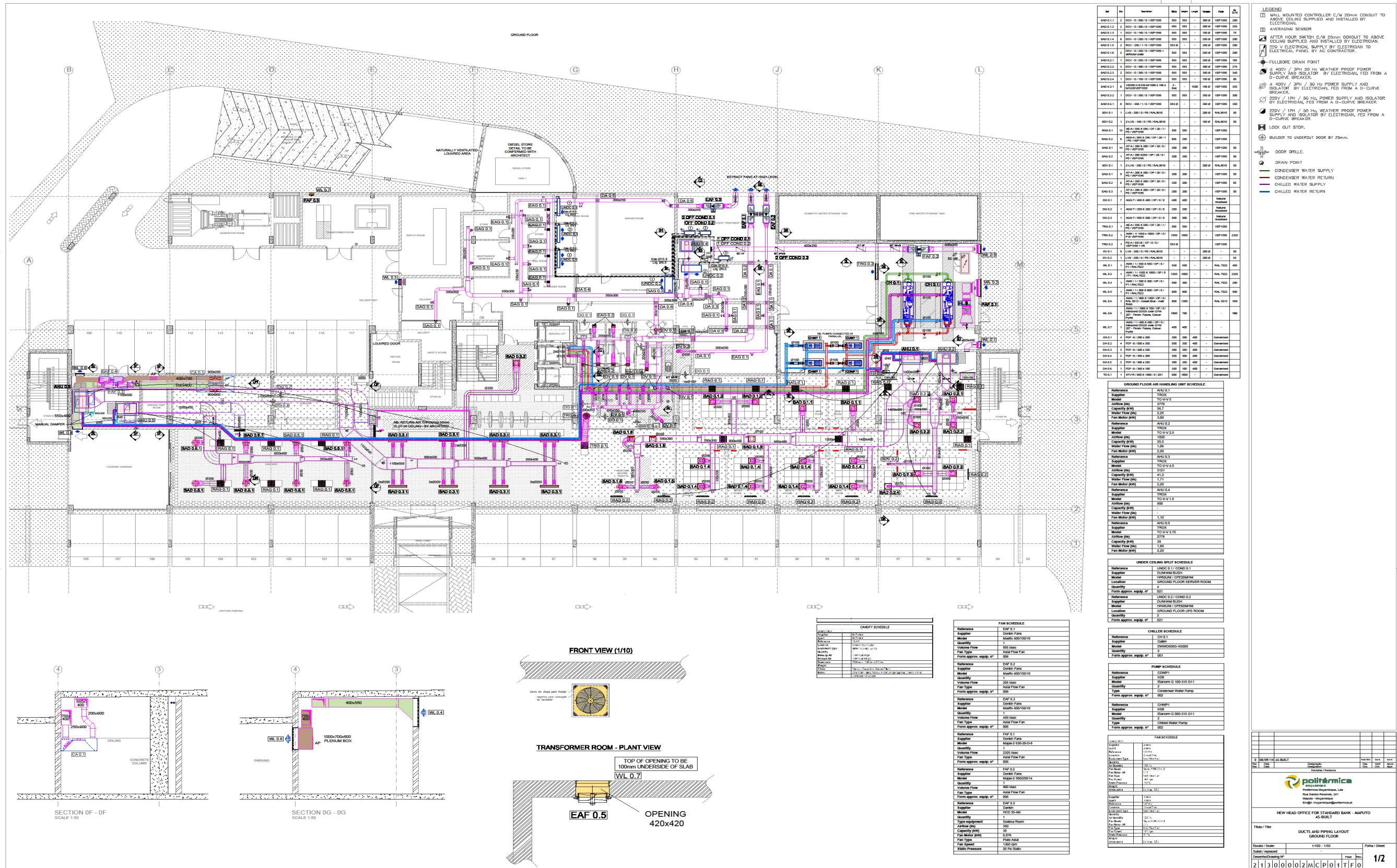


FIGURA AP 2-12

