



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

Título:

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO E
ELIMINAÇÃO DE FUGAS DE AMÔNIA NA PLANTA DE
REFRIGERAÇÃO DA COCA-COLA MOÇAMBIQUE**

AUTOR:

Cossa, Michaque Cândido

SUPERVISOR:

Eng. Isac Matavel

Maputo, Maio de 2023

Cossa, Michaque Cândido

Estágio profissional

Referência do tema: 2023ELEPPL06

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO E ELIMINAÇÃO DE FUGAS
DE AMÔNIA NA PLANTA DE REFRIGERAÇÃO DA COCA-COLA MOÇAMBIQUE**

Relatório de estágio profissional do fim do curso para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Eléctrica pela faculdade de Engenharia – UEM

Cordenador: Msc Anacleto João Albino Eng.

Supervisor: Eng. Isac Matavel

Maputo, 26 de Maio de 2023

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu Michaque Cândido Cossa, estudante do 6º nível do curso de Engenharia Eléctrica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, declaro por minha honra que este trabalho é da minha autoria, sendo fruto dos conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação, investigação pessoal e da orientação do supervisor. O conteúdo deste trabalho é original e todos os documentos consultados estão devidamente identificados na bibliografia.

Maputo, 26 de Maio 2023

(Michaque Cândido Cossa)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Cândido Ricardo Cossa e a Lurdes Ezekiel Vilanculos, que me apoiam em todos os momentos da minha vida e aos meus irmãos e amigos que me ajudaram em toda etapa acadêmica

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e pela sabedoria que me proporcionou durante toda a minha formação.

Agradeço aos meus pais **Cândido Cossa** e a **Lurdes Vilanculos** pelo apoio e carinho durante a esta longa longa caminhada.

Agradeço ao meu Supervisor, o **Isac Matavel** por ter aceite com toda vontade e dedicação supervisionar e orientar durante a realização deste trabalho e por toda paciência, disposição e motivação, agradeço também a equipe de Manutenção pela disponibilidade e ajuda no levantamento de dados e de me encaminhar passo a passo no estudo das cargas.

E por fim, agradeço a todos os meus amigos e colegas que estiveram ao meu lado directamente ou indirectamente, sempre me apoiando para a conclusão desta formação.

Resumo

O presente trabalho têm a finalidade de integração de três sistemas na planta de refrigeração da Coca-Cola Moçambique, o sistema de controlo de refrigeração, o sistema de detecção de amônia e o sistema de ventilação e exaustão de emergência. Conforme os resultados obtidos na simulação em LADDER LOGO Siemens, a integração permitiu a execução automática de acções como o desligamento de válvulas de amônia e o accionamento de ventiladores e exaustores e alarmes de emergência. A implementação do sistema de segurança contra fugas de amônia irá garantir ao operador da planta com alerta de perigo em relação a área de trabalho, assim como irá ajudar a equipe de manutenção de utilidades a eliminar as fugas na planta com finalidade de garantir uma eficiência na operação e na segurança dos operadores.

Palavras Chaves: Refrigeração, Amônia, Controlo, Segurança

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| DEDICATÓRIA..... | i |
| AGRADECIMENTOS..... | iii |
| RESUMO..... | iv |
| Lista de abreviaturas..... | vii |
| Lista de símbolos..... | vii |
| Índice de figuras..... | viii |
| Índice de tabelas..... | ix |
| Lista de anexos | x |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Formulação do problema | 2 |
| 1.1.1. Justificativa | 2 |
| 1.2. Objectivos | 2 |
| 1.2.1. Objectivo geral..... | 2 |
| 1.3. Objectivos específicos..... | 2 |
| 1.4. Procedimentos da Metodologia..... | 3 |
| 2. Resumo Teórico..... | 4 |
| 2.1. Refrigeração | 4 |
| 2.1.1. Métodos de Refrigeração..... | 5 |
| 2.2. Compressor..... | 7 |
| 2.3. Condensador..... | 7 |
| 3. Válvula de expansão | 7 |
| 4. Evaporador | 8 |
| 5. Amônia | 8 |
| 5.1. Detecção de vazamentos..... | 9 |
| 5.2. Acções de controle e proteção NH ₃ | 10 |
| 6. Controlador Lógico Programável (PLC- Siemens serie) | 11 |
| 7. Comunicação entre dispositivos de automação..... | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 8. Sistema Atual na planta de refrigeração Coca-Cola Moçambique | 13 |
| 9. Sistema de Detecção de Amônia..... | 18 |
| 9.1 Sistemas de Detecção de Amônia com interligação através de Roteadores | 18 |
| 9.2 Sistemas de Detecção de Amônia com interligação através do PLC..... | 20 |
| 10. Sistema de Ventilação e Exaustão | 21 |
| 11. Integração de sistemas de controlo | 22 |
| 12. Leitura das concentrações dos detectores de amônia | 24 |
| 13. Lógica de controlo nos PLC (LOGO Siemens) | 23 |
| 14. Programação dos Alarmes no Supervisório..... | 26 |
| 15. Estimativa de custo para as alternativas propostas..... | 27 |
| 16. Conclusão | 29 |
| 17. Referência Bibliográfica | 30 |
| Anexos..... | A |

Lista de abreviaturas

KPI – Key performance indicator

PLC – Controlador lógico programável

CPU – Unidade central de processamento

HMI – Human machine interface

PPM – Parts per million

Lista de símbolos

T – Temperatura

I – Corrente

V - Tensão

P – Pressão

Unidade

[°C]

[A]

[V]

[Pa]

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figure 1: Ciclo básico de refrigeração..... | 4 |
| Figure 2: Ciclo de refrigeração Coca-cola Moçambique..... | 5 |
| Figura 3: Principais Componentes de um Sensor Eletroquímico..... | 10 |
| Figura 4: Ciclo de processamento de um CLP..... | 11 |
| Figura 5: Painel de Controlo de ciclo de refrigeração | 14 |
| Figura 6: Tela principal de Monitoramento..... | 15 |
| Figura 7: Acompanhamento de degelo | 16 |
| Figura 8: Sistema de detecção de amônia com roteadores | 18 |
| Figura 9: Conjunto de dispositivos que compõem as centrais | 19 |
| Figura 10: interligação através do PLC..... | 20 |
| Figura 11 Exaustores..... | 21 |
| Figura 12: Interligação do sistema de refrigeração e de amônia..... | 22 |
| Figura 13: Interligação dos 3 sistemas..... | 23 |
| Figura 14: Fluxograma do PLC..... | 25 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Parâmetros de operação do ciclo de refrigeração | 17 |
| Tabela 2: Endereço Modbus dos detectores de Amônia..... | 24 |
| Tabela 2: Endereço IP..... | 26 |
| Tabela4: Estimativa de preços | 28 |

Lista de anexos

| | |
|---|------|
| Tabela A1.1.1-1: Especificações do Sensor..... | A1.1 |
| Tabela A2.2.1-2: Entradas e saídas do PLC. | A2.2 |
| Tabela A2.2.2-3: Entradas e saídas do PLC..... | A2.3 |
| Tabela A2.2.3-4: Parâmetros de entrada e saída..... | A2.4 |
| Tabela A2.2.4-5: Parâmetros de entrada e saída..... | A2.5 |
| Anexo A3.3.1-6: Acta de Encontro | A3.6 |
| Anexo A3.4.1-7: Acta de Encontro | A3.7 |
| Anexo A3.5.1-7: Acta de Encontro | A3.8 |

1 Introdução

O presente trabalho foi feito no âmbito do estágio realizado na Coca-Cola Moçambique no departamento de Utilidades como forma de conclusão do curso.

O departamento de Utilidades é responsável por fornecer utilidades ao Brewing, WTP, Packaging, Logística, Fermentação, Administração, porém o objectivo geral deste trabalho é de Desenvolver o sistema de controlo de refrigeração e detecção de fugas de amônia na tubagem, condensadores e evaporadores.

As práticas de segurança em instalações de refrigeração visa ter métodos eficazes para garantir a segurança física dos trabalhadores que operam a planta.

Deste modo o sistema a ser desenvolvido nas unidades da instalação visa ter seis centrais de controlo com mais de 30 detectores de gás alocados, conectados e localizados em posições estratégicas para garantir o correcto accionamento caso haja vazamento de amônia.

Com este sistema o departamento de utilidades da Coca-Cola Moçambique será capaz de atingir 0% de vazamento de gases tóxicos, e irá alcançar 75% micro de GLY no target de segurança que é uma das preocupações do gestor de utilidades.

Com este trabalho pretende-se promover o uso de sistemas mais eficientes de segurança na planta de refrigeração, e para que estes sejam projetados à medida das necessidades de cada local da planta.

Desta forma, o sistema de segurança a ser implementado será mais eficiente com uso de sensores detectores de amônia que serão controlados por meio de PLC com finalidade de accionar um alarme.

1.1. Formulação do problema

O controlo diário dos KPI'S de segurança feito no departamento de utilidades variam em função do número de acidentes registados ao longo da semana bem como das doenças ocupacionais que afecta a equipe de operação de utilidades.

A crise de mascarar de amônia na planta bem como os filtros de amônia tem registado acidentes graves na planta que culminam com desmaios e perdas de sentidos humanos por parte da equipe de utilidades

1.1.1. Justificativa

Alcançar 365 dias com target de 0 acidentes é a preocupação da equipe de safety da empresa bem como do departamento de utilidades. A implementação de sistema de segurança contra fugas de amônia irá garantir ao operador da planta com alerta de perigo em relação a área de trabalho, assim como irá ajudar a equipe de manutenção de utilidades a eliminar as fugas na planta com finalidade de garantir uma eficiência na operação e na segurança dos operadores.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

- Desenvolver o sistema de controlo de refrigeração e detecção de fugas de amônia na tubagem, condensadores e evaporadores.

1.3. Objectivos específicos

- Fazer o levantamento das informações dos detectores de amônia e disponibilizar essa informação no PLC de automação existente ;
- Interpretar os dados no sistema de automação existente que controla a temperatura e o degelo das câmaras para desligar automaticamente as válvulas do refrigerante e accionar o alarme;
- Programar alarmes para alertar os operadores;
- Mostrar no HMI informações sobre as valvulas bloqueadas para paragem rápida do processo de refrigeração;

1.4 Procedimentos da Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho será feita uma abordagem que divide-os em quatro partes principais:

Na fase de pesquisa bibliográfica, serão colectadas informações teóricas diversas com a finalidade de compreender todos os mecanismos que envolvem o projeto. Nesta etapa, deve haver a preocupação de que as informações sejam provenientes de fontes confiáveis e mais recentes possíveis, garantindo assim que não sejam utilizadas tecnologias ultrapassadas.

Na fase de pesquisa em vários Sites da internet, serão coletadas informações teóricas através de download de PDF, download de catalogos da WEG,ABB, as práticas através de vídeo aula na youtube, consultas na equipe técnica e de gestão da sala de máquinas, de modo a compreender todos componentes do projecto.

Na etapa de definir o sistema de controlo, será definido o tipo de controlo que será utilizado e desenvolvê-lo, escolher os componentes que serão utilizados, sendo necessária também uma pesquisa junto aos fabricantes, principalmente no que se refere à escolha dos componentes eléctricos.

2. Resumo Teórico

2.1. Refrigeração

Segundo (LIMA, 2016), A **refrigeração** é o processo de remoção de calor a partir de um espaço fechado, ou a partir de uma substância. O objectivo primário é de diminuir a temperatura do espaço incluindo da substância (refrigerante) e, em seguida, manter essa temperatura mais baixa. O termo "**arrefecimento**" geralmente refere-se a qualquer processo através do qual o calor é dissipado. Frio é essencialmente a ausência de calor, e a fim de tornar mais frio, o calor deve ser removido, em vez da adição de frio. Afim de satisfazer a Segunda Lei da Termodinâmica, algum tipo de trabalho deve ser feito para remover o calor.

O ciclo básico de refrigeração é composto por: compressor, Condensador, Válvula de expansão, e evaporador.

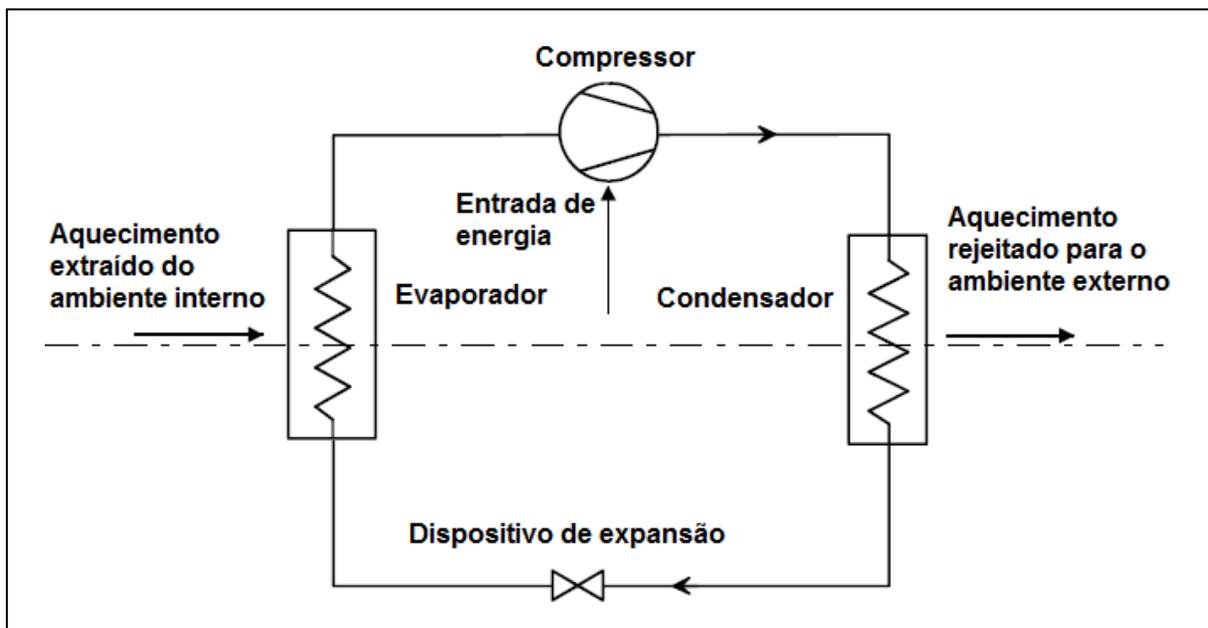


Figure 1: Ciclo básico de refrigeração

Fonte: LIMA, 2016

A planta de refrigeração da Coca-Cola Moçambique para além dos elementos básicos que possui o ciclo de refrigeração ele possui um receptor da amônia líquida depois da condensação e um receptor da amônia gasosa depois dos evaporadores.

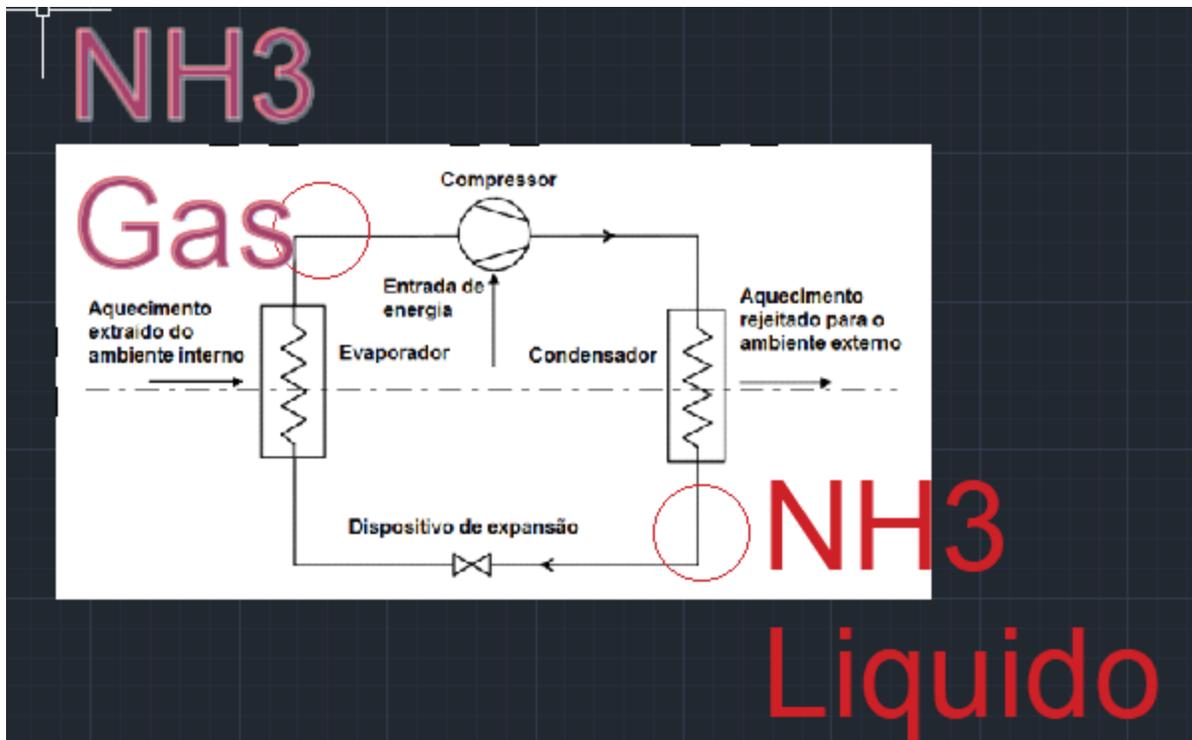


Figure 2: Ciclo de refrigeração Coca-cola Moçambique

Fonte: Autoria própria

2.1.1. Métodos de Refrigeração

Métodos de refrigeração podem ser classificadas como **não-cíclico**, **cíclico**.

Refrigeração não cíclico

Segundo (REINDL e DENKMANN, 2001), Em refrigeração não-cíclico o resfriamento é feito por meio de fusão do gelo ou por sublimação do gelo seco. Isto é utilizado para a refrigeração em pequena escala em laboratórios e oficinas, ou em refrigeradores portáteis. Gelo tem sido utilizada desde o início do tempo como um meio refrigerante, e que é eficaz como um agente de arrefecimento devido ao seu ponto de fusão constante de 0° C.

Refrigeração cíclico

Segundo (REINDL e DENKMANN, 2001), o calor é removido a partir de um espaço de baixa temperatura ou substância e rejeitado para um poço de alta temperatura com a ajuda de trabalho externo. Isto é conhecido como um ciclo de refrigeração. O oposto de

um ciclo de refrigeração é o ciclo de potência termodinâmico, em que o calor é fornecido a partir de uma fonte de alta temperatura a um motor, em que parte do calor é usada para a produção de trabalho, e o restante é rejeitado para um poço de baixa temperatura. Isso satisfaz a segunda lei da termodinâmica

Um ciclo de refrigeração descreve as alterações que ocorrem no refrigerante, uma vez que absorve e alternativamente rejeita calor à medida que circula através de um refrigerador

O calor flui naturalmente do quente para o frio. Trabalho é aplicado para arrefecer um espaço de vida ou volume de armazenamento por bombeamento de calor a partir de uma fonte de calor a temperatura mais baixa para a mais alta temperatura do dissipador de calor.

Isolamento é usado para reduzir o trabalho e a energia necessária para alcançar e manter uma temperatura mais baixa no espaço de refrigeração.

A refrigeração do ciclo de vapor podem ser subdivididos em dois tipos;

- **refrigeração por compressão de vapor e**
- **refrigeração por absorção de vapor.**

Segundo Pearson (2003), um sistema de **refrigeração à compressão de vapor** consiste em um fluido refrigerante circulando em um circuito fechado contendo um compressor, um condensador, um dispositivo de expansão e um evaporador, todos interconectados por tubulações.

O compressor comprime o vapor refrigerante, aumentando sua temperatura. O vapor em alta temperatura passa pelo condensador e se condensa devido às trocas térmicas com o meio exterior. O líquido em alta temperatura perde pressão quando passa pelo dispositivo de expansão. Em seguida, o líquido em baixa pressão fica tão frio que evapora ao passar pela tubulação do evaporador e remove calor do ar ambiente. O vapor refrigerante em baixa pressão é novamente pressurizado pelo compressor, reiniciando o ciclo. O aquecimento total rejeitado para o ambiente externo é a soma do aquecimento extraído do ambiente interno com a energia utilizada pelo compressor.

Muitos sistemas de refrigeração são construídos baseados no ciclo de compressão de vapor e utilizam como fluido refrigerante a amônia (REINDL e DENKMANN, 2001).

Compressor

O compressor têm duas funções, ele comprime o gás e o refrigerante que se move em torno do circuito de refrigeração de modo que possa desempenhar a sua função de uma e outra vez.

Existem dois tipos principais de compressor usado em sistemas de refrigeração industrial; compressores de parafuso e compressores alternativos

Comprimir o gás dentro de um líquido é o primeiro passo no processo. Compression acrescenta calor para o gás através do calor de compressão

2.2. Condensador

O condensador é um dispositivo para retirar o calor do gás comprimido de modo que possa condensar novamente em líquido. Tubos do condensador são feitos de materiais como cobre e alumínio, porque eles têm muito boa condutividade térmica. Calor pode viajar através deles muito facilmente. Condensadores resfriados a ar são feitos de tubos de cobre com aletas de alumínio. O ar é forçado através das aletas por grandes ventiladores.

Gás comprimido quente a 57 ° C flui através dos tubos do condensador. Cai em cerca de 32°C e é sugado através das aletas do condensador pelo grande ventilador do condensador. Usando os princípios de arrefecimento por convecção, calor flui para fora do quente através das aletas e é rejeitado para o fluxo de ar.

Este é o primeiro passo no processo de refrigeração efectivo; o calor é removido de um lugar e mudou-se para outro

3. Válvula de expansão

Depois de deixar o condensador, o líquido flui através de um dispositivo de medição, também conhecido como uma válvula de expansão. Existem vários tipos diferentes de

dispositivo de medição, mas todos eles têm a mesma função geral, que é a de provocar uma queda de pressão.

Para funcionar correctamente, deve haver uma coluna cheia de líquido a alta pressão do refrigerante líquido na linha de fornecimento de entrada da válvula de expansão. O refrigerante líquido é forçado através de um pequeno orifício no tubo capilar da válvula de expansão. Quando ele sai do tubo entra em uma área de baixa pressão e se transforma em vapor.

4. Evaporador

Gotículas de baixa pressão do refrigerante são pulverizados para o evaporador. O evaporador é concebido semelhante à do condensador, com muitos tubos de cobre para conduzir o calor. Aletas de alumínio sobre a superfície dos tubos de aumentar a área de superfície exposta ao ar ser tirado ao longo dos tubos por um ventilador.

O processo de redução da pressão sobre as gotículas de líquido refrigerante também reduz a temperatura do refrigerante.

O evaporador foi concebido para remover o calor do ambiente e transferir o calor para as gotículas de refrigerante. O ar quente a partir de um espaço fechado, como um é desenhado pé-no refrigerador ou chiller sobre as bobinas do evaporador pelo ventilador. À medida que o ar passa entre as aletas do evaporador, o calor é transferido do ar através das aletas, nos tubos e nas gotículas de refrigerante.

5. Amônia

A amônia é um gás incolor com um cheiro característico e pungente

O gás de amônia é considerado um alto risco à saúde, pois é corrosivo para a pele, olhos e pulmões. A exposição a 300 ppm é imediatamente perigosa para a vida e a saúde. A amônia também é inflamável em concentrações de aproximadamente 15% a 28% em volume no ar. Quando misturado com óleos lubrificantes, sua faixa de concentração inflamável é aumentada.

Ele pode explodir se liberado em um espaço fechado com uma fonte de ignição presente, ou se um recipiente contendo amônia anidra estiver exposto ao fogo. Felizmente, a amônia tem um baixo limiar de odor (20 ppm), então a maioria das pessoas buscará alívio em concentrações muito mais baixas.

A amônia é um fluido utilizado em sistemas de refrigeração em larga escala, tais como frigoríficos, fábricas de gelo, pistas de patinação, cervejarias, fábricas de laticínios e câmaras de congelamento. Isso se deve ao facto de possuir ótimas propriedades termodinâmicas, ter o melhor custo-benefício, possuir estabilidade química, além disso, possui afinidade pela água e a propriedade de não se misturar com o óleo (DOSSAT, 2004). É um composto encontrado na natureza e naturalmente se divide em hidrogênio e nitrogênio.

5.1. Detecção de vazamentos

A presença de amônia (segundo MTE, 2004) é facilmente detectada pelo olfato humano mesmo em concentrações pequenas como 5ppm, devido ao seu cheiro característico. Vazamentos de amônia também podem ser detectados pelos operadores da sala de máquinas aproximando do local uma vela de enxofre, que solta uma fumaça branca quando em contacto com amônia ou aplicando uma mistura de sabão nas juntas suspeitas.

A utilização de detectores de vazamento de amônia dentro da sala de máquinas é importante como forma de proteger os trabalhadores e património da empresa.

A figura abaixo ilustra os componentes principais de um sensor eletroquímico, o qual consiste em uma membrana que reage quimicamente em contato com o gás ambiente, permitindo a passagem de corrente elétrica até ao circuito transdutor do sinal que, por sua vez, envia o sinal ao dispositivo capaz de se comunicar com uma central de leitura.



Figura 3: Principais Componentes de um Sensor Eletroquímico

Fonte: BERTOTTI, Mauro (2006).

Os detectores de amônia devem ser instalados nos pontos críticos de vazamento, como exemplo: condensadores, compressores, flanges, conexões e tubulações dos evaporadores, reservatórios, vasos de pressão, separadores de óleo, tubulações e válvulas existentes no sistema de refrigeração.

5.2. Acções de controle e proteção NH₃

Como forma de controlar os riscos e diminuir os danos causados por um eventual vazamento de amônia, acções devem ser executadas automaticamente pelo sistema de controle da refrigeração segundo os pontos de disparo ajustados nos detectores de amônia.

- 10 ppm - Nível de ação NR-09 - Informar de forma visual no supervisório para alertar os operadores da sala de máquinas.
- 30 ppm - Grave e Iminente Risco à Saúde e a segurança - NR15 - Accionar alarmes visuais e sonoros no local e no supervisório. Accionar o sistema de ventilação e exaustão de emergência.
- 300 ppm - Atmosfera perigosa à vida e à saúde - Accionar alarmes visuais e sonoros para evacuar a instalação, accionar o sistema de ventilação e exaustão de emergência, iniciar as acções de contenção do vazamento, como o desligamento de válvulas solenoides, e o desligamento de máquinas.
- 30.000 ppm – Para detectores específicos na sala de máquinas e nos reservatórios de amônia líquida - Nesse nível o sistema deve imediatamente iniciar a sequência de desligamento da sala de máquinas e, por fim, desligar a alimentação elétrica da sala de máquinas. Somente o sistema de controle e o sistema de ventilação e exaustão de emergência devem permanecer alimentados.

6. Controlador Lógico Programável (PLC- Siemens serie)

Os Controladores Lógico Programáveis (segundo Siemens 3URT, 2007), são computadores criados especialmente para aplicações industriais. São formados basicamente por uma Unidade Central de Processamento (CPU), memória para armazenar o programa e outra para os dados, entradas digitais e analógicas, saídas digitais e analógicas, e fonte de alimentação.

A CPU é responsável pela execução das instruções armazenadas na memória de programa. Essa memória é geralmente não volátil e separada da memória de dados, que é mais rápida e armazena o estado atual das entradas e saídas, bem como as constantes e variáveis utilizadas no programa.

As entradas podem ser digitais ou analógicas, as digitais só aceitam dois estados (ligado ou desligado), as analógicas permitem uma quantidade que depende do conversor A/D do chip, como por exemplo, um conversor A/D de 12 bits aceita 1024 valores diferentes. São exemplos de dispositivos ligados em entradas digitais às botoeiras, microchaves, contactos de contactores, e sensores indutivos. Nas entradas analógicas podem ser ligados sensores de temperatura como termopares, Pt-100, detectores de posição como potenciômetros, sinais de 4 a 20 mA ou 0 a 10 V.

As saídas digitais dos PLC são semelhantes às entradas digitais. Com elas podem ser accionados dispositivos como válvulas solenoides, relés, partidas de motores, luzes indicadoras e alarmes. Já as saídas analógicas fornecem tensões de 0 a 10 V ou correntes de 4 a 20 mA, que podem ser utilizadas para controlar a posição de válvulas de controle ou a velocidade de motores com inversor de frequência. As entradas e saídas podem ser agrupadas em módulos ou podem vir incorporados ao PLC.

As fontes de alimentação são necessárias para alimentar a CPU e, para suprir as necessidades específicas dos módulos de entradas e saídas utilizados, elas protegem os elementos internos contra surtos da rede como picos de tensão.

A operação do PLC consiste basicamente em realizar a leitura das entradas, executar comparações e tarefas do programa e atualizar as saídas. Estas três etapas são

realizadas ciclicamente nesta mesma sequência, é o chamado ciclo de SCAN.

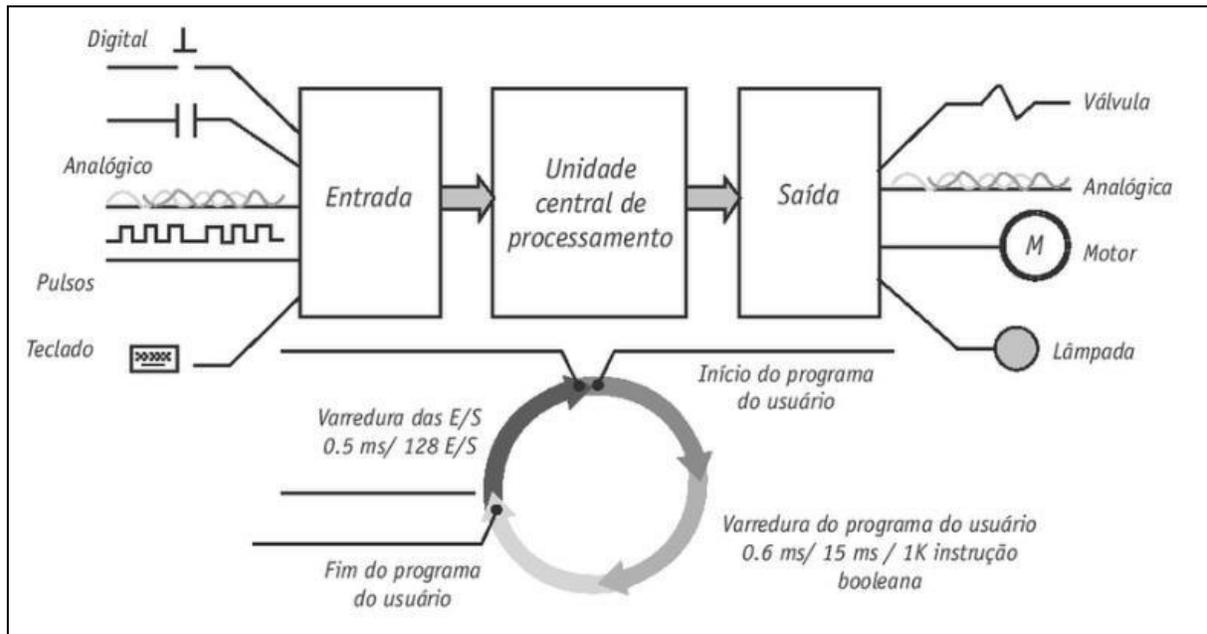


Figura 4: Ciclo de processamento de um CLP

Fonte: Apostolica Instrumentação 2005

Para que o PLC execute a tarefa desejada, a lógica, ou programa, deve ser escrita em sua memória na forma de instruções ou comandos. O usuário deve conhecer as linguagens de programação suportadas pelo dispositivo. Segundo a norma IEC 61131-3, existem 5 linguagens de programação padronizadas, são elas: **IL** (Instruction List), **ST** (Structured Text), **LD** (Ladder Diagram), **FBD** (Function Block Diagram) e **SFC** (Sequential Flow Chart). A linguagem de programação mais conhecida e utilizada é a Ladder, que facilitou a utilização dos PLC pelos engenheiros e técnicos devido a sua semelhança com os antigos esquemas de relés.

Com o crescimento dos sistemas de automação industrial, e o conseqüente aumento da quantidade de controladores utilizados, tornou-se necessária a criação de meios de comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes de forma confiável.

7. Comunicação entre dispositivos de automação

As fábricas modernas hoje são formadas por interligações entre actuadores locais controlados e gerenciados por meio de um controlo centralizado ou distribuído, que podem trocar informações entre si e com os níveis mais altos de controlo utilizando uma rede de comunicação.

Usar redes de comunicação para trocar informações entre dispositivos ao invés de usar conexões ponto a ponto têm diversos benefícios:

- Menor quantidade de cabos passados reduz as taxas de falhas;
- Facilidade de diagnóstico de problemas;
- Facilita a interoperabilidade entre dispositivos;
- facilita a integração de novos dispositivos na rede.

Sistemas automatizados utilizam redes de comunicação compartilhadas e implementam diversos tipos de protocolos de comunicação, como Ethernet TCP/IP, Modbus, ProfiBus, DeviceNet, ControlNet, WiFi e Bluetooth. Os protocolos de comunicação foram criados de acordo com modelo OSI (definido pela ISO), e cada um tem características diferentes para tratar a informação, como velocidade de dados e atrasos.

8. Sistema Atual na planta de refrigeração Coca-Cola Moçambique

São três os sistemas da empresa que estão envolvidos neste estudo, o sistema de controlo de refrigeração, o sistema de detecção de amônia e o sistema de exaustão e ventilação de emergência. Nenhum deles possui algum tipo de interligação entre si, ou seja, funcionam independentemente um do outro. Não há troca de informações, impossibilitando que ações possam ser tomadas automaticamente em um eventual vazamento de amônia. O detalhamento de cada sistema facilita o entendimento e possibilita implementar os controlos após a integração.

9 Sistema de controlo de refrigeração

Este sistema é composto por painéis com PLC equipados com sensores de temperatura e pressão, que de acordo com a configuração ajustada podem ligar ou desligar equipamentos com bobinas das válvulas dos evaporadores, motores de compressores de amônia, bombas e ventiladores das unidades condensadoras. A figura abaixo ilustra o HMI do controlo do ciclo de refrigeração



Figura 5: Painel de Controlo de ciclo de refrigeração

Fonte: Coca-Cola Moçambique

As principais informações desses dispositivos e equipamentos estão concentradas em um sistema supervisor onde é possível monitorar as temperaturas das câmaras e as pressões do fluido refrigerante, acompanhar os status das câmaras, dos compressores e dos regimes através de cores e, com isso, os operadores podem rapidamente ter uma visão geral das condições da fábrica.

A tela principal do supervisor pode ser visualizada na figura abaixo. Os retângulos em vermelho ao fundo dos valores indicam que pode haver algum problema nessa área, devendo ser acompanhado ou verificado no local.

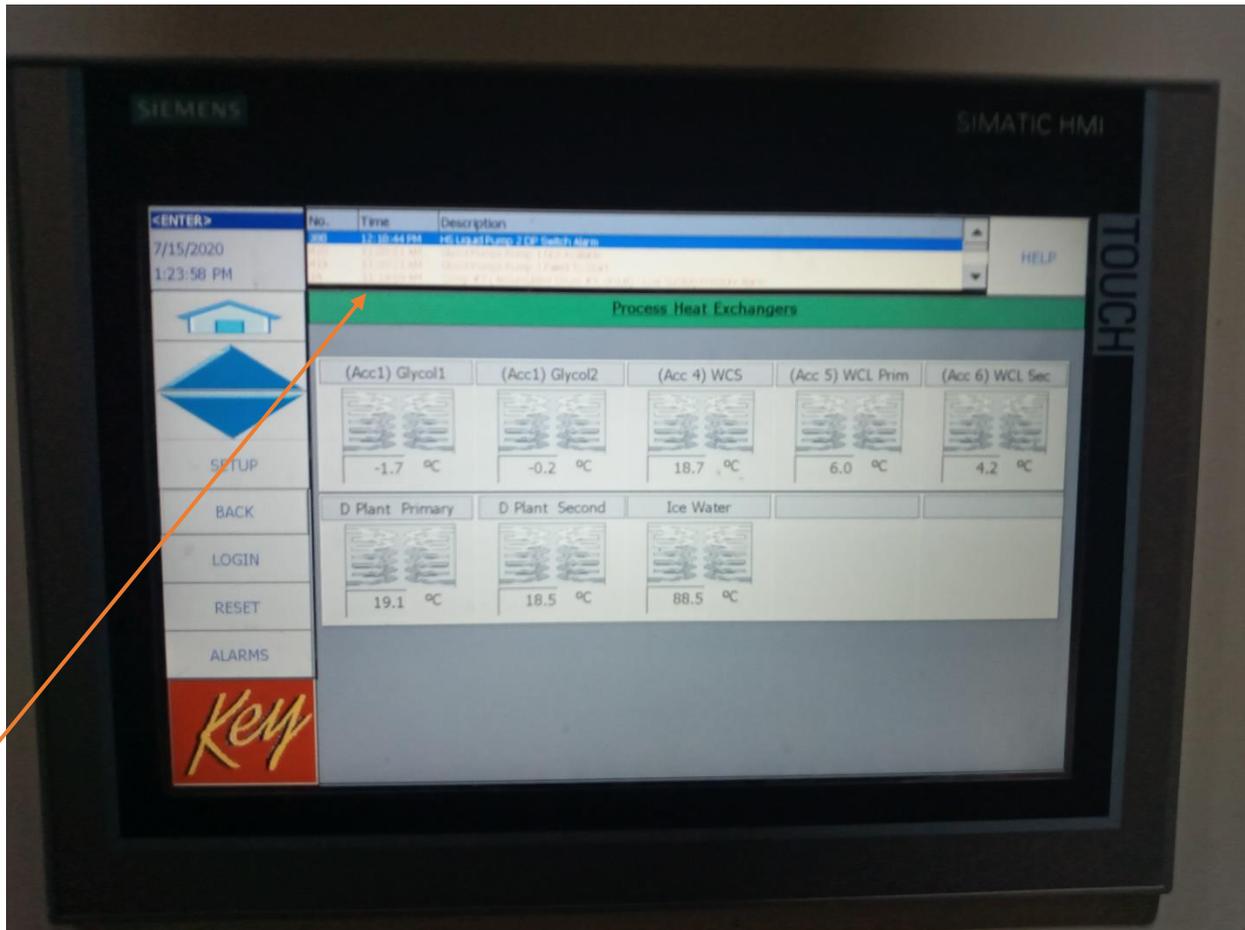


Figura 6: Tela principal de Monitoramento

Fonte: Coca-Cola Moçambique

Os equipamentos possuem mais opções de operação na tela de controlo da refrigeração de ambientes, onde é possível ligar e desligar a refrigeração de um sector inteiro através de botões de comando geral, monitorar as temperaturas, o status dos motores e das válvulas através de símbolos e cores, o que torna bastante simples o controle pelos operadores e facilita muito a resolução de eventuais problemas como, por exemplo, um motor em falha.

Alguns ambientes da empresa precisam ter a temperatura mantida próxima ou abaixo de zero graus para fermentação da cubas de fabrico, nesses casos há a formação de gelo nas aletas dos evaporadores. Para remover esse gelo são realizados ciclos de degelo nas serpentinas desses evaporadores. Estes degelos podem ser configurados e programados pelos operadores através do supervisório. Na tela é possível identificar uma câmara em estado de degelo, configurar os tempos de cada etapa e agendar os horários de início dos degelos, bem como visualizar o status dos ventiladores e das válvulas. A figura abaixo ilustra como exemplo a indicação das telas durante um degelo.



Figura 7: Acompanhamento de degelo

Fonte: Coca-Cola Moçambique

O estado das válvulas também pode ser acompanhado no detalhe da tela de configuração e acompanhamento de degelos. Neste caso, o ambiente dos evaporadores possui três válvulas solenoide: líquido, retorno e gás quente.

O controlo de geração de frio na planta de refrigeração varia de acordo com o estado de tempo, pós o processo de condensação ocorre por radiação.

Deste modo os parâmetros de sucção e descarga do gás NH₃ são controlados e ajustado pela equipe de operação de modo a alcançar os níveis mais desejado para geração do frio. Abaixo são indicados os parâmetros de pressão máxima e mínima ajustada com a sua temperatura como consequência.

Tabela 1: Parâmetros de operação do ciclo de refrigeração

Fonte: Sala de Máquinas Coca-Cola Moçambique

| Compressor | Condensador | Evaporador |
|--|--|--|
| <p>$P_{\text{Sucção}} = 290 \text{Kpa}$ $T = 29^\circ\text{C}$ $P_{\text{Descarga}} = 1200 \text{Kpa}$ $T = 33^\circ\text{C}$</p> | <p>$P_{\text{Descarga}} = 1200 \text{Kpa}$ $T = 33^\circ\text{C}$ $P_{\text{Descarga}} = 990 \text{Kpa}$ $T = 29^\circ\text{C}$</p> <ul style="list-style-type: none"> No processo de condensação o gás passa para o estado liquido mantendo a sua pressão e temperatura de descarga | <p>$P_{\text{Sucção}} = 300 \text{Kpa}$ $T = 7^\circ\text{C}$ $P_{\text{Sucção}} = 290 \text{Kpa}$ $T = 27^\circ\text{C}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Depois da troca de calor com o refrigerante secundário (água) a pressão do gás baixa para 300 a 290 Kpa |

9. Sistemas de Detecção de Amônia

9.1 Sistemas de Detecção de Amônia com interligação através de Roteadores

Está em projecto a implementação na empresa, do sistema de detecção de amônia, são 6 pontos com mais de 44 detectores distribuídos pela planta que, podem ser interligado através da rede internet em anel com roteadores ou por PLC. Na figura abaixo pode ser observada a visão geral do sistema com Roteadores.

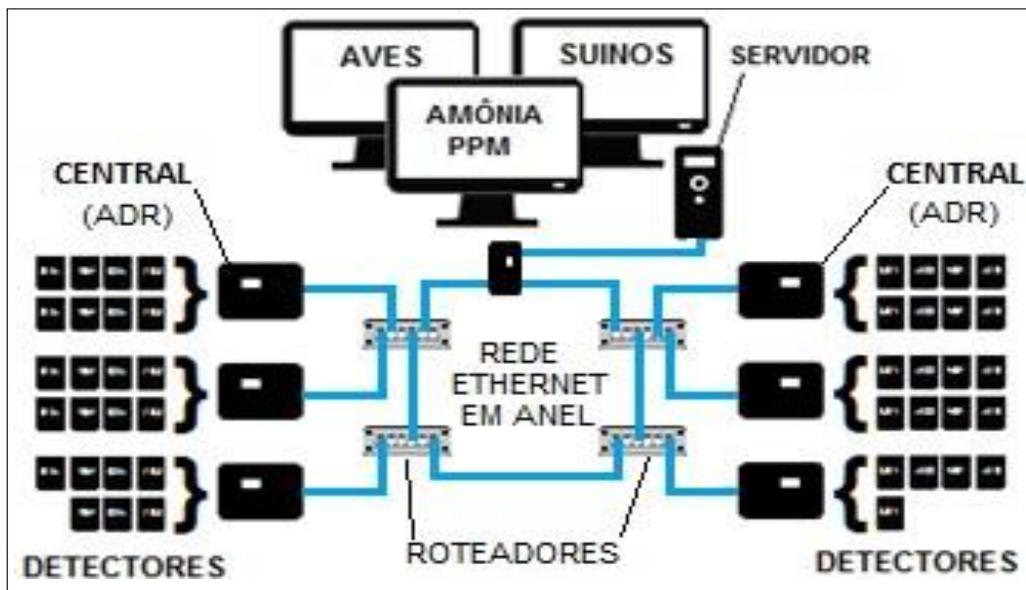


Figura 8: Sistema de detecção de amônia com roteadores

Fonte: GEA refrigeration for are better word

O conjunto dos dispositivos que formam essas centrais 301C são chamados de ADR. Esse conjunto é composto de uma Central 301C, um switch com fibra ótica, um módulo de entradas analógicas 301ADC e um módulo para acionamento de relés. A comunicação com a central é via RS485, mas para interligação com os outros dispositivos do sistema é utilizado um conversor para ethernet "USR TCP 232 410s". A figura abaixo ilustra o detalhe dos dispositivos dos ADRs.



Figura 9: Conjunto de dispositivos que compõem as centrais

Fonte: GEA refrigeration for are better word

Os detectores de amônia utilizados são os EC-FX-NH3 fabricados pela Honeywell. Estes sensores utilizam o princípio de funcionamento eletroquímico de três eletrodos e a concentração de amônia é transmitida à central por um sinal analógico de 4 a 20 mA.

9.2 Sistemas de Detecção de Amônia com interligação através do PLC

Para este projecto será usado o sistema de detecção de amônia com a interligação via PLC devido á sua fiabilidade e possibilidade se ligar as saidas do plc ao HMI onde os operadores possam visualizar e intervir directamente no sistema em com o PLC.

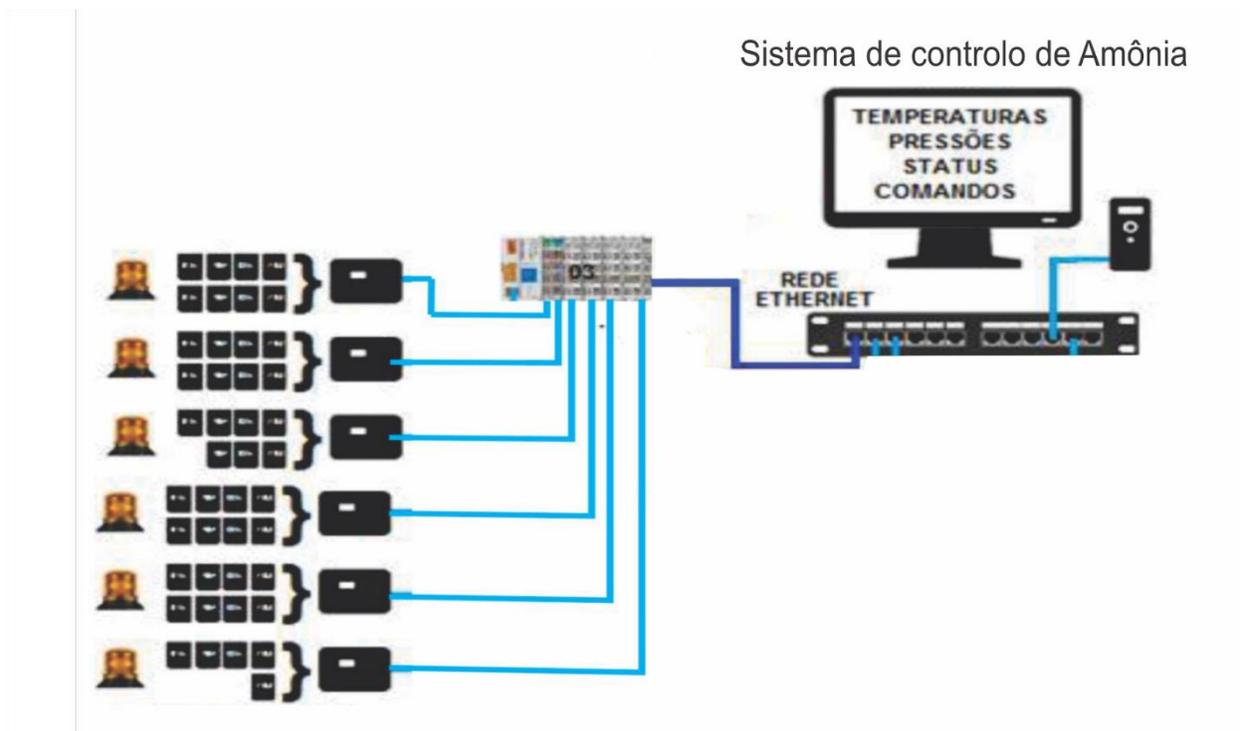


Figura 10: interligação através do PLC

10. Sistema de Ventilação e Exaustão

O sistema de ventilação e Exaustão de emergência é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores com capacidade suficiente e estrategicamente instalados para que possam remover rapidamente da instalação um grande volume de gás (NH₃). Consistem em exaustores instalados no telhado com dutos contínuos montados até o ambiente a ser ventilado, permitindo fluxo de ar directo do ambiente até a área externa, conforme ilustra a figura.

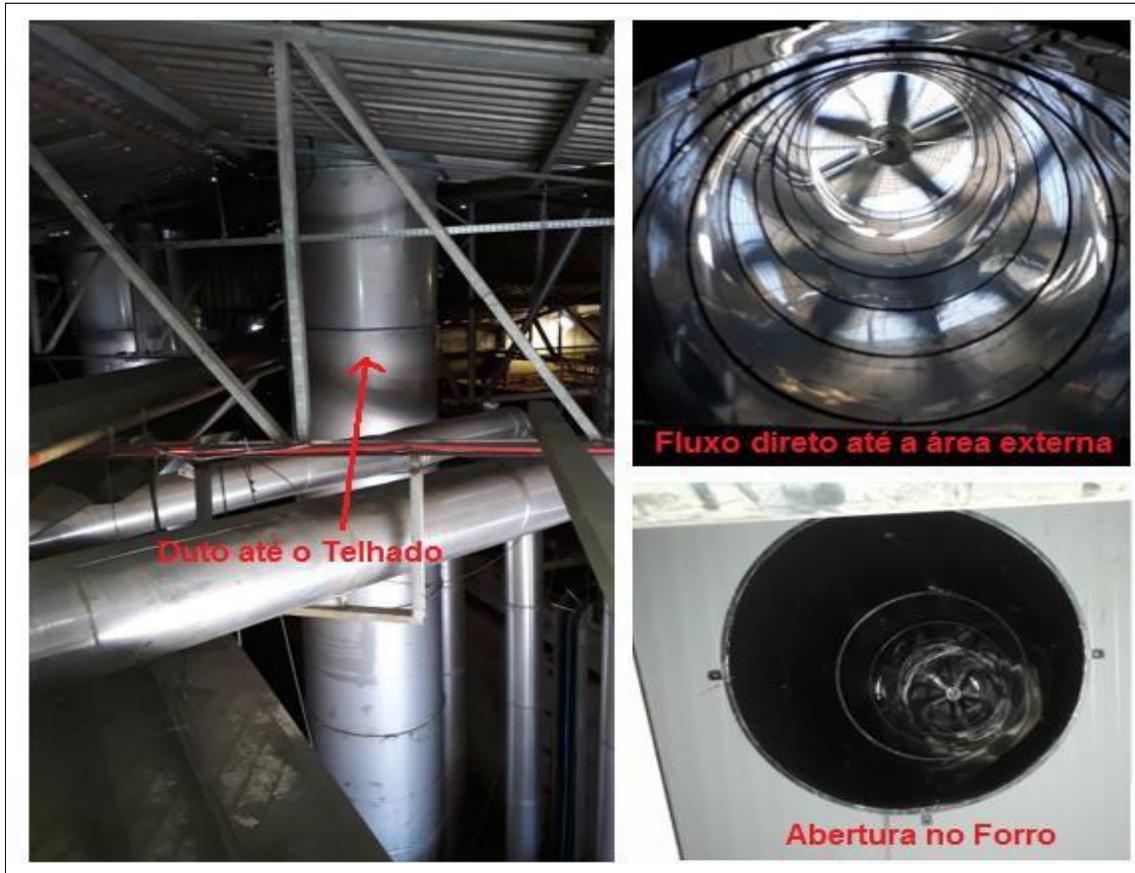


Figura 11: Exaustores

Fonte: Coca-Cola Moçambique

Por motivos de segurança a Coca-Cola Moçambique possui esse sistema embora funciona de forma independente. Estes ventiladores e exaustores são ligados 24 horas por dia. Após a integração no sistema, estes serão accionados automaticamente

somente em caso de vazamento de amônia.

11. Integração de sistemas de controlo

A proposta deste trabalho é integrar os três sistemas citados anteriormente, a integração possibilita intervir no sistema de controlo de refrigeração de forma automática (desligamento de válvulas) com base nas leituras das concentrações dos detectores de amônia e, também, accionar o sistema de ventilação e exaustão de emergência quando for necessário.

A interligação entre o sistema de detecção de amônia e o sistema de controle da refrigeração deve ser feita conectando as saídas dos PLC's através de cabos de rede entre as redes ethernet de cada sistema. Já a interligação entre o sistema de ventilação e exaustão de emergência e o sistema de controle da refrigeração deve ser feita com cabos de comando no PLC de amônia.

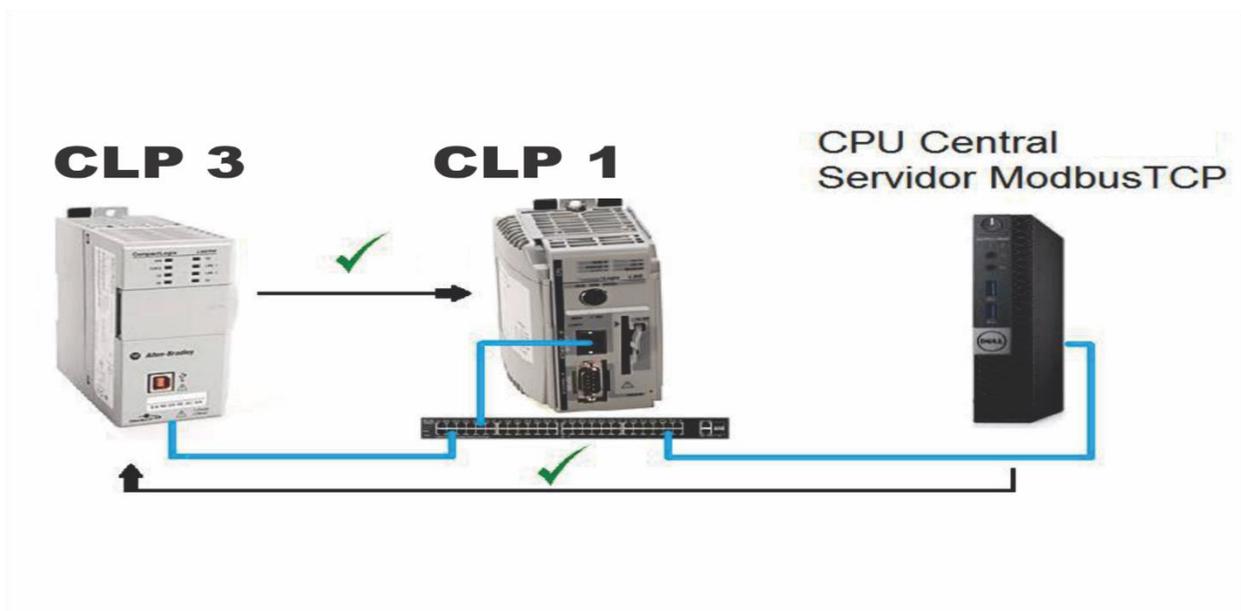


Figura 12: Interligação do sistema de refrigeração e de amônia

Antes de conectar o cabo de comunicação entre as duas redes, ambas foram escaneadas a fim de verificar que não houvesse nenhum conflito de endereço IP. Um endereço IP duplicado na rede poderia gerar falha nas comunicações dos CLPs de outros setores da fábrica, causando parada de produção.

A proposta deste trabalho é integrar os três sistemas citados anteriormente, a integração possibilita intervir no sistema de controle de refrigeração de forma automática (desligamento de válvulas) com base nas leituras das concentrações dos detectores de amônia e, também, accionar o sistema de ventilação e exaustão de emergência quando for preciso.

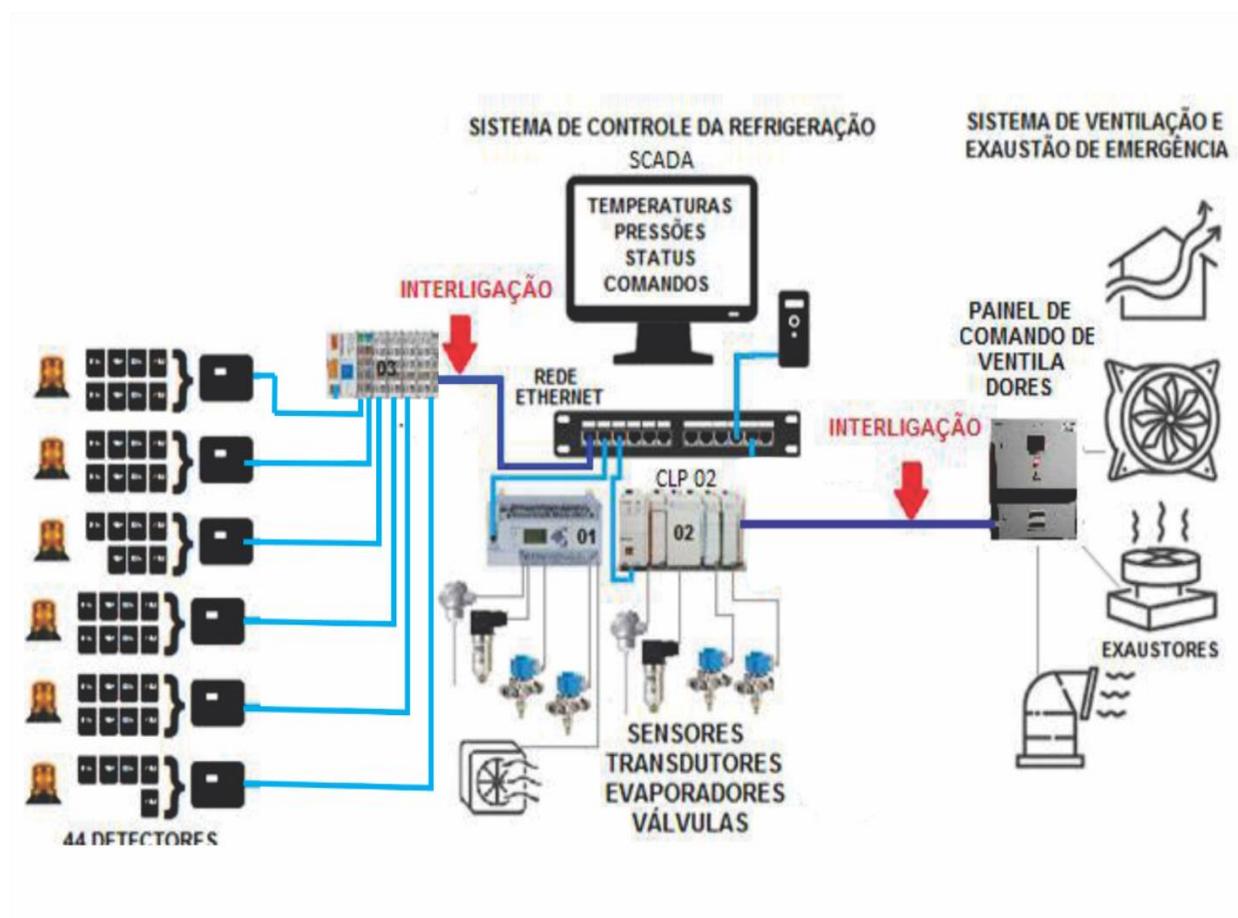


Figura 13: Interligação dos 3 sistemas

12. Leitura das concentrações dos detectores de amônia

O Sistema de detecção de amônia disponibiliza as informações de leitura dos detectores de amônia por meio de um servidor Modbus configurado na CPU principal. Desta maneira, é possível realizar a leitura de todas as concentrações de amônia utilizando a comunicação Modbus através da rede ethernet interligada. A tabela abaixo mostra os endereços Modbus que contém a informação de cada um dos sensores na sua respectiva central.

Tabela 2: Endereço Modbus dos detectores de Amônia

Fonte: Autória Própria

| Modbus Endereço | Central Endereço (supervisório) | Sensor endereço | Enthernet | Equipamento TAG | Sinal Analogico |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 4001 | 1 | 00 | 192.168.0 | Detector | 4 a 20mA |
| 4002 | 2 | 01 | 192.168.0 | Detector | 4 a 20mA |
| 4003 | 3 | 02 | 192.168.0 | Detector | 4 a 20mA |
| 4004 | 4 | 03 | 192.168.0 | Detector | 4 a 20mA |

Embora tenha dispositivos comuns entre os pontos de cada estágio da planta, como sensores de temperatura, válvulas de liquido e gás, evaporadores, cada PLC tem a sua logica ajustada para controlar um sector específico, sendo necessário realizar alterações pontuais na programação de cada um deles.

13. Lógica de controlo nos PLC (LOGO Siemens)

Com as informações das concentrações de amônia que seram feitas nos PLC do sistema de controlo de refrigeração, a proposta sugere implementar uma lógica de controlo nos PLC de cada ambiente.

A lógica deve fazer com que, ao detectar um vazamento de amônia acima de 10 ppm, seja acionado um alerta visual no supervisório (HMI) para os operadores. Caso a concentração detectada ultrapasse 20 ppm, seja desligada a válvula que direciona líquido ao evaporador daquele ambiente e, ao mesmo tempo, acione os ventiladores e exaustores para retirar o gás do ambiente, e desligar os compressores.

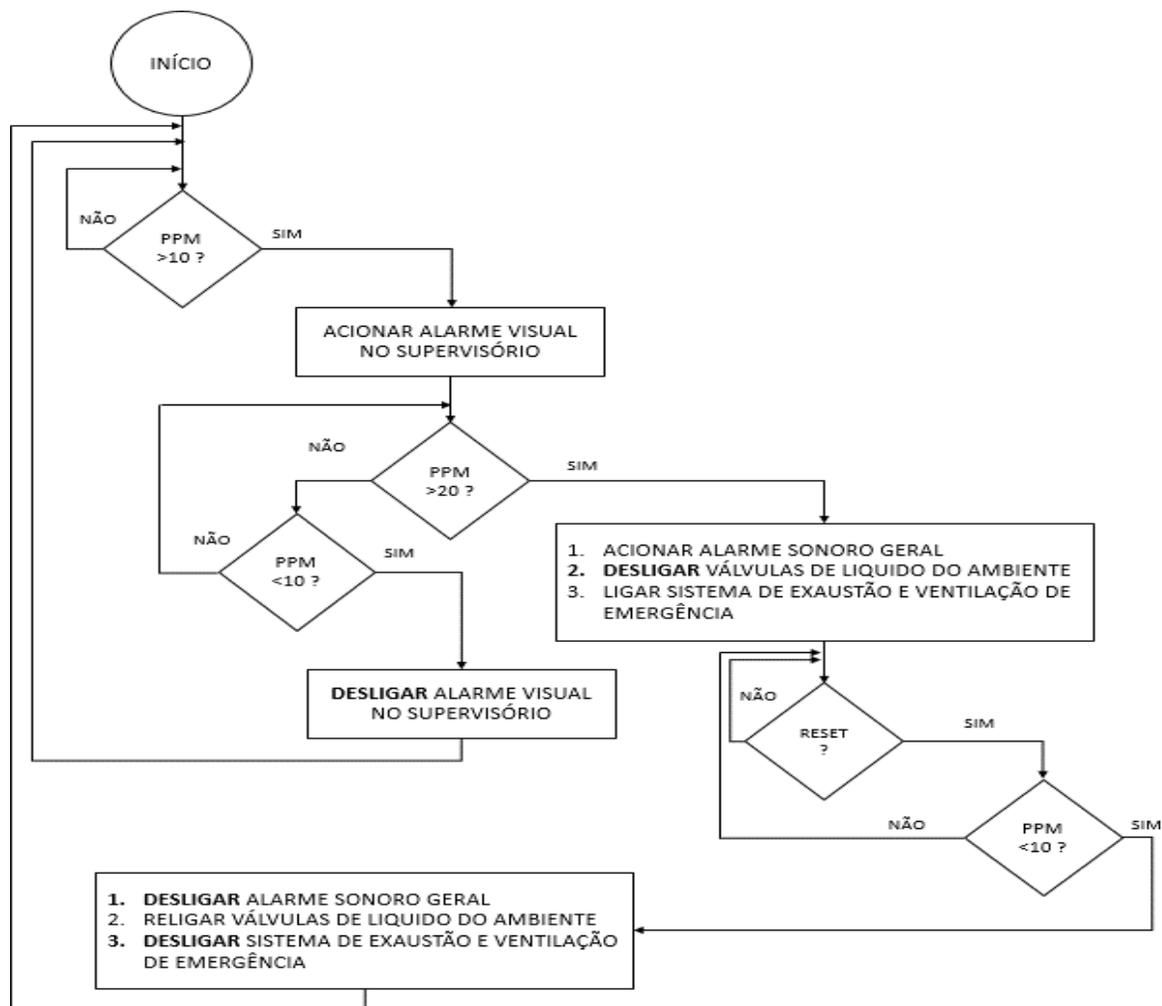


Figura 14: Fluxograma do PLC

14 Programação dos Alarmes no Supervisório

Ao disparar um alarme o supervisório deve mostrar uma mensagem na tela e acionar um sinal sonoro. Ao reconhecer o alarme, caso o problema já tenha sido resolvido, o sinal sonoro deve ser desligado e o alarme arquivado.

A proposta engloba outro modo de visualização do alarme, na planta do setor, onde sugere-se observar as concentrações de amônia bem como a localização física de cada detector. Um esquema de cores deve ser adotado para facilitar diagnósticos, sendo verde equivalente à 0 ppm, laranja entre 0 e 20 ppm e acima disso, vermelho.

Tabela 3: Endereços IP

Rede de Amônia

| Descrição | IP |
|----------------------|---------------|
| CPU Servidor Central | 192.168.0.103 |
| CPU Monitoramento | 192.168.0.109 |
| Central 1 | 192.168.0.110 |
| Central 4 | 192.168.0.111 |
| Central 5 | 192.168.0.112 |
| Central 6 | 192.168.0.113 |
| Central 3 | 192.168.0.117 |
| Central 2 | 192.168.0.121 |

Rede de Refrigeração

| Descrição | IP |
|------------------|---------------|
| PLC Compressor 1 | 192.168.0.103 |
| PLC Compressor 2 | 192.168.0.109 |

Com todos os endereços dos dispositivos configurados, as duas redes puderam ser interligadas com um cabo de rede. Em seguida, iniciaram os trabalhos para estabelecer a comunicação Modbus TCP entre a CPU central da amônia e os CLPs da refrigeração.

A proposta define que a o sistema possibilite desativar o desligamento da válvula de líquido em caso de defeito confirmado de algum sensor. Este recurso é muito importante para evitar prejuízos de produção e foi solicitado pelos operadores da planta. Uma possível solução é uma configuração no supervisório que desabilita o bloqueio das válvulas de um setor

15 Estimativa de custo para as alternativas propostas

Tabela 4: Estimativa de preços

| Equipamentos | Quantidade | Custo Total (MT) | Custo Total (MT) |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| PLC | 1 | 73752.21 | 73752.21 |
| Sensores de Amônia EC-FX-NH+A16 | 44 | 1600.02 | 70400.88 |
| Centrais ADR 301C | 6 | 7745.23 | 46471.38 |
| Switch RS485 | 1 | 3452.05 | 3452 |
| Cabo Ethernet RJ45 | 10 | 3807.06 | 38070.6 |
| Cabo FT-68-R | 100 | 264.03 | 26403 |
| Sinalizador | 1 | 1200.00 | 1200.00 |
| Consultoria (5%) | | | 38.042,00 |
| | | TOTAL | 297.7989,00 |

16 Conclusão

O presente trabalho têm a finalidade de integração de três sistemas na planta de refrigeração da Coca-Cola Moçambique, o sistema de controlo de refrigeração, o sistema de detecção de amônia e o sistema de ventilação e exaustão de emergência. Conforme os resultados obtidos na simulação em LADDER LOGO Siemens, a integração permitiu a execução automática de acções como o desligamento de válvulas de amônia e o accionamento de ventiladores e exaustores e alarmes de emergência. Essas características se mostraram auxiliadoras aos operadores da sala de máquinas na retomada das operações em caso de vazamento de amônia, contribuindo com o aumento da segurança das instalações e a diminuição do risco de intoxicação aos trabalhadores, contribuindo assim o alcance dos KPI de segurança na nossa organização.

O trabalho trouxe um grande aprendizado pessoal no que diz respeito ao processo de Utilidades e automação Industrial.

Por fim, após comprovação do funcionamento lógico de simulação no PLC foi percebido que a infraestrutura de tubulações de amônia influencia o resultado e pode limitar a eficiência do sistema. Por isso, há necessidade de acompanhamento constante tanto por parte dos operadores quanto da parte da automação de forma que haja melhoria contínua do sistema.

17 Referência Bibliográfica

- LEKOV, A., et al. **“Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California.”** 2009, doi:10.2172/962214
- GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** 3. ed. Pearson, 2010. 584 p. Tradução de: Jorge Ritter, Luciana do Amaral Teixeira e Marcos Vieira.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica:** projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 7. São Paulo: Érica, 2011.
- DOSSAT, Roy J. **Princípios da Refrigeração.** Hemus, 2004. Tradução de Raul Peragallo Torreira.
- MOHAMED, Ayad Khalifa. **Automation and Computer Integrated Manufacturing in Food Processing Industry:** An Appraisal. 2003. 197 f. Tese (Mestrado) - Curso de Eng. Mecânica, Dublin City University, Dublin, 2003. Disponível em: <http://doras.dcu.ie/18081/1/Ayad_Khalifa_Mohamed.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019.
- VAZAMENTOS PERIGOSOS. **Emergências com Amônia.** Nov. 2017. Disponível em: <<https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/Material-divulgado-Revista-Emerg%C3%Aancia-Especial-104.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.
- MOHAMED, Ayad Khalifa. **Automation and Computer Integrated Manufacturing in Food Processing Industry:** An Appraisal. 2003. 197 f. Tese (Mestrado) - Curso de Eng. Mecânica, Dublin City University, Dublin, 2003. Disponível em: <http://doras.dcu.ie/18081/1/Ayad_Khalifa_Mohamed.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019.
- LOWINSOHN, Denise; BERTOTTI, Mauro. **Sensores eletroquímicos:** considerações sobre mecanismos de funcionamento e aplicações no monitoramento de espécies químicas em ambientes. Quim. Nova. 29. 1318-1325. 10.1590/S0100-40422006000600029. 2006

ANEXOS

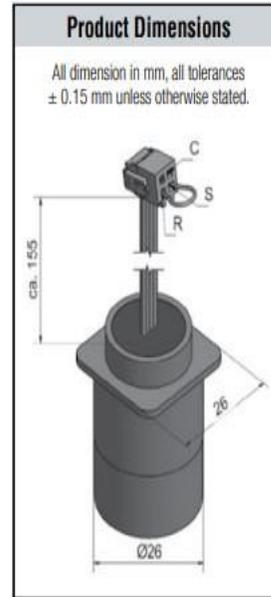
ANEXO 1. SENSOR DE AMÔNIA

Tabela A1.1.1-1: Especificações do Sensor

EC-FX SPECIFICATIONS

Ammonia Gas Sensor

| Measurement | |
|------------------------------------|---|
| Operating Principle | 3-electrode electrochemical |
| Measurement Range | 0-100, 0-200, and 0-250PPM NH ₃ |
| Maximum Overload | 500 ppm |
| Lower Detection Limit | < 10 ppm |
| Filter | None |
| Sensitivity | 100 ± 40 nA/ppm |
| Response Time (T90) | < 30 s |
| Baseline Offset (clean air) | < ±0.2 mA |
| Zero Shift (+10°C to +40°C) | < 4 ppm |
| Accuracy | ± 5% full scale* |
| Repeatability | < 10% of full scale |
| Mechanical | |
| Housing Material | Polyphenylene Oxide (PPO) Noryl |
| Weight | 4.5 g |
| Orientation | Vertical only |
| Environmental | |
| Typical Applications | Industrial refrigeration, cold storage, and rooms |
| Operating Temperature Range | Continuous: -4° to 122°F (sensor only) Storage: -58° to 122°F (sensor only) |
| Operating Pressure Range | Atmospheric ± 10% |
| Operating Humidity Range | 5% to 95% RH non-condensing |
| Intrinsic Safety Data | |
| Maximum at 1000ppm | < 0.14 mA |
| Maximum o/c Voltage | < 1.2 V |
| Maximum s/c Current | < 100 mA |
| Lifetime | |
| Long Term Output Drift | < 5% per 6 months |
| Expected Operating Life | Cold Storage: 3-4 years in average conditions Engine Room: 2-3 years in average conditions |
| Storage Life | 6 months in sealed container |
| Standard Warranty | Three years from date of shipment |



Cross-sensitivity Data

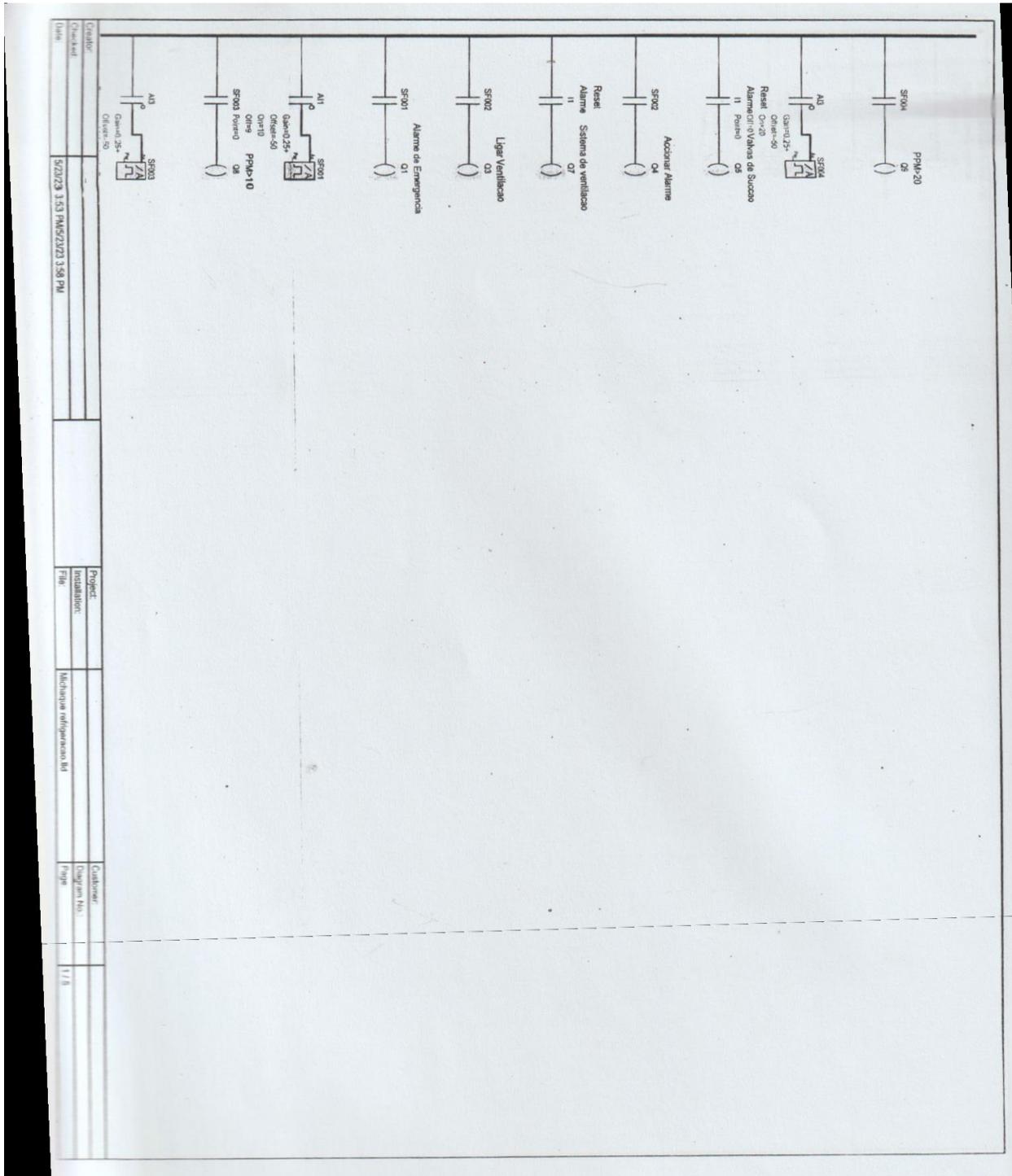
While Honeywell cells are designed to be highly specific to the gas they are intended to measure, they will still respond to some degree to certain gases. The table below is not exclusive and other gases not included in the table may still cause a sensor to react.

| Gas | Concentration Used (ppm) | Reading (ppm) |
|---|--------------------------|---------------|
| Carbon Dioxide CO ₂ | 5000 | 0 |
| Ethylene C ₂ H ₄ | 200 | 0 |
| Carbon Monoxide CO | 50 | 13 |
| Hydrogen Sulfide H ₂ S | 10 | 47 |
| Sulfur Dioxide SO ₂ | 20 | 16 |
| Iso-Propanol C ₃ H ₇ OH | 11000 | 21 |
| Hydrogen H ₂ | 3000 | 141 |
| Methane CH ₄ | 18500 | 0 |
| Ozone O ₃ | 0.25 | -1 |
| Chlorine Cl ₂ | 10 | -20 |

The cross-sensitivity values quoted are based on tests conducted on a small number of sensors. They are intended to indicate sensor response to gases other than the target gas. Sensors may behave differently with changes in ambient conditions and may show some variation from the values quoted.

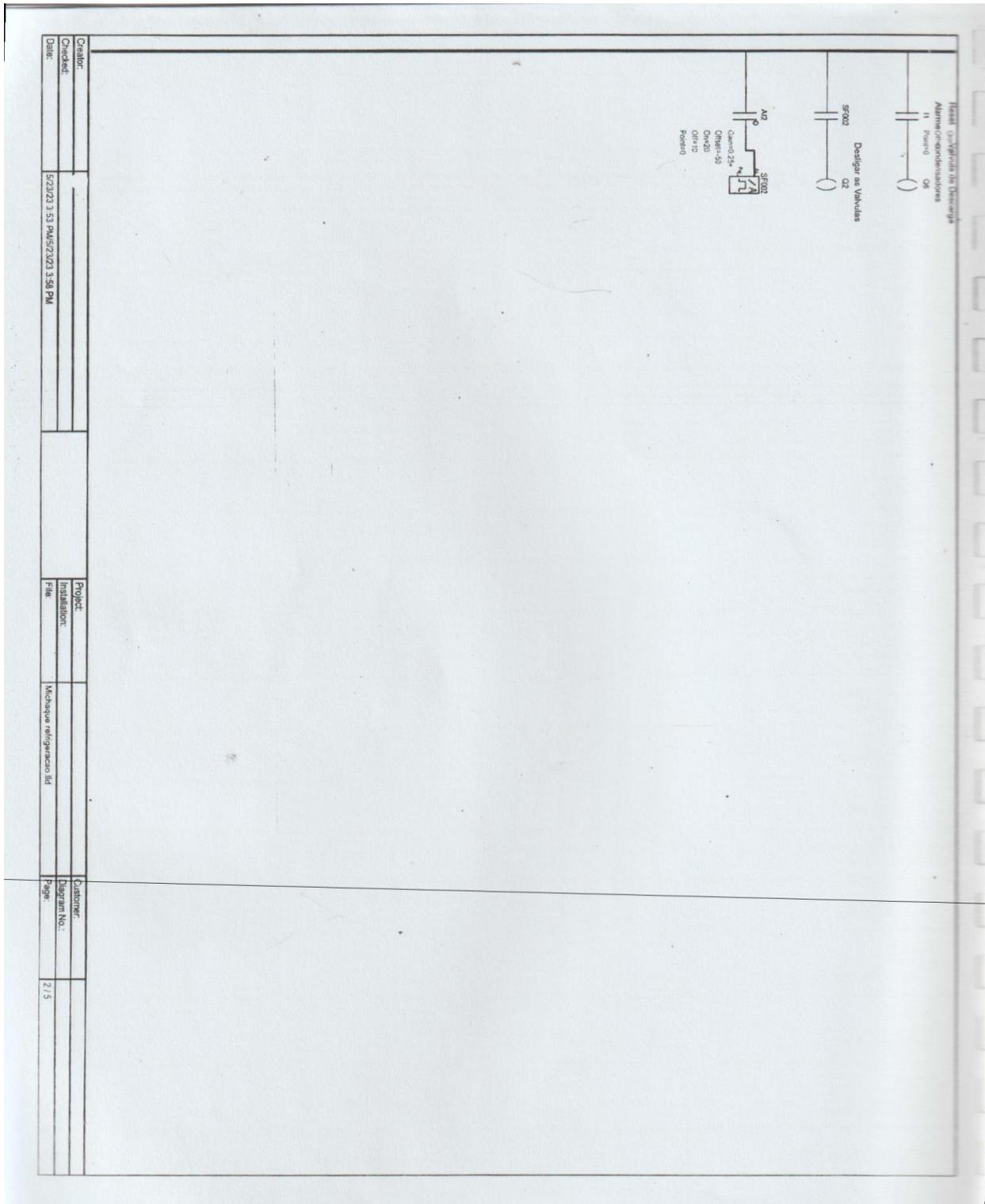
ANEXO 2. PROGRAMA DO PLC

Tabela A2.2.1-2: Entradas e saídas do PLC



ANEXO 2. PROGRAMA DO PLC

Tabela A2.2.2-3: Entradas e saídas do PLC



| | | | | | |
|----------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------|-----|
| Created: | | Project: | | Customer: | |
| Checked: | | Installation: | | Diagram No.: | |
| Date: | 5/23/23 3:53 PM/5/23/23 3:58 PM | File: | Michaque refrigeracao lid | Page: | 2/5 |

ANEXO 2. PARÂMETROS DO PROGRAMA

Tabela A2.2.3-4: Entradas e saídas do PLC

| Block Number (Type) | Parameter |
|--|--|
| I1(Make contact) : Reset Alarme | |
| I1(Make contact) : Reset Alarme | |
| I1(Make contact) : Reset Alarme | |
| Q1(Relay coil) : Alarme de Emergencia | |
| Q2(Relay coil) : Desligar as Valvulas | |
| Q3(Relay coil) : Ligar Ventilacao | |
| Q4(Relay coil) : Accionar Alarme | |
| Q5(Relay coil) : Valvas de Succao | |
| Q6(Relay coil) : Valvula de Descarga condensadores | |
| Q7(Relay coil) : Sistema de ventilacao | |
| Q8(Relay coil) : PPM>10 | |
| Q9(Relay coil) : PPM>20 | |
| SF001(Analog threshold trigger) : | Gain=0.25+ Offset=-50 On=10 Off=9 Point=0 |
| SF002(Analog threshold trigger) : | Gain=0.25+ Offset=-50 On=20 Off=10 Point=0 |
| SF003(Analog threshold trigger) : | Gain=0.25+ Offset=-50 On=10 Off=0 Point=0 |
| | |
| Creator: | Project: |
| Checked: | Installation: |
| Date: 5/23/23 3:53 PM/5/23/23 3:58 PM | File: Michaque refrigeracao.lid |
| Customer: | Diagram No.: |
| | Page: 4 / 5 |

ANEXO 2. PARÂMETROS DO PROGRAMA

Tabela A2.2.4-5: Entradas e saídas do PLC

| Block Number (Type) | Parameter |
|-----------------------------------|---|
| SF004(Analog threshold trigger) : | Gain=0.25+ Offset=-50 On=20 Off=0 Point=0 |

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ATA DE ENCONTRO

REFERÊNCIA DO TÍTULO: [] DATA: 24/03/23

1. AGENDA

2. PRESENCAS

3. RESUMO DO ENCONTRO

4. RECOMENDAÇÕES

5. OBSERVAÇÕES

DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO: 24/04/23

| | | | | | |
|----------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------|-------|
| Creator: | | Project: | | Customer: | |
| Checked: | | Installation: | | Diagram No.: | |
| Date: | 5/23/23 3:53 PM/5/23/23 3:58 PM | File: | Michaque refrigeracao.lid | Page: | 5 / 5 |