

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

SILAS ELIÚDE MARINHO DA SILVA

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL EMPREGADO
EM UM INCUBATÓRIO ARTIFICIAL**

**Ilha Solteira
2024**

SILAS ELIÚDE MARINHO DA SILVA

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL EMPREGADO
EM UM INCUBATÓRIO ARTIFICIAL**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Carlos Antônio Alves
Orientador

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586a Silva, Silas Eliude Marinho da.
Análise de um sistema de climatização industrial empregado em um incubatório artificial / Silas Eliude Marinho da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
80 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Carlos Antônio Alves

Inclui bibliografia

1. Controle. 2. Automação. 3. Temperatura. 4. Umidade . 5. Pressão .

Elaborado por Raiane da Silva Santos - CRB - 8/9999

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

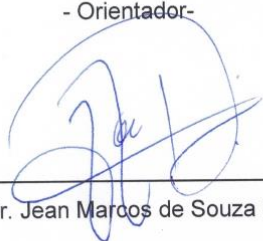
Aos dezessete dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e quatro, o discente Silas Eliúde Marinho da Silva, matriculado sob o nº 201050935, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Carlos Antonio Alves, o Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro e o Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "ANÁLISE DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL EMPREGADO EM UM INCUBATÓRIO ARTIFICIAL", obtendo a nota 9.0 (NOVE) e conceito APROVADO.



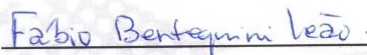
Prof. Dr. Carlos Antonio Alves
- Orientador -



Silas Eliúde Marinho da Silva
- Discente -



Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro
- Membro da Banca -



Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão
- Membro da Banca -

Resumo

Este trabalho trata-se da análise e estudo do sistema de climatização empregado em incubatórios artificiais de pintainhos, sistema este específico para a área avícola e que tem como objetivo proporcionar um ambiente ideal de incubação para que os pintainhos possam atingir o seu máximo potencial genético. Para tal, estudou-se um sistema de climatização industrial de água gelada a Chiller e seus subsistemas essenciais para o controle dos principais parâmetros: umidade relativa, temperatura e pressão de todas as áreas de produção de um incubatório (sala de ovos, incubação, nascedouro, sexagem e sala de pintos). O presente estudo foi realizado através das metodologias de pesquisa bibliográfica e documental para se obter uma base teórica sobre o tema e pesquisa empírica realizando um estudo de caso através de uma pesquisa de campo. A pesquisa de campo foi realizada no incubatório de Iporã - PR. A análise dos resultados foi realizada de modo qualitativo e quantitativo e constatou-se que o sistema projetado e instalado atende as demandas térmicas, de ventilação e de níveis de umidade conforme solicitado pelo cliente.

Palavras Chaves: controle e automação, temperatura, umidade, pressão, incubação.

Abstract

This work deals with the analysis and study of the climate control system employed in artificial chick hatcheries. This system is specific to the poultry sector and aims to provide an ideal incubation environment for chicks to reach their maximum genetic potential. To this end, an industrial chilled water air conditioning system (Chiller) and its essential subsystems for controlling key parameters such as relative humidity, temperature, and pressure in all production areas of a hatchery (egg room, incubation, hatching, sexing, and chick room) were studied. The present study was conducted through bibliographic and documentary research methodologies to obtain a theoretical basis on the subject, and empirical research was carried out through a case study with field research. The field research was conducted at the hatchery in Iporã - PR. The results were analyzed qualitatively and quantitatively, and it was found that the designed and installed system meets the thermal, ventilation, and humidity level demands as requested by the client.

Keywords: control and automation, temperature, humidity, pressure, incubation.

ÍNDICES DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Carta Psicrométrica.....	17
Figura 2 - Sistema de água gelada por termoacumulação	24
Figura 3 - Circuito Primário de Água Quente	25
Figura 4 - Sistema de Volume de AR Variável (VAV).....	28
Figura 5 - Componentes de um Chiller de Condensação a Ar	29
Figura 6 - Esquema de uma bomba centrífuga	30
Figura 7 - Curvas características de uma bomba centrífuga e do sistema	31
Figura 8 - Exemplo de uma Unidade de Tratamento de Ar	33
Figura 9 - Sistema de controle em malha fechada.....	35
Figura 10 - Sensor de umidade e temperatura	36
Figura 11 - Sensor de Pressão para Ar	37
Figura 12 - Sensor de temperatura NTC.....	37
Figura 13 - Controlador Carel da linha pCO5	38
Figura 14 - Diagrama de entradas e saídas	40
Figura 15 - Diagrama sistema de controle de temperatura em malha fechada.....	42
Figura 16 - Elementos aplicados no controle de temperatura do ar em um duto	43
Figura 17- Diagrama de entradas e saídas do sistema de controle instalado no duto principal.	44
Figura 18 - Diagrama sistema de controle de temperatura em malha fechada.....	45
Figura 19 - Instalação sensor de umidade, temperatura e pressão para ar.....	46
Figura 20 - Instalação sensor temperatura para água NTC.	46
Figura 21 – Sistema instalado de umidificação de dutos	47
Figura 22 - Diagrama de conexão no controlador Carel	48
Figura 23 - Vista de frente do duto das incubadoras	49
Figura 24 - <i>Damper</i> controlado por atuadores proporcionais.....	49
Figura 25 - Configuração de instalação do sistema de leitura de pressão	50
Figura 26 - Elementos de controle de pressão por inversor	51
Figura 27 - Sistema de controle de pressão para uma sala individual de incubação.....	52
Figura 28 - Arranjo de sensores de umidade, temperatura e pressão instalados no duto PL ...	52

Figura 29 - Fluxograma hidráulico central de água gelada	55
Figura 30 - Diagrama circuito primário de água gelada.....	56
Figura 31- Esquema hidráulico de água gelada incubadoras	58
Figura 32 - Exemplo de bomba utilizada para os Fan Coils.....	60
Figura 33 - Fluxograma sistema de água quente	62
Figura 34 - Sistema de aquecimento primário.....	63
Figura 35 - Circuito secundário aplicado no condicionamento de ar das salas de incubação..	65
Figura 36 - Exemplo quadro de força utilizado para partida e controle de 4 (quatro) Fan Coils.	67
Figura 37 - Diagrama trifilar para montagem do quadro de força.....	68
Figura 38 - Leitura de umidade no duto principal apresentada no controlador.....	73

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Leitura de temperaturas efetuadas circuito primário AG.....	57
Gráfico 2 - Temperatura do fluido ao longo do tempo.....	59
Gráfico 3 - Pressão da linha de água gelada medida ao longo do tempo	60
Gráfico 4 - Curva da bomba selecionada	61
Gráfico 5 - Valores de temperatura de entrada e saída no tanque de água quente	64
Gráfico 6 - Temperatura do duto principal das incubadoras	69
Gráfico 7 - Pressão do <i>Plenum</i> Limpo.....	69
Gráfico 8 - Pressão do <i>Plenum</i> Sujo.....	70

TABELAS

Tabela 1 - Efeitos da variação de temperatura na casca do Ovo	19
Tabela 2 - Configuração de sensores de entrada e saída da sala de máquinas	39
Tabela 3 - Levantamento quantidade de sensores e controladores do duto.....	43
Tabela 4 - Levantamento de sensores sala de incubação.....	50
Tabela 5: Valores de carga térmica de refrigeração e aquecimento	54
Tabela 6 - Comparação valores teóricos <i>versus</i> medidos em campo	64
Tabela 7 - Dados utilizados para dimensionamento dos <i>Fan Coils</i>	66
Tabela 8 - Dados utilizados para dimensionamento dos <i>Fan Coils</i> (Continuação).....	66

Tabela 9 - Resultados medidos de umidade relativa	72
Tabela 10 - Comparação dos resultados medidos de umidade vs valores de projeto.....	72

LISTA DE SIGLAS

AG	Água Gelada
AHU	Air Handling Unit
AQ	Água Quente
BAG	Bomba de Água Gelada
BAGFC	Bomba Água Gelada Fan Coil
BAQ	Bomba de Água Quente
BAUM	Bomba de Umidade
EX	Exaustor
FC	Fan Coil
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
INC	Incubação
NAS	Nascedouro
Pa	Pascal
PL	Plenum Limpo
PPR	Polipropileno Copolímero Random
PS	Plenum Sujo
TR	Tonne of Refrigeration
U/T/P	Umidade, Temperatura e Pressão
UTA	Unidade de Tratamento de AR
VAV	Volume de Ar Variável
VFD	Variable Frequency Drive

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Climatização de um Incubatório Artificial	11
1.2	Justificativa	12
1.3	Objetivo Geral	12
1.4	Objetivo Específico	12
1.5	Metodologia	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Premissas Para o Dimensionamento de um Sistema de Climatização	13
2.1.1	Psicrometria	14
2.1.2	Conceitos de Temperatura Aplicados na Climatização	17
2.2	Condições ambientais ideais para incubação de ovos	18
2.2.1	Temperatura	19
2.2.2	Umidade	20
2.2.3	Pressão (Ventilação)	21
2.3	Sistema de Climatização Aplicado em um Incubatório Artificial de pintainhos.	22
2.3.1	Normas Aplicadas a Sistemas de Climatização Industrial	22
2.3.2	Central de Água Gelada	23
2.3.3	Central de Água Quente	24
2.3.4	Sistema de Umidificação	25
2.3.5	Sistema de Ventilação	26
2.3.6	Descrição e Composição do Sistema de Climatização	28
2.3.6.1	Chiller	28
2.3.6.2	Bomba Centrífuga	30
2.3.6.3	Inversor de Frequência	32
2.3.6.4	Fan Coil	33
2.3.7	Sistema de Controle e Automação em Malha Fechada	35
2.3.8	Sistema de Controle de Temperatura Aplicado em um Incubatório	41
2.3.9	Sistema de Controle de Umidade Aplicado em Um Incubatório	46
2.3.10	Sistema de Controle de Pressão Aplicado em um Incubatório	48
3	ESTUDO DE CASO	53

3.1	Dimensionamento do Sistema de Climatização	53
3.2	Central de Água Gelada	54
3.2.1	Controle de Temperatura e Pressão Circuito de Água Gelada.....	58
3.3	Central de Água Quente	62
3.4	Circuito Secundário de Controle de Temperatura e Pressão do Ar Insuflado ...	64
3.5	Controle de Umidade	70
4	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A incubação artificial de pintainhos é um processo muito importante na indústria avícola, pois permite a produção em larga escala de aves para consumo humano. Os ovos são incubados em condições controladas de temperatura, umidade e ventilação, de modo a proporcionar um ambiente ideal para o desenvolvimento embrionário, permitindo que os embriões se desenvolvam e eclodam como pintos saudáveis. A incubação pode ser realizada de forma natural, com a galinha chocando os ovos, ou de forma artificial, utilizando incubadoras. A incubação é um processo fundamental para a continuação da atividade, já que é essencial para a geração de novos indivíduos e para a renovação dos plantéis. Além do aspecto biológico, a incubação desempenha um papel economicamente significativo na avicultura, envolvendo investimentos consideráveis. Esses investimentos ou custos são determinantes para a viabilidade da atividade, seja em uma pequena criação de galinhas destinadas ao consumo da família, seja em um incubatório comercial que abastece a indústria avícola em grande escala. Portanto, é de extrema importância prestar atenção aos aspectos técnicos envolvidos nesse processo decisivo, a fim de obter resultados satisfatórios na eclosão dos ovos e na qualidade e vitalidade dos pintainhos (VIOLA *et al*, 2019).

O Brasil e os Estados Unidos, quando considerados em conjunto, detêm uma fatia significativa de 69% das exportações globais de carne de frango. O Brasil, em particular, conquistou uma participação de mercado de 38%, enquanto os Estados Unidos detêm 31%. Em 2000, as exportações brasileiras de carne de frango totalizavam 916 mil toneladas. No entanto, até 2012, esse número experimentou um notável aumento, atingindo cerca de 4 milhões de toneladas de carne de frango. Além disso, o país exportou 180 mil toneladas de carne de peru e 27 mil toneladas de ovos, incluindo ovos férteis e material genético (BAPTISTA *et al*, 2021). A produção de pintainhos de um dia é um dos segmentos mais importantes da cadeia avícola. O ambiente de incubação de frangos de corte precisa ser homogêneo e adequado de modo a não afetar os nascimentos e a qualidade do produto final (GIGLI *et al*, 2009).

A incubação de pintos também é importante do ponto de vista da saúde das aves. Quando os ovos são incubados em condições ideais, os embriões se desenvolvem de forma saudável e os pintos nascem com um sistema imunológico forte. Isso os torna menos propensos a doenças e mais capazes de sobreviver em ambientes de criação. É nesse momento que se inicia o ciclo, dando origem ao pintainho que, posteriormente, se tornará o produto principal da cadeia: a carne de frango. Ignorar certos fatores, sobretudo os físicos, como

temperatura, umidade relativa do ar, viragem dos ovos e ventilação, durante o processo de incubação pode resultar em prejuízos significativos. Esses fatores são essenciais para criar as condições ideais de ambiente. Dado que o desenvolvimento do embrião ocorre fora do organismo materno, é de suma importância fornecer ao embrião as condições adequadas para seu desenvolvimento. Isso envolve favorecer seu metabolismo, suas reações químicas, a troca de gases, a produção de calor, o controle do pH e a perda de umidade, garantindo, desse modo, uma eclosão bem-sucedida e a obtenção de pintainhos de alta qualidade (VIVAN, 2019). A seleção genética intensa e a redução na idade de abate tornaram a incubação artificial responsável por um terço da vida da ave. Portanto, é crucial para maximizar o desempenho produtivo após o nascimento (DECUYPERE *et al*, 2001).

1.1 Climatização de um Incubatório Artificial

A climatização na produção avícola moderna é indispensável, especialmente no que diz respeito ao processo de incubação. O local de incubação deve ser cuidadosamente controlado para garantir um ambiente adequado e estável para o desenvolvimento embrionário saudável, e, conseqüentemente, para alcançar altas taxas de eclosão.

A temperatura é um dos principais fatores ambientais que afetam o processo de incubação, pois influencia diretamente o desenvolvimento embrionário. O controle preciso da temperatura é necessário para garantir a taxa de eclosão desejada e minimizar o tempo de incubação. A umidade é essencial para garantir a integridade dos ovos e a saúde embrionária e é importante para garantir que a casca do ovo permaneça úmida e que os embriões não sequem durante o processo de incubação. A qualidade do ar também é importante na produção avícola, pois os gases tóxicos e a falta de ventilação adequada podem prejudicar a saúde dos animais e afetar a taxa de eclosão. A ventilação adequada é necessária para remover o excesso de umidade e gases tóxicos e fornecer ar fresco para os ovos e pintainhos (AVIAGEN, 2020).

A falta de controle adequado da temperatura, umidade e qualidade do ar pode levar a problemas como má formação embrionária, morte embrionária precoce e baixa taxa de eclosão. Portanto, é crucial manter um ambiente de incubação adequado e estável para garantir o sucesso do processo de incubação e a saúde e desenvolvimento dos pintainhos (COBB, 2020).

1.2 Justificativa

Abordar a engenharia e tecnologia aplicada no desenvolvimento deste sistema de climatização para incubatórios, além de mostrar a aplicação prática dos conceitos teóricos abordados durante a graduação.

1.3 Objetivo Geral

Analisar o funcionamento e desempenho deste sistema de climatização industrial baseado em um sistema de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (HVAC, em inglês) empregado em um incubatório artificial a fim de controlar parâmetros como umidade, temperatura e pressão, essenciais na produção em larga escala de pintainhos de qualidade. Para isso será feita a descrição e funcionamento dos sistemas de água gelada, água quente, umidificação e controle e automação. São abordados temas com foco na área elétrica como projetos elétricos e sistema de controle e automação.

1.4 Objetivo Específico

Estudar o sistema de controle e automação empregado no controle das variáveis: temperatura, umidade e pressão.

1.5 Metodologia

Este trabalho foi realizado através dos métodos de pesquisas literária e documental para formar uma base teórica e estudo empírico, aonde acompanhou-se em campo o funcionamento deste sistema de climatização através de visitas a diversos incubatórios. Foi realizado um estudo de caso no incubatório de Iporã – PR, no qual analisou-se os sistemas instalados de controle de temperatura, pressão e umidade através de medições, coleta de dados e *feedback* dos funcionários. O trabalho é dividido em:

- **Revisão da literatura**, onde verifica-se as premissas para o dimensionamento deste sistema e os seus principais componentes, focando nas máquinas elétricas e sistema de automação;
- **Estudo de caso**, onde analisou-se o sistema instalado e seu desempenho apresentando os aspectos de projeto e dimensionamento dos sistemas de controle e automação e apresentação dos resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se os principais tópicos referentes ao desenvolvimento de um sistema de climatização industrial aplicado em um incubatório. É abordado brevemente o estudo das propriedades do ar (psicrometria) importante no dimensionamento deste sistema, o estudo das condições ideais para a incubação de pintos observando os efeitos da temperatura, umidade e pressão no desenvolvimento dos pintainhos. Como foco principal são apresentados os principais componentes que formam as centrais de água gelada e água quente, sistema de umidificação, sistema de ventilação e sistema de controle e automação.

2.1 Premissas para o Dimensionamento de um Sistema de Climatização

O dimensionamento dos componentes deste sistema parte-se de valores de carga térmica e vazões já fornecidos pelo incubatório. A partir destes dados busca selecionar os principais componentes a fim de atender a demanda térmica da planta.

A carga térmica é o total de calor que precisa ser removido ou adicionado a um espaço para manter as condições desejadas de temperatura e umidade. No contexto de um incubatório, o cálculo da carga térmica leva em consideração fatores como:

Temperatura ideal para incubação: Geralmente, para pintos, a temperatura ideal durante a incubação pode variar entre 37,5°C e 39°C. O cálculo da carga térmica considera a necessidade de manter essa temperatura dentro da área de incubação.

Umidade relativa: A umidade relativa também é crítica para a incubação adequada dos ovos. A psicrometria é usada para calcular a umidade absoluta e relativa do ar, levando em conta a evaporação da água dos ovos e a necessidade de manter uma umidade relativa específica durante o processo de incubação.

Os cálculos de carga térmica devem ser precisos para dimensionar corretamente o sistema HVAC, determinando a capacidade de resfriamento ou aquecimento necessário, o fluxo de ar adequado e a umidificação/desumidificação requerida para manter as condições ideais no incubatório. Isso contribui para a saúde e o desenvolvimento adequado dos pintos, bem como para a eficiência energética do sistema, evitando excessos e garantindo um ambiente controlado e saudável para a incubação (ASHRAE, 2016).

2.1.1 Psicrometria

A psicrometria, ramo da termodinâmica que trata das propriedades do ar úmido, é utilizada para compreender a interação entre temperatura e umidade no ar. Os gráficos psicrométricos ajudam a determinar como as mudanças de temperatura e umidade afetam as condições do ar. Isso é fundamental no cálculo da carga térmica, pois permite estimar a quantidade de calor latente (associado à umidade) e calor sensível (associado à temperatura) que precisa ser removido ou adicionado ao ambiente. É aplicada no estudo de sistemas de ventilação, refrigeração e renovação de ar, bem como seu impacto em pessoas, animais e materiais. Ela é de extrema importância para o desenvolvimento de sistemas de climatização industrial, pois ajuda a compreender os diferentes componentes do ar e como eles estão ligados uns aos outros (SIXFLUX, 2023). Algumas propriedades que a psicrometria analisa são:

- **Ar Seco:** A maior parte dos gases que constituem o ar se encontram muito acima de sua temperatura crítica e não estão sujeitos à condensação em temperaturas acima de -100°C , praticamente não introduzi-se quaisquer erros ao tratar-se esta parte da mistura como um único gás denominado “ar seco”.

- **Ar úmido:** É a mistura de ar seco com o vapor. Entre as temperaturas de -40°C a $+65^{\circ}\text{C}$ e sob uma pressão total de até 300 kPa, tanto o ar seco como o vapor, bem como sua mistura se comportam aproximadamente como um gás ideal, o que permite aplicar-lhe a equação geral dos gases

- **Umidade específica (ou absoluta):** É a razão entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco em uma mistura. Ela indica o grau de saturação do ar, ou seja, quanto vapor de água ele contém.

- **Umidade relativa:** É a relação entre a umidade específica do ar e a umidade específica do ar saturado na mesma temperatura. Ela indica o percentual de vapor de água no ar em relação ao máximo possível naquela temperatura.

- **Pressão:** É a força exercida pelo ar sobre uma superfície por unidade de área. Ela influencia na capacidade do ar de reter vapor de água e na velocidade do fluxo do ar.

- **Entalpia (H):** A entalpia de uma mistura de ar seco e vapor de água é a energia contida no ar úmido, por unidade de massa de ar seco, para temperaturas superiores a uma determinada temperatura de referência (0°C). A entalpia, que é expressa em kcal ou kJ por kg de ar seco, é muito importante para o dimensionamento de aquecedores e sistema de secagem e composição do custo operacional dos diferentes sistemas.

A carta psicrométrica é uma ferramenta gráfica que mostra as relações entre essas propriedades e permite calcular os processos de transformação do ar, como aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação. Ela é usada para dimensionar e avaliar o desempenho dos sistemas HVAC.

Segue-se um exemplo prático de uso da carta psicrométrica no dimensionamento de um sistema de resfriamento para um ambiente:

1 - Definir condições internas e externas

- **Condições externas (ambiente):**
 - Temperatura do ar: 35°C
 - Umidade relativa: 60%
- **Condições internas (objetivo):**
 - Temperatura do ar: 24°C
 - Umidade relativa: 50%

2 - Localizar pontos na carta psicrométrica

- **Ponto P1 (condições externas):**

Na carta psicrométrica busca-se a linha de temperatura de bulbo seco de 35°C e a linha de 60% de umidade relativa. O ponto de interseção é o ponto P1.

- **Ponto P2 (Condições Internas):**

Deve-se encontrar a linha de temperatura de bulbo seco de 24°C e a linha de 50% de umidade relativa. O ponto de interseção é o ponto P2.

3 - Determinar propriedades psicrométricas

- **Para o ponto P1:**

Usando-se a carta, deve-se determinar a entalpia (h) e a umidade específica (w) para o ponto P1.

- **Para o ponto P2:**

Deve-se determinar a entalpia (h) e a umidade específica (w) para o ponto P2.

4 - Calcular a Carga Térmica

- **Cálculo da carga sensível:**

$$Q_{\text{sensível}} = m \cdot c_p \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{saída}}) \quad (1)$$

Sendo:

m' = vazão mássica de ar (kg/s)

cp = capacidade térmica específica do ar (aproximadamente 1,005 kJ/kg°C)

$T_{entrada}$ = temperatura do ar externo (35°C)

$T_{saída}$ = temperatura do ar condicionado (24°C)

- **Cálculo da carga latente ($Q_{latente}$):**

$$Q_{latente} = m' \cdot L \cdot (\Delta w) \quad (2)$$

Sendo:

L = calor latente de vaporização (aproximadamente 2500 kJ/kg)

Δw = diferença na umidade específica ($w_A - w_B$)

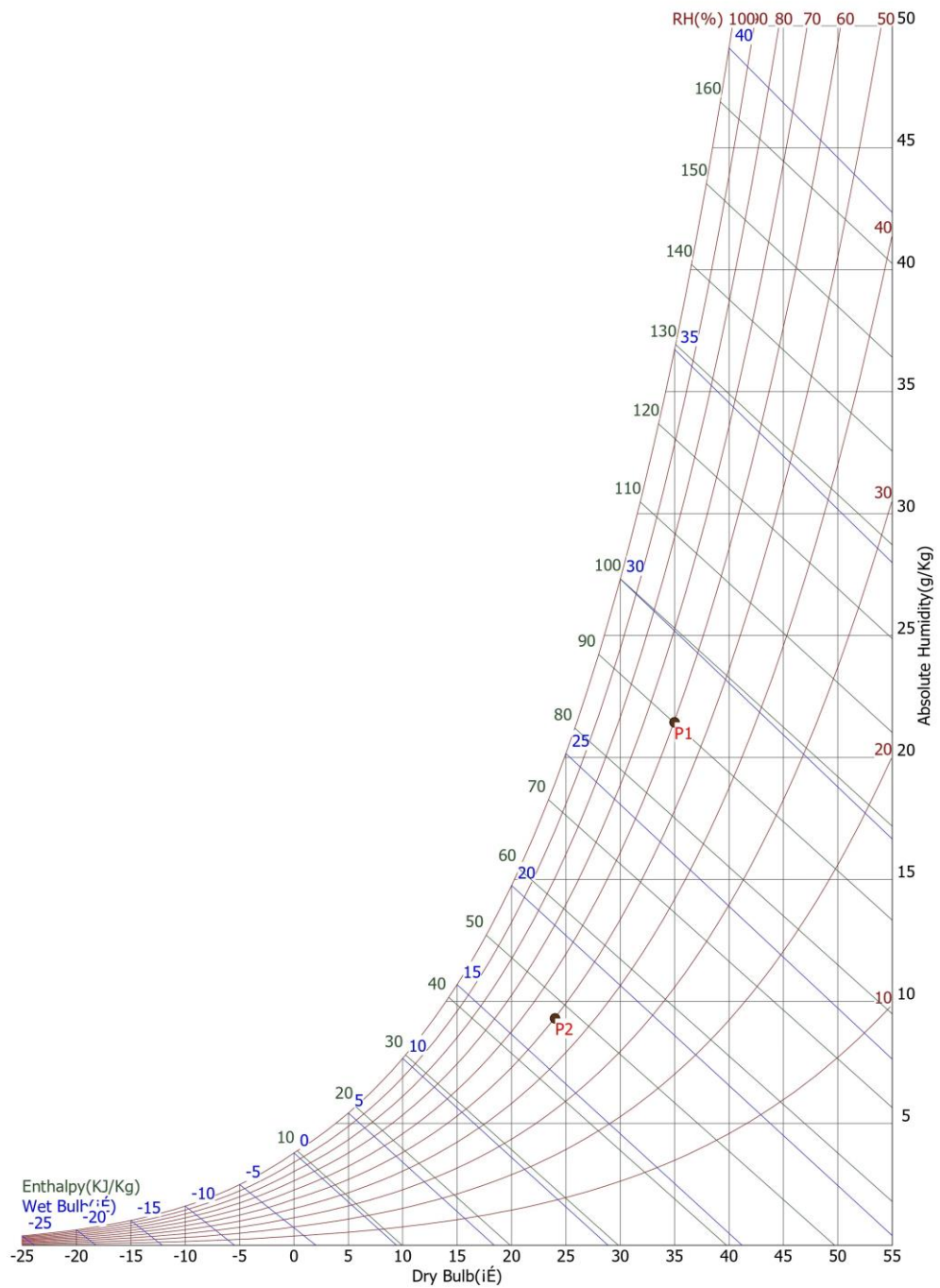
Assim tem-se:

- **Carga Total:**

$$Q_{total} = Q_{sensível} + Q_{latente} \quad (3)$$

Os pontos P1 e P2 encontrados são visualizados como exemplo na carta psicrométrica da Figura 1.

Figura 1 - Carta Psicrométrica



Fonte: Adaptado de Lats (2023)

2.1.2 Conceitos de Temperatura Aplicados na Climatização

A temperatura é uma medida do grau de agitação das moléculas de um corpo ou de um sistema. Em relação às propriedades termodinâmicas do ar úmido tem-se as seguintes propriedades relacionadas a temperatura (ASHRAE 2013):

Temperatura de bulbo seco (TBS): É a temperatura do ar medida por um termômetro comum, sem nenhuma interferência de umidade ou evaporação. Ela representa a energia cinética média das moléculas do ar.

Temperatura de bulbo úmido (TBU): É a temperatura do ar medida por um termômetro cujo bulbo está envolto por uma malha úmida, que permite a evaporação da água. Essa evaporação consome calor do termômetro, fazendo com que ele indique uma temperatura mais baixa do que a TBS. A TBU reflete a quantidade de umidade no ar e o seu potencial de resfriamento evaporativo.

A diferença entre as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido é chamada de depressão do ponto de orvalho e está relacionada com a umidade relativa do ar. Quanto maior a diferença, menor a umidade relativa; quanto menor a diferença, maior a umidade relativa. Se o ar está saturado, não há evaporação e as duas temperaturas são iguais.

A temperatura de bulbo seco e bulbo úmido são importantes para o projeto e o controle de sistemas de ventilação, refrigeração e renovação de ar, pois permitem determinar as propriedades psicrométricas do ar, como entalpia, volume específico e razão de mistura.

A temperatura pode ser medida através de vários instrumentos tais como

- **Termômetro de Bulbo:** instrumento mais conhecido para aferição de temperatura;
- **Termômetro de Infravermelho:** faz a medição através da emissão de ondas infravermelhas
- **Tiras de contato:** fitas que em contato com o objeto mudam de cor indicando a temperatura;
- **Sensores de Temperatura:** sempre associados a uma placa eletrônica

2.2 Condições ambientais ideais para incubação de ovos

Neste tópico são apresentadas as condições ambientais ideais para a incubação de ovos, incluindo temperatura, umidade relativa e ventilação. São discutidos os efeitos dessas variáveis no desenvolvimento embrionário, taxa de eclosão dos ovos e consequentemente na qualidade do pintainho com o objetivo de mostrar como estas variáveis afetam o ambiente e da necessidade de controle das mesmas.

2.2.1 Temperatura

De acordo com E. Decuyper, em seu artigo "Incubation temperature as a management tool: a review", a temperatura é um dos fatores físicos mais importantes na determinação ou influência do desenvolvimento embrionário e da taxa de eclosão. Quando os ovos são aquecidos acima da temperatura recomendada, a qualidade dos pintainhos será afetada mesmo antes do seu nascimento. Aviagen (2020) cita que:

Deve-se realizar a verificação da temperatura da casca do ovo entre os 16 e 18 dias de incubação. Caso a temperatura da casca ultrapasse 102°F (38,9°C), os pintainhos dos ovos "superaquecidos" nascerão prematuramente e apresentarão maior suscetibilidade à desidratação, além de serem mais pálidos, pequenos e com problemas na absorção do saco vitelino e cicatrização do umbigo. A baixa qualidade dos pintainhos resultará em maior número de descartes, crescimento inadequado e aumento da mortalidade ao longo do lote.

Janisch (2015) afirma que há um impacto grande à alteração da temperatura durante a embriogênese causando alterações no crescimento e nas características da carcaça afetando a qualidade da carne. De acordo com Gustin (2003), variações de ± 1 °C causam impactos significativos nos resultados da incubação, incluindo o prolongamento do período de nascimento, retardo no desenvolvimento embrionário, diminuição do ritmo de batimento cardíaco, atraso no nascimento, má formação e umbigo não cicatrizado. Por outro lado, temperaturas altas aceleram o desenvolvimento do embrião, mas podem resultar em problemas como má posição embrionária, pouca plumagem, bicagem e nascimentos prematuros. Na Tabela 1 tem-se as condições de temperatura e os resultados para a variação da mesma na casca do ovo.

Tabela 1 - Efeitos da variação de temperatura na casca do ovo

Temperatura da Casca do Ovo °C (°F)	Condições	Resultados
36,6 a 37,7 (98 a 99,9)	Muito frio	Eclosão lenta/ruim e qualidade ruim dos pintinhos
37,7 a 38,0 (100 a 100,5)	Ideal	Boa eclosão e boa qualidade dos pintinhos
38,0 a 38,8 (100,5 a 102)	Muito quente	Boa eclosão, mas qualidade ruim dos pintinhos
39,1 a 40,0 (102 a 104)	Muito quente	Eclosão ruim e qualidade ruim dos pintinhos

Fonte: (COBB, 2020)

Ainda segundo Cobb (2020), o impacto sobre embriões com altas temperaturas de casca de ovo ($>38,8^{\circ}\text{C}$; 102°F) durante incubação incluem:

✓ Os pintainhos podem ter tíbia, fêmur e metatarso mais curtos, baixos scores de umbigo, comprimento do corpo mais curto, peso menor, gemas residuais mais altas e estômagos, fígados e corações menores.

✓ O sistema imunológico também pode ser afetado negativamente, uma vez que o desenvolvimento da bursa e do timo for reduzido por temperaturas elevadas (superiores a 38,9°C; 102°F) durante a incubação.

✓ As temperaturas mais altas da casca do ovo durante a incubação (38,9°C) afetam negativamente o desenvolvimento do músculo cardíaco e podem causar hipertrofia ventricular direita e aumento da mortalidade associada à ascite.

E o impacto sobre embriões com baixas temperaturas de casca de ovo (abaixo de 37,7°C; 99,9°F) durante incubação incluem:

✓ O tempo total de incubação é estendido e pode causar um aumento na mortalidade embrionária.

✓ Os pintainhos podem ficar molhados, tornando-os mais suscetíveis ao frio.

✓ Os pintainhos podem ter baixos scores de umbigo.

✓ A eclodibilidade pode ser reduzida.

✓ Maiores gemas residuais, maiores pesos dos pintainhos e maior porcentagem de rendimento de pintainho.

2.2.2 Umidade

A umidade é uma das variáveis mais importantes quando se trata de incubação artificial. Ela é responsável por controlar a perda de água no ovo durante a incubação e a falta de um controle pode causar sérios prejuízos à produção. O volume de água perdida no ovo por evaporação é compensado pelo ar. Um alto nível de umidade impede a saída adequada da água, levando a uma pequena câmara de ar na extremidade maior do ovo. Durante a eclosão, o pintainho precisa romper as membranas para acessar a câmara de ar e fazer sua primeira respiração. Se a câmara de ar for muito pequena, o pintainho pode não conseguir romper internamente e completar a eclosão. Por outro lado, uma umidade muito baixa resulta em uma câmara de ar excessivamente grande, o que pode levar a pintainhos fracos e aderidos à casca, com alta taxa de mortalidade após a eclosão (BACKYARD, 2023).

Cobb (2020) afirma que a umidade é essencial durante o processo de eclosão para manter as membranas da casca macias e flexíveis, facilitando a saída do pintainho. Uma baixa umidade pode atrasar a eclosão e aumentar a mortalidade de 7 dias, enquanto uma umidade muito alta pode resultar em vísceras expostas. É importante manter uma umidade adequada para evitar que o saco vitelino seque rapidamente e cause problemas no umbigo dos pintainhos. Durante a eclosão, a umidade relativa deve ser em torno de 52 a 54%, aumentando conforme mais pintainhos quebram a casca. Depois que a maioria eclodir, a umidade absoluta volta ao ponto de ajuste, mas a umidade relativa deve ser mantida constante ao reduzir o perfil de temperatura para evitar o aumento do estresse térmico nos pintainhos recém-nascidos. O peso do ovo diminui devido à perda de umidade durante a incubação. Variações na perda de

umidade de ovos de mesmo peso durante a incubação contribuem para variações no peso do pintainho. A falta de controle da umidade pode causar vários efeitos negativos no processo de incubação e eclosão como exemplo Cobb (2020) cita:

Indicações de que a porcentagem total de perda de umidade do ovo é muito baixa:

- ✓ Célula de ar muito pequena.
- ✓ Pintainhos grudentos com detritos de casca de ovo presos a eles.
- ✓ Pintainhos maiores que o normal.
- ✓ Jarretes vermelhos ou escoriações no bico ou nas narinas.
- ✓ Abdomens aumentados.

Indicações de que a porcentagem total de perda de umidade do ovo é muito alta:

- ✓ Pintainhos quebrando a casca precocemente.
- ✓ Pintainhos eclodindo precocemente.
- ✓ Pintainhos desidratados.
- ✓ Pintainhos menores que o normal.
- ✓ Célula de ar muito grande.

2.2.3 Pressão (Ventilação)

A ventilação afeta diretamente o controle da temperatura, umidade e nível de CO₂ interno da incubadora. A condutividade ao redor do ovo é a maior barreira na troca de calor do ovo com o meio e está diretamente ligada a velocidade do ar, quanto menor a velocidade maior a diferença de temperatura do embrião e da incubadora. Conforme apresentado, a umidade no interior da incubadora precisa ser baixa para a perda de peso do ovo, uma velocidade alta dificulta essa perda de umidade afetando o desenvolvimento do embrião. O controle de CO₂ é de grande importância para a incubação e está relacionado com o processo de vascularização do embrião. Estudos mostram que um aumento no nível de CO₂ nos primeiros dez dias de incubação, pode melhorar o desempenho do embrião e ser benéfico para o crescimento do embrião (FERNANDES, 2019).

Tendo em vista a importância do controle destes parâmetros para a formação do pintainho, nos tópicos seguintes faz-se a análise e estudo do sistema empregado no controle destas variáveis onde foca-se na análise dos principais componentes necessários para o funcionamento deste sistema de climatização a fim de atender o controle da demanda térmica da planta, demanda de ar e de umidificação das salas e dutos. No tópico a seguir será abordado o sistema em estudo e seus componentes básicos.

2.3 Sistema de Climatização Aplicado em um Incubatório Artificial de Pintainhos

Este sistema visa climatizar o incubatório controlando temperatura, umidade e pressão de acordo com a necessidade específica do ambiente. O dimensionamento deste sistema é baseado nas demandas de carga térmica, vazões de ar e água gelada, demandas estas fornecidas pelo cliente. O sistema em geral é composto basicamente por uma central de água gelada, uma central de água quente, condicionadores de ar do tipo *Fan Coil*, bombas de circulação de água, controles e tubulações.

Neste tópico são revisadas as normas aplicadas, os subsistemas que formam este sistema de climatização, os fluxogramas e componentes das Centrais de Água Gelada, Água Quente, Umidificação e Sistema de Controle e Automação.

2.3.1 Normas Aplicadas a Sistemas de Climatização Industrial

Duas das principais organizações que desenvolvem normas para sistemas HVAC são a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) no Brasil e a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) internacionalmente. Aqui estão algumas normas importantes relacionadas a sistemas HVAC e que são seguidas nos projetos de climatização.

Normas Nacionais (ABNT - Brasil):

- NBR 16401: Esta norma brasileira estabelece os requisitos para a qualidade do ar interior em ambientes climatizados, definindo parâmetros para temperatura, umidade, velocidade do ar, taxa de renovação do ar, entre outros.
- NBR 13972: Define os critérios para o conforto térmico em ambientes climatizados artificialmente, incluindo valores recomendados de temperatura, umidade relativa, entre outros.

Normas Internacionais (ASHRAE):

- ASHRAE Standard 62.1: Esta norma estabelece os requisitos para a qualidade do ar interior e ventilação em edifícios.
- ASHRAE Standard 55: Esta norma trata do conforto térmico em ambientes climatizados artificialmente e oferece diretrizes para determinar as condições de conforto térmico.
- ASHRAE Standard 169: Esta norma fornece informações sobre o uso e o desempenho de sistemas de refrigeração, ventilação e ar condicionado em edifícios.

Na questão da produção dos pintainhos de qualidade segue-se normas sanitárias e internas dos incubatórios sempre focando na questão de biossegurança e no conforto térmico dos pintainhos e colaboradores onde os valores de temperatura, umidade e pressão aplicados são de acordo com estudos feitos anteriormente e descritos na seção 2.2.

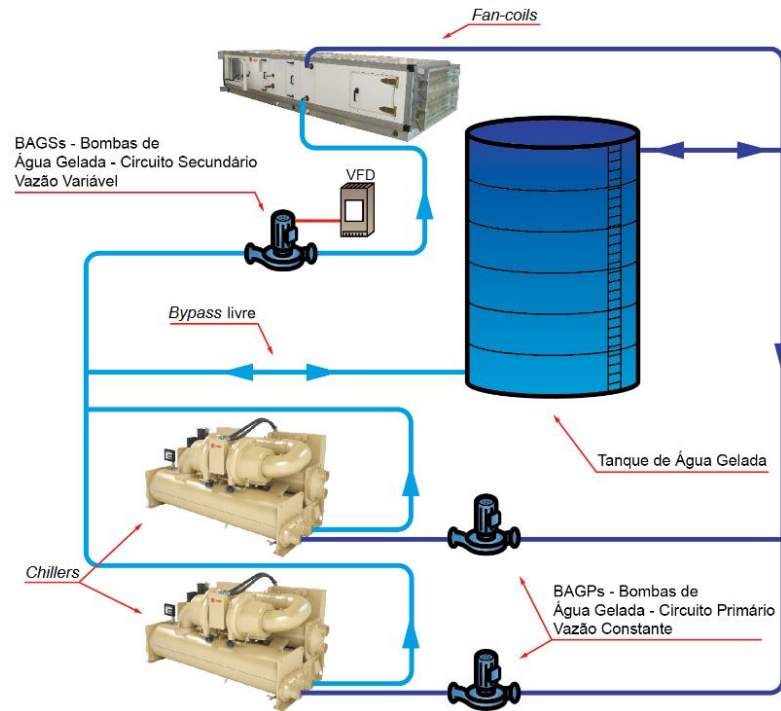
A seguir são apresentados os sistemas de resfriamento (central de água gelada) e aquecimento (central de água quente) e como são feitas as suas automações a fim de controlar a temperatura das salas, incubadoras e nascedouros.

2.3.2 Central de Água Gelada

O sistema de água gelada, que é aplicado em diversas obras, segue o padrão do fluxograma da Figura 2. Consiste em um *Chiller* para refrigeração da água, tanques (pulmões) para garantir um volume de água gelada pelo sistema e bombas para bombear a água gelada pelos diversos equipamentos como serpentinas dos *Fan coils*/Unidades de Tratamento de Ar, Incubadoras e nascedouros através de tubulações hidráulicas.

Este sistema se baseia em um sistema de termoacumulação de água gelada sendo o melhor e mais eficiente sistema de água gelada (PNUD, 2017). Tem como função fornecer água gelada para as máquinas incubadoras e nascedouros e para as serpentinas de água gelada do *Fan Coil*. Utiliza-se um ou mais *Chillers* para a refrigeração da água que circula por tanques sendo transmitida para a planta a 6 °C e retornando ao tanque a 12 °C. Utiliza-se de bombas primárias para bombear a água do lado “mais quente” do tanque para o *Chiller* através de tubulações hidráulicas, esta água de retorno chega ao *Chiller* a 12 °C e é refrigerada e transmitida ao lado mais frio do tanque a 6 °C onde é bombeada para a planta conforme a demanda do sistema. Existe um segundo tanque onde a água é armazenada entre 12 °C e 18 °C, utilizada no controle da temperatura das incubadoras e nascedouros através de uma válvula de mistura de 3 vias, onde é feito a mistura da água a 6 °C através do controlador Carel conforme o *setpoint* de temperatura programado. Está água misturada é bombeada para o sistema através de bombas próprias para Incubação/Nascedouro garantindo uma entrega de água a 12 °C e retorno a 18 °C para o tanque completando o ciclo.

Figura 2 - Sistema de água gelada por termoacumulação



Fonte: (PNUD, 2017).

2.3.3 Central de Água Quente

Este sistema é análogo ao de água gelada tendo como fonte de aquecimento uma ou mais caldeiras. O transporte do fluido é realizado através de bombas centrífugas primárias e secundárias construídas para trabalhar com água quente e se necessário um tanque para pulmão para termoacumulação.

Para transporte da água aquecida se utiliza de linhas hidráulicas de PPR que suportam altas temperaturas. Em resumo seus principais componentes são:

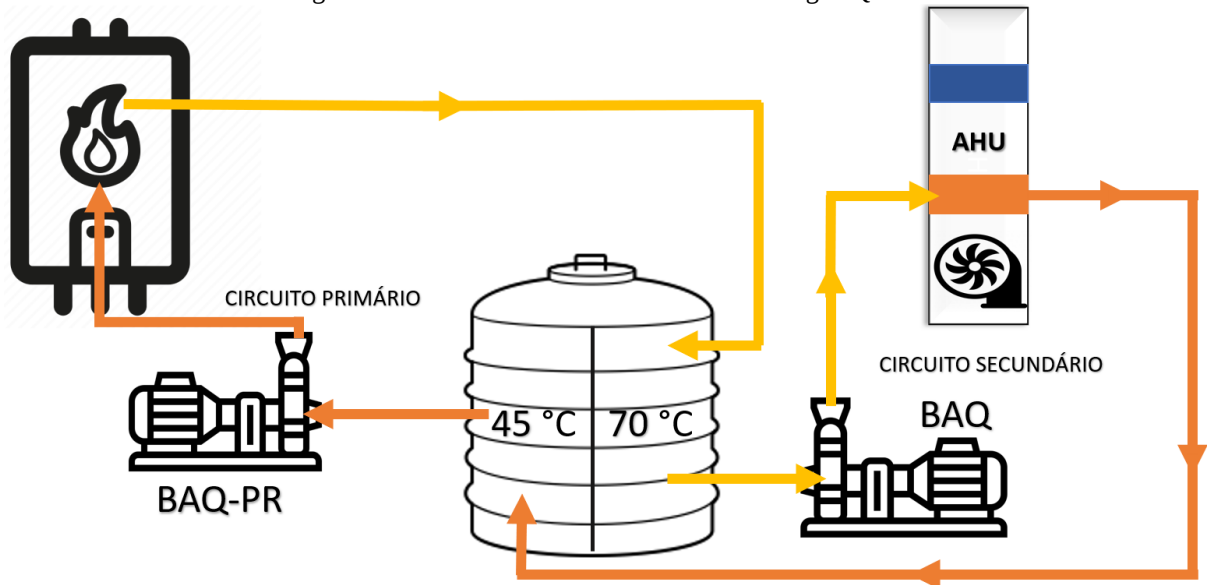
- Aquecedores
- Bombas Primárias de Água Quente
- Bombas Secundárias de Água Quente
- Tubulações e Conexões de PPR

a) Circuito de Água Quente

O funcionamento deste sistema é apresentado na Figura 3 e se baseia em um ou mais aquecedores produzindo água quente a 70°C que é transmitida através de bombas primárias para o tanque de AQ, este tanque é dividido ao meio em duas seções: Água que sai para a planta a 70°C e água que retorna da planta a 40°C . A água quente é bombeada para a planta

por estas mesmas bombas secundárias responsáveis por alimentarem a linha de água quente dos *Fan Coils*, incubadoras e nascedouros, conforme demanda do sistema.

Figura 3 - Circuito Primário de Secundário de Água Quente



Fonte: De autoria própria

2.3.4 Sistema de Umidificação

O sistema de umidificação é composto por uma linha de água natural e uma linha de ar comprimido. Para a umidificação dos dutos de cada sala utiliza-se uma caixa d'água instalada no forro onde a água é transportada por gravidade através de tubulações de PVC. Para as incubadoras e nascedouros se utiliza de bombas para o transporte da água natural. O ar comprimido é fornecido por um compressor e entregue à planta através de tubulações de PPR próprias.

a) Sistema de umidificação dos dutos

Este sistema funciona com a mistura da água natural com o ar comprimido, seus principais componentes são:

- Caixa d'água;
- Compressor Chicago 15 CV;
- Tubulação e conexões de PVC para água;
- Tubulação e conexões de PPR para ar comprimido;
- Reguladores de pressão;
- Bicos atomizadores.

2.3.5 Sistema de Ventilação

Como ventilação industrial entende-se o processo de retirar ou fornecer ar por meios naturais ou mecânicos. A ventilação tem por finalidade a limpeza e o controle das condições do ar, para que homens e máquinas convivam num mesmo recinto sem prejuízo de ambos (OLIVEIRA, 2020). Segundo Araújo (2023) os principais tipos de ventilação são:

a) Ventilação Natural

A ventilação natural é um método de ventilação que utiliza a pressão do ar externo para renovar o ar interno. Ela é uma opção sustentável e econômica, pois não requer equipamentos elétricos ou mecânicos para funcionar. A ventilação natural pode ser realizada por meio de janelas, portas, claraboias e outros elementos que permitem a entrada de ar fresco e a saída do ar viciado.

b) Ventilação Mecânica

A ventilação mecânica é um método de ventilação que utiliza equipamentos elétricos ou mecânicos para renovar o ar interno. Ela é uma opção mais eficiente em termos energéticos do que a ventilação natural, pois permite um controle mais preciso da qualidade do ar interno. A ventilação mecânica pode ser realizada por meio de sistemas de exaustão, insuflação ou recirculação.

c) Sistema de Volume de Ar Variável (VAV)

Este sistema é um tipo de sistema de ar condicionado que permite que a quantidade de ar fornecida varie em resposta à demanda do espaço condicionado. Ele é composto por uma caixa VAV, um controlador, um sensor de temperatura e pressão. A caixa VAV é responsável por regular o fluxo de ar fornecido ao espaço condicionado, enquanto o controlador e o sensor de temperatura ajustam a velocidade do ventilador para manter a temperatura desejada.

1) Sistema de ventilação aplicado em um incubatório

O sistema de ventilação aplicado para as incubadoras e nascedouros é baseado em um sistema de volume de ar variado (VAV) devido às demandas de ar individual de cada máquina e sala. Em incubatórios busca-se por questões sanitárias, um fluxo no sentido área limpa para área suja, assim busca-se criar um gradiente de pressão para que haja um fluxo de ar, este sempre do sentido mais positivo para o menos positivo. Para isto é feito um controle de pressão estática no duto, onde atua-se na modulação dos inversores dos *Fan Coils* (unidades

de tratamentos de ar aplicados no duto principal), *dampers* (responsáveis pelo ar insuflado na sala) e exaustores de ar (responsáveis pela retirada do ar). As vantagens dos sistemas VAV em relação aos sistemas de volume constante incluem um controle de temperatura mais preciso, menor desgaste do compressor, menor consumo de energia pelos ventiladores do sistema, menos ruído dos ventiladores e desumidificação passiva adicional (LU, 2020).

Este sistema de ventilação instalado é composto por:

- Unidades de tratamento de ar;
- Exaustores;
- Dutos;
- Sistema de controle de pressão.

O sistema de controle trabalha em malha fechada e é composto pelos seguintes elementos:

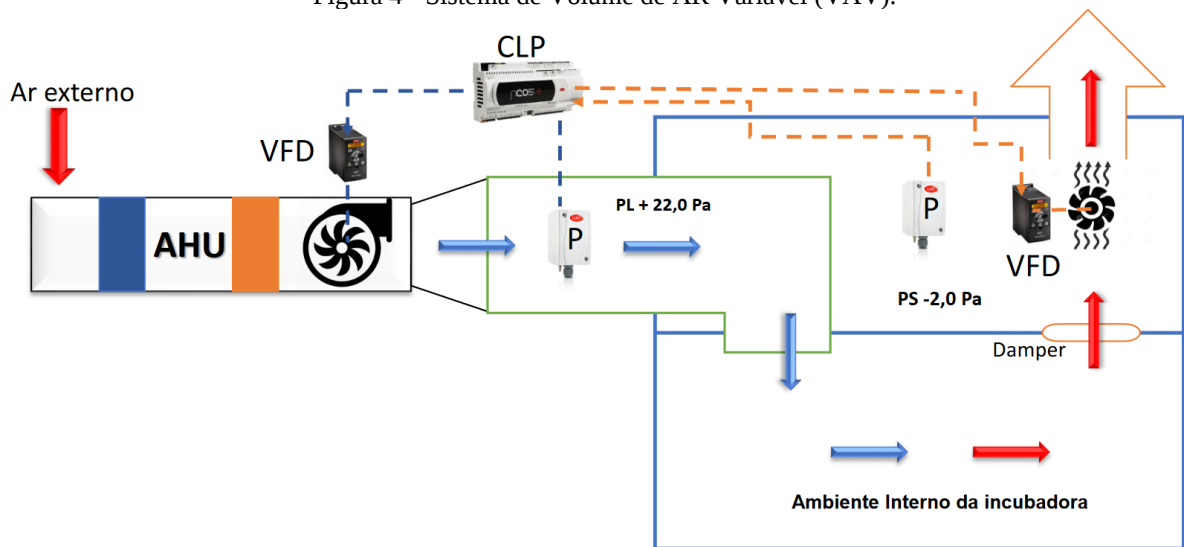
- Elemento primário:
-Sensor de Pressão SPKD Carel
- Controlador:
-PCO5+ Carel
- Elemento final:
-Inversor para controle dos ventiladores das unidades de tratamento de ar,
- *Damper* para controle do fluxo de ar nos dutos secundários.

Tem-se a seguinte configuração de funcionamento para o controle da ventilação:

- *Fan coil* e unidade de tratamento de ar insuflam ar para as salas e dutos deixando a pressão mais positiva;
- Exaustores retiram o ar insuflado deixando a pressão mais negativa;
- Sensores de pressão fazem a leitura de pressão diferencial do duto;
- Controlador CLP lê o sinal que vem do sensor e modula os inversores e atuadores para *damper*;

Esta configuração faz com que haja um diferencial de pressão e por consequência um fluxo de ar, sempre chegando ar tratado e renovado e saindo o ar viciado, garantindo a troca gasosa e um melhor controle de temperatura e umidade. Na Figura 4 tem-se a ilustração deste sistema.

Figura 4 - Sistema de Volume de AR Variável (VAV).



Fonte: De autoria própria

2.3.6 Descrição e Composição do Sistema de Climatização

Neste tópico são apresentados os principais componentes que formam este sistema de climatização industrial também conhecido como sistema HVAC.

2.3.6.1 Chiller

No coração do sistema de água gelada, ver Figura 2, está o *Chiller*. Um *Chiller* é uma peça central de equipamento no qual o único propósito é gelar a água retornada dos equipamentos de climatização do incubatório, água esta que é bombeada a 6 °C de volta para os equipamentos de climatização. *Chillers* consistem essencialmente de equipamentos que utilizam energia (neste caso elétrica) para extrair o calor da água em circulação e rejeitar este calor para fora do ambiente. Seu funcionamento é baseado no ciclo de refrigeração por compressão de vapor (ANGEL, 2020).

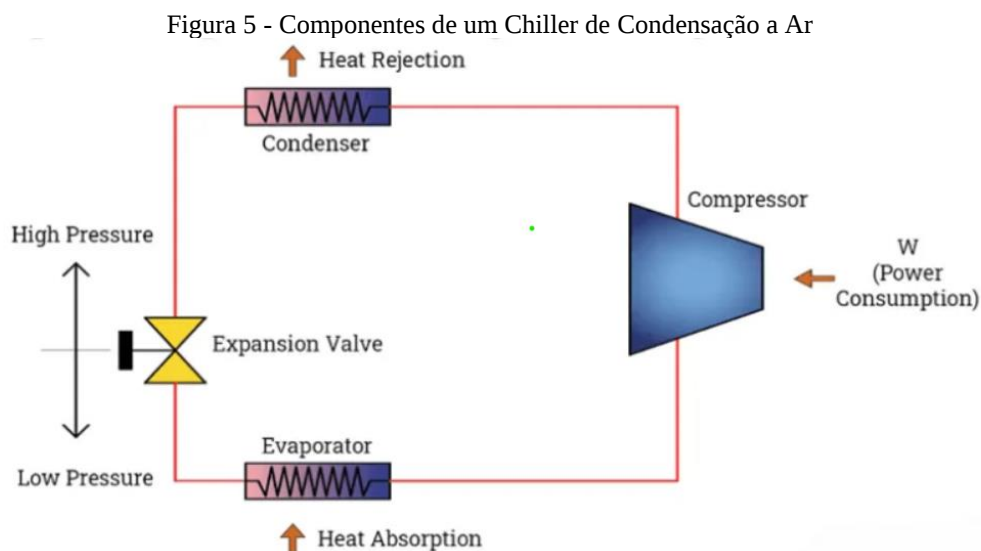
Segundo Stanford III (2017), o termo refrigeração, em um sistema de climatização a *Chiller*, geralmente se refere a um sistema de compressão de vapor em que uma substância química muda alternadamente de líquido para gás (evaporando, absorvendo calor e fornecendo um efeito de resfriamento) e de gás para líquido (condensando, liberando calor). Este "ciclo" consiste em quatro etapas:

- **Compressão:** O gás refrigerante de baixa pressão é comprimido, aumentando assim a sua pressão através da expansão de energia mecânica. Há um aumento correspondente na temperatura junto com o aumento da pressão.

- Condensação: O gás de alta pressão e alta temperatura é resfriado pelo ar exterior ou água que atua como um "dissipador de calor" e condensa em uma forma líquida em alta pressão.
- Expansão: O líquido de alta pressão flui através de um orifício na válvula de expansão, reduzindo assim a pressão. Uma pequena porção do líquido transforma-se em gás devido à redução de pressão.
- Evaporação: O líquido de baixa pressão absorve calor do ar interior ou da água e evapora para uma forma gasosa ou de vapor. O vapor de baixa pressão flui para o compressor e o processo se repete.

O processo de resfriamento apresentado na Figura 5 é mantido continuamente enquanto o ar quente passa pelo evaporador, que está em contato com a água que precisa ser resfriada. O ar é resfriado à medida que passa pelo evaporador e o refrigerante é condensado, completando o ciclo de refrigeração.

Os *Chillers* são frequentemente utilizados em edifícios comerciais e industriais, incluindo hospitais, escritórios, shoppings, data centers e outras instalações que requerem controle preciso de temperatura. Eles são projetados para serem eficientes em termos de energia e oferecem muitas opções de controle de temperatura para diferentes aplicações.



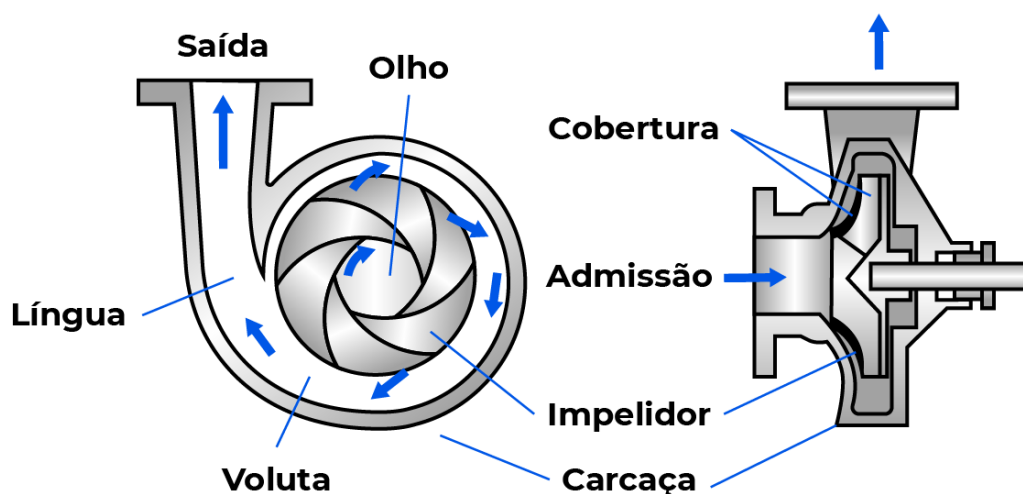
Fonte: (Vevor, 2024)

2.3.6.2 Bomba Centrífuga

Os incubatórios são ambientes altamente controlados, onde é necessário manter uma temperatura constante para o sucesso do processo de incubação. As bombas utilizadas nesta instalação, do tipo centrífugas, são projetadas para lidar com um grande volume de água e pressão moderada. Elas fornecem a força primária para distribuir e circular a água quente e gelada pelo sistema. O funcionamento de uma bomba centrífuga se baseia basicamente na criação de uma zona de baixa pressão e uma zona de alta pressão. Em uma bomba centrífuga um motor elétrico ou outra fonte de energia rotaciona o impelidor (rotor, impulsor) na velocidade nominal do motor. A rotação do impelidor adiciona energia ao fluido, onde esta energia é direcionada ao centro (olho) do impelidor. Forças centrífugas e de rotação atuam, sobre o fluido resultando no aumento da velocidade do fluido. A construção da bomba apresentada na Figura 6, é designada para a máxima conversão de energia cinética do fluido em energia de pressão (ASHRAE, 2016).

A bomba deve ser projetada para superar as perdas de pressão dentro do sistema, que incluem perdas associadas com os tubos de fornecimento e retorno, conexões, válvulas (de bloqueio, de equilíbrio e de controle), filtros, equipamentos de transferência de calor (bobinas, trocadores de calor), medidores de fluxo e qualquer outro componente dentro do sistema (ANGEL, 2020).

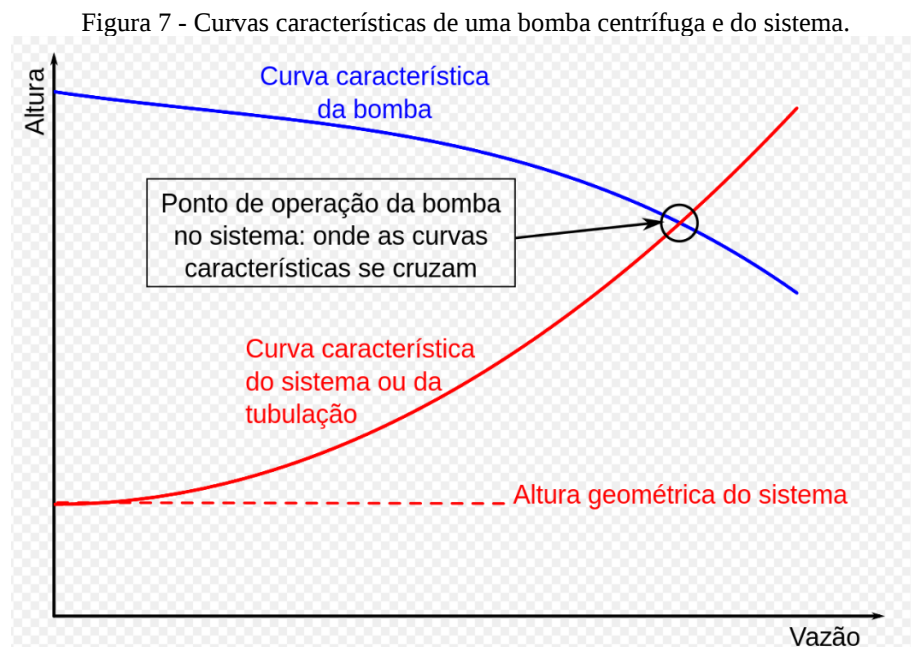
Figura 6 - Esquema de uma bomba centrífuga



Fonte: (Potter & Wiggert, 2010)

1) Curva da Bomba x Curva Sistema

Na aplicação de bombas centrífugas são utilizadas principalmente duas curvas características: a primeira representa a energia transferida pela bomba ao fluido em relação à vazão bombeada, denominada curva característica da bomba; já a segunda é a curva característica do sistema hidráulico, que descreve a energia exigida do fluido pelo sistema, composto por desníveis, diferenças de pressão, canais, tubos, válvulas ou registros, em relação à vazão que atravessa o sistema. A curva da bomba e a curva do sistema podem ser “plotadas” no mesmo gráfico. Na Figura 7 tem-se a interseção das duas curvas, esta interseção representa o ponto de operação do sistema, onde a altura desenvolvida da bomba coincide com a perda de carga do sistema (ASHRAE, 2016).



Fonte: (NETTO, 1998).

2) Seleção Bomba x Curva

O selecionamento da bomba se parte de sua vazão onde se trabalha com o ponto de cruzamento da curva característica do sistema com a curva da bomba. Quando um sistema de resfriamento de água é projetado, é importante escolher uma bomba centrífuga com a curva certa para o sistema. Isso significa escolher uma bomba com capacidade de fornecer o fluxo de água necessário para resfriar o processo ou equipamento que será refrigerado e com pressão suficiente para superar a resistência do sistema. Ainda segundo ASHRAE (2016), uma quantidade substancial de dados é necessária para garantir a seleção adequada, eficiente e

confiável de uma bomba para um sistema específico. O projetista deve revisar os seguintes critérios:

- Fluxo de projeto
- Queda de pressão necessária para o circuito mais resistente
- Fluxo mínimo do sistema
- Pressão do sistema nas vazões máxima e mínima
- Tipo de válvula de controle: de duas ou três vias
- Fluxo contínuo ou variável
- Ambiente da bomba
- Número de bombas e reserva
- Tensão elétrica e corrente
- Serviço elétrico e limitações de partida
- Qualidade do motor em relação à vida útil
- Tratamento de água, condições da água e seleção de materiais

Quando uma bomba centrífuga é aplicada a um sistema de tubulação, o ponto de operação atende às curvas da bomba e do sistema. Conforme a carga muda, as válvulas de controle alteram a curva do sistema e o ponto de operação se move para um novo ponto na curva da bomba.

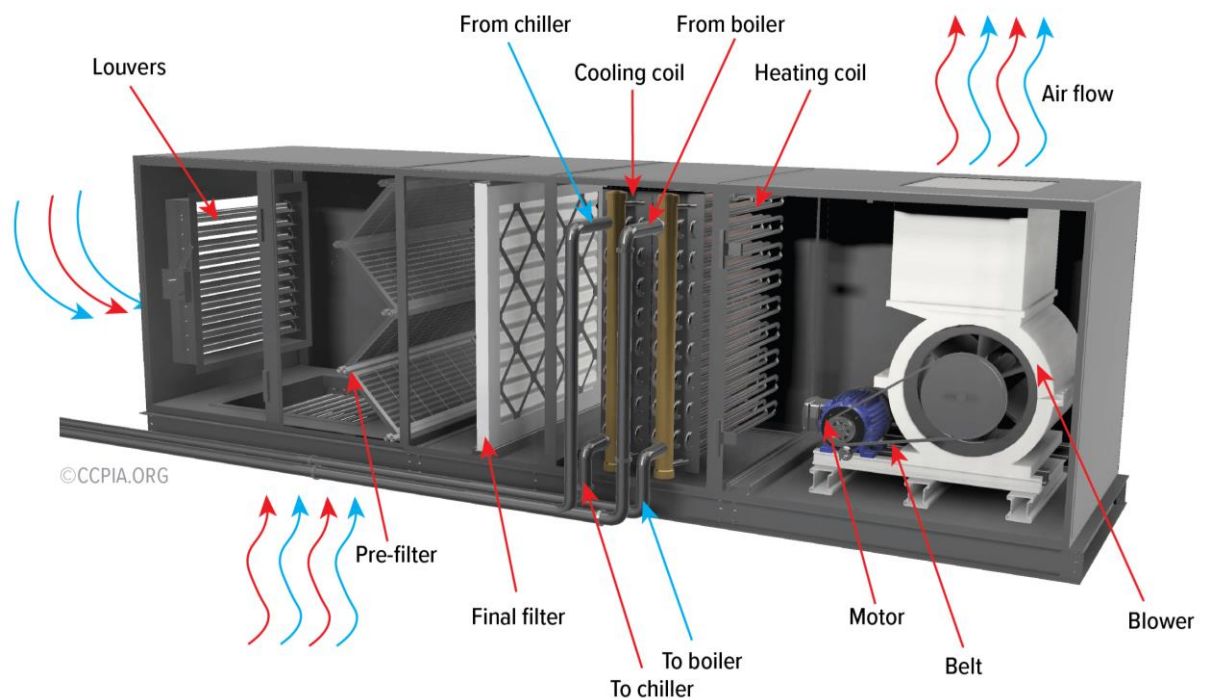
2.3.6.3 Inversor de Frequência

Em sistemas de climatização industrial o emprego de inversores de frequência se torna indispensável seja para modular a velocidade de motores ou para partida fixa proporcionando uma grande economia de energia. Seu uso se aplica em malhas de controle visando principalmente o controle de pressão do ar através de ventiladores axiais e pressão do fluido através de bombas centrífugas e em partidas direta de motores atuando em uma partida suave e proporcionando uma manipulação da curva da bomba centrífuga em relação a curva do sistema através do ajuste da frequência do motor. Os modelos empregados neste sistema trabalham em 380V em uma faixa de frequência de 0 a 60Hz com um sinal de controle de entrada de 0 a 10V ou de 4 a 20mA.

2.3.6.4 Fan Coil

São unidades utilizadas na circulação, aquecimento e refrigeração do ar de uma sala. Estas unidades também são conhecidas como Unidades de Tratamento de Ar que além de se utilizar do ar de retorno se utiliza de uma entrada de ar externo onde é feito uma mistura garantindo assim a renovação do ar, controle de parâmetros como umidade, pressão e temperatura. Na Figura 8 tem-se os componentes de uma AHU; estas unidades fornecem ar tratado e renovado, trabalhando com ventilação externa e duto de retorno e são comumente usadas em sistemas de tubulação de 2 tubos e 4 tubos (ASHRAE, 2016).

Figura 8 - Exemplo de uma Unidade de Tratamento de Ar



Fonte: (Nachi, 2023)

a) Principais Componentes

As unidades *Fan Coil* estão disponíveis em várias configurações horizontais e verticais (fluxo ascendente e descendente). São normalmente instaladas em locais ocultos, como acima de forros ou dentro de salas de equipamentos. Uma configuração comum de uma unidade de tratamento de ar inclui:

- Filtro
- Serpentina de aquecimento
- Serpentina de resfriamento

- Ventilador de suprimento.

As serpentinas de aquecimento podem ser de água quente, vapor ou elétricas. As serpentinas de resfriamento podem ser de água gelada ou refrigerante DX. Os ventiladores de suprimento são tipicamente centrífugos.

b) Aplicação em um Incubatório

Em um incubatório a unidade de tratamento de ar tem por objetivo fornecer ar tratado e renovado para as máquinas incubadoras e nascedouros e, também, climatizar as salas de sexagem e expedição de pintainhos. São utilizados *Fan Coils* com serpentinas de água gelada e água quente. As principais funções da Unidade de Tratamento de Ar em um incubatório são:

- Filtragem do Ar,
- Aquecimento do Ar,
- Refrigeração e
- Umidificação e Desumidificação do ar ambiente.

O ar tratado (insuflado) produzido pelo *Fan Coil* é transmitido através de dutos, neste mesmo equipamento é possível realizar o controle de temperatura, pressão, umidificação e desumidificação do ar insuflado.

O controle de temperatura de água gelada é feito através de uma válvula de água gelada onde sua abertura é feita através do controle de um atuador proporcional. Este controle é realizado pelo controlador CLP Carel, de acordo com o *setpoint* definido pelo usuário. Cada Sala do incubatório trabalha com uma determinada temperatura.

c) Selecionamento de um *Fan coil*

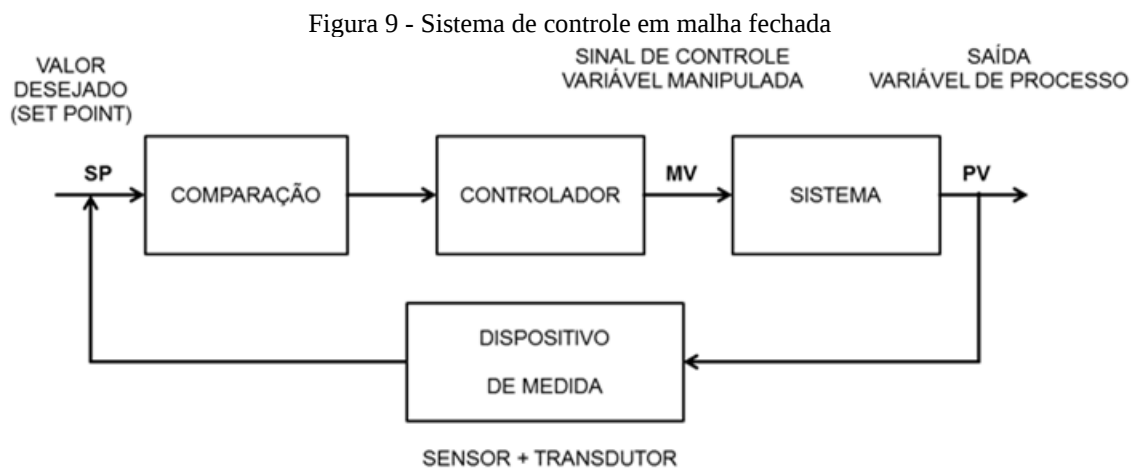
Segundo ASHRAE (2016), no selecionamento de uma Unidade de Tratamento de Ar (AHU), o projetista deve determinar corretamente a temperatura e o volume do ar de suprimento necessários, requisitos de ar externo, pressões desejadas no ambiente, capacidades das serpentinas de aquecimento e resfriamento, capacidades de umidificação e desumidificação, requisitos de volume de ar de retorno, alívio e exaustão; filtragem; e capacidades de pressão requeridas do(s) ventilador(es). Geralmente, esses parâmetros e outros mais devem ser especificados ou programados pelo projetista antes que um instalador ou fornecedor de equipamentos possa fornecer uma unidade de tratamento de ar.

2.3.7 Sistema de Controle e Automação em Malha Fechada

Neste tópico será abordado o sistema de automação empregado em um incubatório no controle das variáveis como temperatura, umidade e pressão. Será analisado seu funcionamento e principais componentes como exemplo, controlador, sensores e elementos finais de controle.

Em incubatórios assim como em outros ambientes industriais se trabalha com malhas de controle que permitem controlar e monitorar variáveis como temperatura, umidade e pressão; neste caso o sistema estudado é em malha fechada, conforme Figura 9, onde se utiliza de uma realimentação para correção de desvios no sinal de saída.

O sistema em malha fechada funciona basicamente na medição de uma variável de processo através de um elemento primário ou sensor, onde se compara este valor com o desejado (“*setpoint*”) e caso exista um erro, o controlador busca corrigir este desvio enviando um sinal ao elemento final (inversor, atuador, contatora, etc.), a fim de buscar o valor de *setpoint*; este sistema funciona em *loop* (ASHRAE, 2013).



Fonte: (Freitas, 2019)

1) Componentes deste sistema

Os principais componentes encontrados nesta malha de controle são divididos nas categorias: elemento primário, transmissor, controlador e elemento final de controle (GERÔNIMO, 2019).

a) Elemento primário ou sensor

Elemento que primeiro sente o valor da variável a ser medida, tem-se como exemplo utilizados em incubatórios, sensores de umidade e temperatura para ar, sensor de pressão para

ar, sensor de temperatura NTC para água e ar. A seguir a descrição de alguns sensores citados acima utilizados na climatização de incubatórios.

- Sensor de Umidade e Temperatura DPPC110000

Na Figura 10 tem-se o sensor da linha Carel DPP, com aplicação para ambientes industriais onde se utiliza de uma melhor proteção IP5 e IP4. Este sistema é embutido com dois sensores para leitura de umidade e temperatura. Sua instalação é feita em dutos ou salas onde se necessita medir valores de umidade relativa e temperatura do ar (CAREL, 2023).

Características:

- Sonda de Umidade (10% a 90%)
- Sensor de Temperatura (-10°C a 60°C)
- Para ambiente – Parede
- Saída de 0,5 a 1 Vcc / 4 a 20 mA

Figura 10 - Sensor de umidade e temperatura



Fonte: (CAREL, 2023)

- Sensor de pressão CAREL SPKD

Os sensores de pressão compactos calibráveis SPKD00*5N0 são dispositivos versáteis equipados com quatro faixas de medição intercambiáveis em um único dispositivo. Esses sensores são projetados para medir a pressão acima da atmosfera, abaixo da atmosfera ou pressão diferencial em ambientes com ar limpo, permitindo a comutação de valores limite. Esses sensores utilizam um elemento de medição piezo-resistivo, proporcionando um alto nível de confiabilidade e precisão em suas medições (CAREL, 2023).

Esses sensores de pressão têm uma ampla variedade de aplicações em diferentes setores, em incubatório se trabalha com foco em:

- Dutos de Ventilação e Ar Condicionado: Os sensores de pressão são usados para controlar e otimizar a pressão do ar em sistemas de ventilação e condicionamento de ar, garantindo um ambiente confortável e saudável.
- Acionamento de Conversores de Frequência: Também são usados para controlar o acionamento de conversores de frequência em aplicações que requerem ajustes de velocidade ou potência.

Na Figura 11 tem-se o modelo de sensor de pressão aplicado atualmente neste sistema de climatização.

Figura 11 - Sensor de Pressão para Ar



Fonte: (CAREL, 2023)

Na Figura 12 tem-se um exemplo de sensor de temperatura NTC, utilizado principalmente para leitura da temperatura de líquidos como por exemplo a água gelada.

Figura 12 - Sensor de temperatura NTC



Fonte: (CAREL, 2023)

b) Controlador

O controlador é o cérebro do sistema de controle. Ele recebe informações sobre a variável controlada (geralmente através de sensores) e compara essas informações com o valor de referência desejado. Com base nessa comparação, o controlador toma decisões sobre

como ajustar a variável manipulada para alcançar a condição desejada. Na Figura 13 tem-se o modelo de controlador voltado para a climatização de incubatórios. O modelo mais utilizado é o PCO5+ da fabricante Carel que também fornece uma linha de sensores para leitura e controle dos principais parâmetros como umidade relativa, temperatura e pressão. Este controlador oferece recursos específicos para melhorar a eficiência de sistemas HVAC. A interface homem/máquina é feita por meio de IHM, que possuem telas de fácil entendimento.

Figura 13 - Controlador Carel da linha pCO5



Fonte: (CAREL, 2023)

Este controlador é equipado com entradas e saídas digitais e analógicas podendo ser configurado como:

- Entrada digital (sem tensão);
- Saída analógica (PWM ou 0-10 V);
- Amplamente selecionáveis sensores necessários para várias aplicações (NTC, PTC, PT100, PT500, PT1000, 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA);

• Projeto e Instalação

O projeto do controlador a ser usado se baseia na quantidade de entradas e saídas definidas conforme necessidade de climatização do ambiente.

A instalação deste Controlador é feita através de um quadro elétrico de controle que pode variar nos modelos de Carel tamanho pequeno, médio e grande. Na Tabela 2 tem-se o exemplo da quantidade de sensores e o modelo de controlador que são instalados na sala de máquinas.

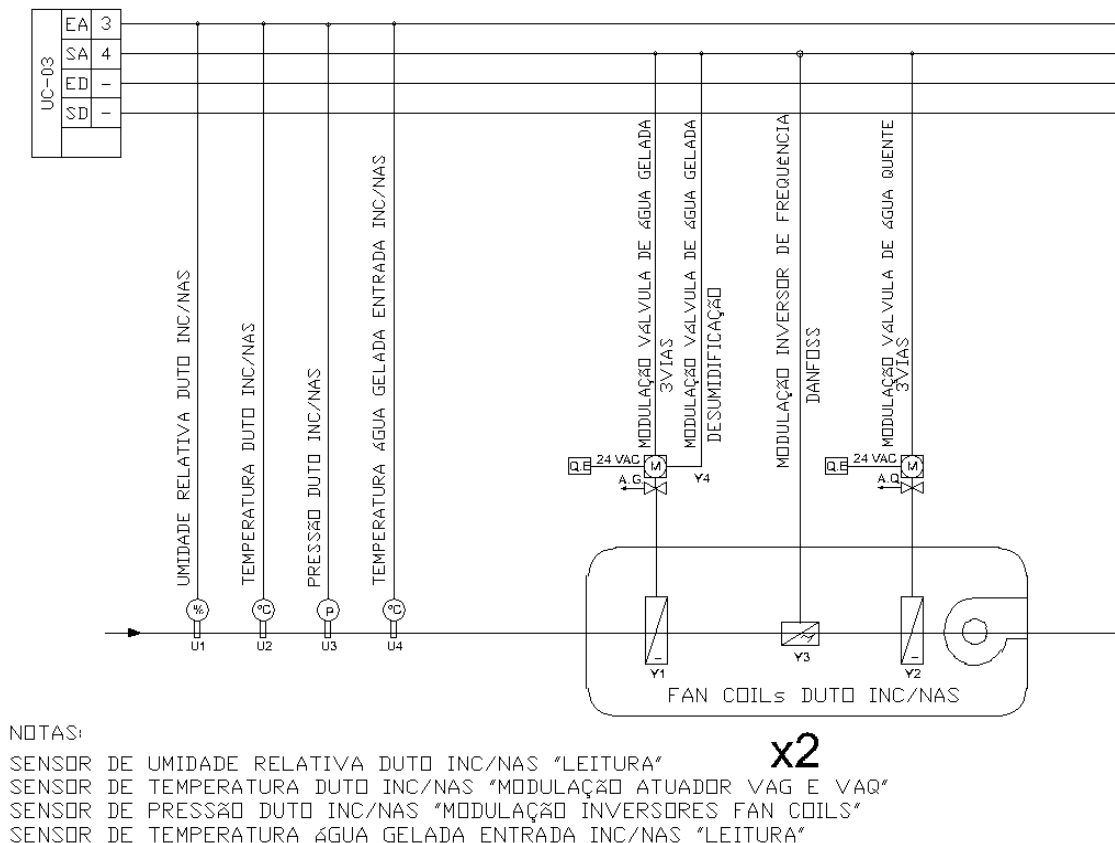
Tabela 2 - Configuração de sensores de entrada e saída da sala de máquinas

Sala de Máquinas CAREL 1				
	EA	SA	ED	SD
Umidade Relativa Externa	1	0	0	0
Temperatura Externa	1	0	0	0
Pressão AG Incubação/Nascedouros	1	1	0	0
Temperatura AG Tanque Chillers	1	0	0	1
Temperatura AG Inc/Nas	1	1	0	0
Temperatura AQ	1	0	0	1
Pressão Água Umidificação	1	1	0	0
Total	7	3	0	2
EA	Entrada Analógica			
SA	Saída Analógica			
ED	Entrada Digital			
SD	Saída Digital			
Controladores Médio + kit	1			
Sensor de Umidade e Temperatura DPPC110000	1			
Sensor NTC Temperatura com poço em inox	3			
Sensor NTC Temperatura	0			
Transdutor de Pressão para água SPKT0021D0 + Cabo	2			

Fonte: De autoria própria

Na figura 14 é apresentado o diagrama de entradas e saídas. A escolha da quantidade de sensores e controladores varia conforme as demandas de ar, pressão da linha de água gelada, temperatura do ar da sala, etc.

Figura 14 - Diagrama de entradas e saídas



Fonte: De autoria própria

c) Elemento final de controle

Os elementos finais de controle são componentes essenciais em sistemas de automação industrial e sistemas de controle em geral. Eles desempenham um papel crucial na execução das ações necessárias para manter um processo ou sistema em um estado desejado. Esses elementos transformam os sinais de controle gerados pelo controlador em ações físicas no processo ou no sistema. Aqui estão alguns dos elementos finais de controle mais comuns utilizados em incubatórios (ASHRAE, 2013):

- **Válvulas:** As válvulas são amplamente utilizadas para controlar o fluxo de fluidos, como líquidos ou gases, em um sistema. Elas podem ser operadas manualmente ou automaticamente (por atuadores elétricos, pneumáticos ou hidráulicos) para ajustar a vazão, a pressão ou a temperatura do fluido.

- **Atuadores:** Os atuadores são dispositivos que convertem energia em movimento mecânico. Eles podem ser usados para controlar válvulas, *dampers* (comportas) e outros

dispositivos mecânicos. Os atuadores elétricos, pneumáticos e hidráulicos são comuns na automação industrial.

- **Válvulas Solenoides:** São válvulas controladas por solenoides (bobinas de fio enrolado) que abrem ou fecham passagens de fluido quando uma corrente elétrica é aplicada. Elas são frequentemente usadas em sistemas de controle de fluidos.

- **Motores:** Motores elétricos ou motores de combustão interna são elementos finais de controle frequentemente usados em sistemas de automação para acionar dispositivos mecânicos, como esteiras transportadoras, ventiladores ou bombas.

- **Relés:** Os relés são dispositivos eletromecânicos que podem abrir ou fechar circuitos elétricos em resposta a um sinal de controle elétrico. Eles são comuns em aplicações de controle elétrico e automação.

- **Dampers:** *Dampers* são dispositivos que controlam o fluxo de ar em sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC). Eles são usados para regular a temperatura e o fluxo de ar em dutos.

- **Bombas e Compressores:** Bombas são usadas para mover líquidos, enquanto compressores são usados para comprimir gases. Eles podem ser controlados para ajustar o fluxo e a pressão do fluido ou do gás.

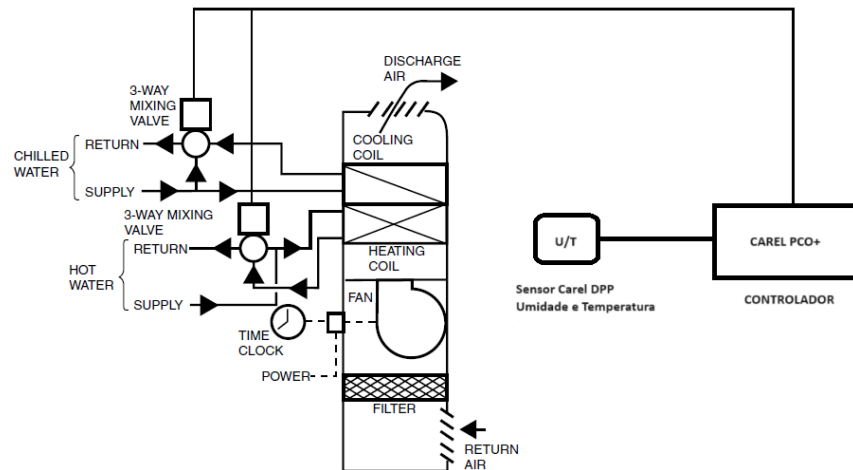
- **Inversores de Frequência:** São usados para controlar a velocidade de motores elétricos, permitindo ajustes precisos na velocidade de rotação.

Nas seções seguintes são apresentados os sistemas de controles de temperatura, umidade e pressão aplicados em um incubatório, que são estudados neste trabalho.

2.3.8 Sistema de Controle de Temperatura Aplicado em um Incubatório

Como apresentado na seção 2.3.7, este sistema trabalha em malha fechada funcionando da seguinte forma: Um elemento primário como um sensor, faz a leitura da temperatura no ambiente ou tubulação de água, este sinal de leitura é enviado ao controlador Carel que faz a comparação com o *setpoint* desejado, caso haja um desvio no valor medido, o controlador envia um comando ao elemento final que neste caso é o atuador proporcional que irá controlar a válvula de três vias, controlando assim o fluxo de água gelada ou quente nas serpentinas dos equipamentos de refrigeração/aquecimento como exemplo as unidades de tratamento de ar e as máquinas de incubação e nascedouro. Na Figura 15 tem-se um exemplo de controle de temperatura em uma sala utilizando uma unidade de tratamento de ar.

Figura 15 - Diagrama sistema de controle de temperatura em malha fechada



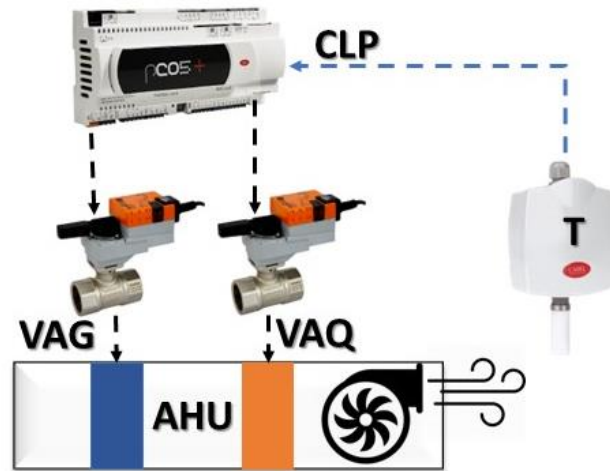
Fonte: (Louisville, 2024)

Em resumo os principais componentes deste sistema são:

- Sensor de temperatura para ar DPPC110000;
- Sensor de temperatura para água NTCWH01;
- Controlador Carel PCO5+;
- Atuador proporcional 24 V;
- Válvula de 3 vias;

Na Figura 16 pode-se verificar os componentes que formam a malha de controle de temperatura do ar em um duto, o elemento primário é o sensor de umidade e temperatura DPP da Carel, o controlador é o modelo PCO5+ da Carel, o elemento final é o atuador proporcional da Belimo que funciona como um registro abrindo e fechando a válvula proporcionalmente ao sinal recebido do controlador.

Figura 16 - Elementos aplicados no controle de temperatura do ar em um duto



Fonte: (Carel, 2023)

a) Projeto do sistema de controle de temperatura

O projeto consiste em determinar a quantidade e o tipo de sensores que são empregados na sala ou linha de água gelada/quente. O desenho técnico é realizado utilizando o Autocad 2d. Normalmente se trabalha com um sensor de temperatura principal para o duto, sala e tubulação de água. Se instalam sensores secundários para somente leitura sendo o controle realizado somente nas linhas principais. Como exemplo: o controle de temperatura do ar que vai para as salas de incubação é realizado no duto principal ficando as salas somente com sensores de temperatura para leitura. Na Tabela 3 tem-se o levantamento do número de sensores, entradas e saídas digitais e analógicas que são empregadas no controle de temperatura, umidade e pressão do duto principal.

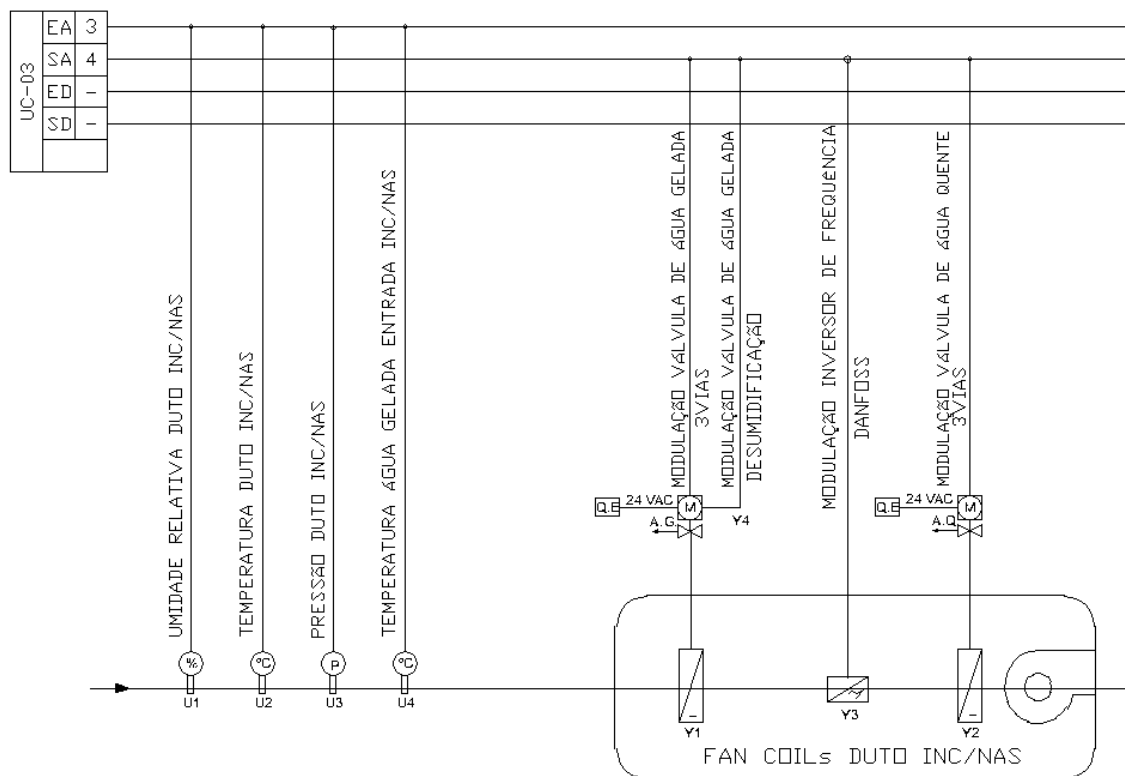
Tabela 3 - Levantamento quantidade de sensores e controladores do duto.

Duto Incubação CAREL 3				
	EA	SA	ED	SD
Umidade Relativa Duto	1	1	0	0
Temperatura Duto	1	2	0	0
Pressão Duto	1	1	0	0
Total	3	4	0	0
EA	Entrada Analógica			
SA	Saída Analógica			
ED	Entrada Digital			
SD	Saída Digital			
Controlador Pequeno + kit	1			
Sensor de Umidade e Temperatura DPPC110000	1			
Transdutor de Pressão para ar SPKD00C5N0	1			
Controlador Pequeno + kit	1			

Fonte: De autoria própria

Com o levantamento da quantidade de sensores por sala ou local, realiza-se os projetos técnicos para a instalação dos mesmos. Na Figura 17 observa-se o total de sensores de temperatura que são instalados em determinado local, como exemplo no duto principal que alimenta as salas de incubação e nascedouro. Neste caso é instalado um sensor de temperatura para ar (DPP), a fim de controlar a válvula de mistura de água gelada que vai para as máquinas de unidade de tratamento de ar.

Figura 17- Diagrama de entradas e saídas do sistema de controle instalado no duto principal.



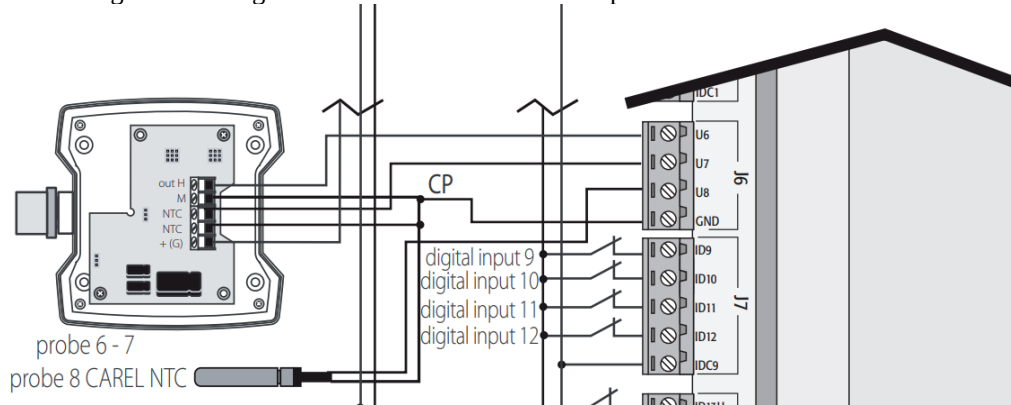
NOTAS:

- SENSOR DE UMIDADE RELATIVA DUTO INC/NAS "LEITURA"
- SENSOR DE TEMPERATURA DUTO INC/NAS "MODULAÇÃO ATUADOR VAG E VAQ"
- SENSOR DE PRESSÃO DUTO INC/NAS "MODULAÇÃO INVERSORES FAN COILS"
- SENSOR DE TEMPERATURA ÁGUA GELADA ENTRADA INC/NAS "LEITURA"

Fonte: De autoria própria

Pode-se verificar, na Figura 18, os dois modelos de sensores de temperatura utilizados e suas conexões com o controlador Carel. Os sensores são conectados ao controlador através de cabos blindados (*shield*) e o sinal de saída do controlador para o atuador é enviado através de cabos PP de 3 vias.

Figura 18 - Diagrama sistema de controle de temperatura em malha fechada



Fonte: (CAREL, 2023)

b) Instalação

A instalação de sensores de temperatura para ar e água gelada é uma parte fundamental de sistemas de controle de temperatura em sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) e sistemas de refrigeração. Aqui estão algumas considerações sobre a instalação de sensores de temperatura para ambos os casos, incluindo a localização e os procedimentos:

- Localização:

A localização exata dentro do duto depende dos objetivos de controle. Para medições de temperatura ambiente, o sensor pode ser instalado em um ponto representativo no duto onde o ar esteja bem misturado. Para medições de temperatura de ar de retorno, o sensor é colocado próximo à entrada de ar de retorno para medir a temperatura do ar que retorna ao sistema.

- Salas ou Ambientes:

Em algumas aplicações, os sensores de temperatura para ar podem ser instalados diretamente em salas ou ambientes. Nesse caso, eles devem ser montados em locais onde a temperatura ambiente seja representativa do espaço que você deseja controlar.

- Procedimento:

Definido o sensor a ser utilizado ele é montado em uma caixa de proteção adequada, especialmente se ele estiver localizado em um ambiente agressivo.

- Conexão Elétrica:

O sensor é conectado a um cabo que se estende até o controlador de temperatura. Se utiliza cabos adequados para evitar interferências eletromagnéticas. O controlador enviará o sinal de controle ao atuador através de cabos blindados de 2 ou 3 vias de acordo com o

equipamento a ser controlado. Na Figura 19 tem-se a instalação do sensor DPP de umidade e temperatura junto ao sensor de pressão SPKD do *plenum* limpo, nesta configuração se faz o controle da umidade, temperatura e pressão do ar que chega limpo e renovado as incubadoras e nascedouros.

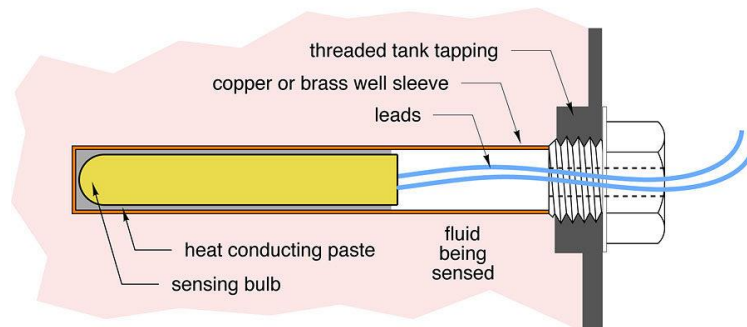
Figura 19 - Instalação sensor de umidade, temperatura e pressão para ar



Fonte: De autoria própria

Pode-se visualizar na Figura 20 o esquema de instalação de um sensor NTC junto a um poço termométrico que é inserido em uma tubulação de água a fim de medir a temperatura do fluido.

Figura 20 - Instalação sensor temperatura para água NTC.



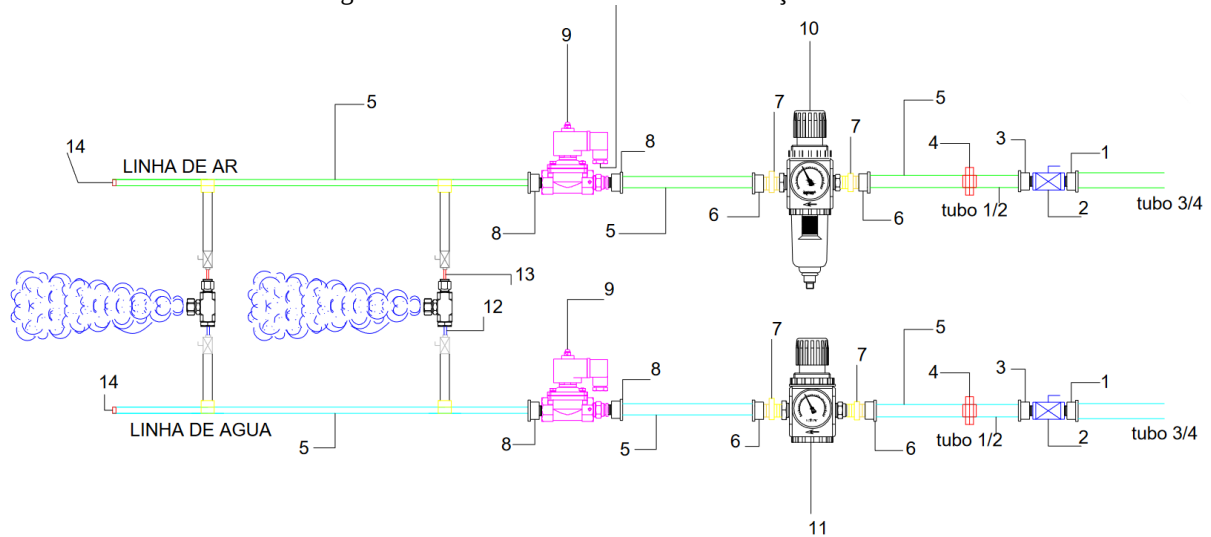
Fonte: (Siegenthaler, 2024)

2.3.9 Sistema de Controle de Umidade Aplicado em Um Incubatório

A definição da demanda de umidade envolve primeiramente uma análise psicométrica do local de instalação do incubatório, onde dimensiona-se o sistema conforme dados de umidade relativa e absoluta do ambiente. Observa-se na Figura 21 o esquema de montagem do sistema de umidificação para dutos formado por bicos atomizadores e solenoides para

controle. As salas de incubação demandam um nível menor de umidade na faixa de 50 a 60% ao contrário dos nascedouros que trabalham com uma alta umidade em torno de 65%.

Figura 21 – Sistema instalado de umidificação de dutos



Fonte: De autoria própria

O controle da umidificação é feito basicamente no controle da abertura e fechamento da válvula solenoide permitindo assim a passagem da água e ar comprimido que são misturados nos bicos de umidificação. Para esta malha de controle tem-se os seguintes elementos:

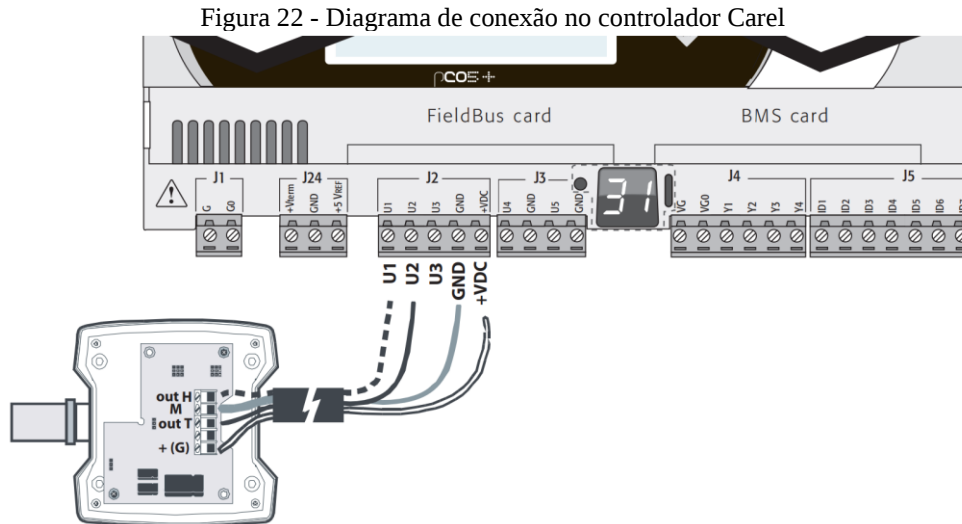
- Elemento primário: Sensor de Umidade e Temperatura DPPC110000;
- Controlador: Carel PCO5+;
- Elemento final: Válvula solenoide de 24 V.

Em conjunto com este sistema tem-se o controle da bomba de água natural responsável por fornecer água para os bicos atomizadores. Para esta malha de controle tem-se:

- Elemento primário: Sensor para linha de água;
- Controlador: Carel PCO5+;
- Elemento final: Inversor de Frequência.

Este sistema de controle trabalha com as saídas digitais do controlador onde somente se tem um sinal de liga e desliga (ON/OFF) ao contrário do sistema de controle de temperatura e pressão que trabalha com as saídas moduladas Y_x do controlador.

Conforme apresentado na seção anterior as conexões sensor – controlador são feitas utilizando cabo *Shield* 4x0.75 mm². Por padrão se define a entrada U1 como a entrada para o sensor de umidade e as saídas podem variar de NO1, NO2 adiante conforme projeto. Na Figura 22 tem-se o esquema de conexão entre sensor e controlador.



Fonte: De autoria própria

2.3.10 Sistema de Controle de Pressão Aplicado em um Incubatório

Neste sistema de ventilação para incubatórios se trabalha com dois *plenums* conforme Figura 23:

- *Plenum Limpo*

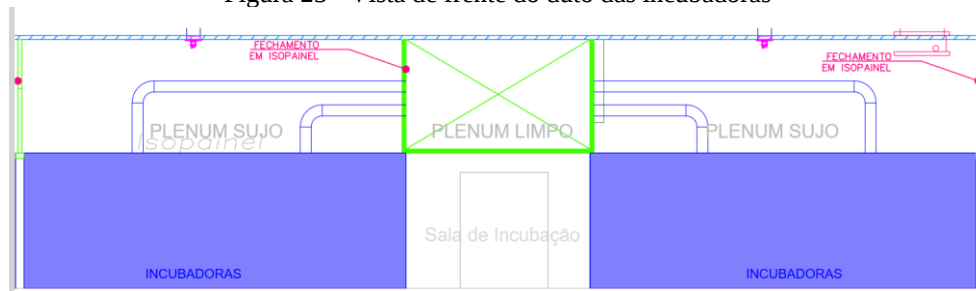
Local por onde entra o ar limpo rico em O₂ produzido pelas Unidades de Tratamento de Ar, o controle de pressão no duto é feito através de um *damper* observado na Figura 24 ou inversor de frequência que abre e fecha proporcionalmente ao sinal enviado pelo controlador.

- *Plenum Sujo*

Local por onde sai o ar viciado que circula internamente nas máquinas de incubação e nascedouro, este ar é rico em CO₂ e outros contaminantes, os exaustores retiram esse ar.

Com o gradiente de pressão criado, haverá uma circulação de ar entre as máquinas de incubação através dos *plenums*, sempre no sentido *plenum* limpo para *plenum* sujo. O mesmo vale para os nascedouros.

Figura 23 - Vista de frente do duto das incubadoras



Fonte: De autoria própria

Figura 24 - Damper controlado por atuadores proporcionais



Fonte: De autoria própria

a) Projeto de Controle

A escolha do sensor depende da aplicação, neste caso por se trabalhar com 32 Pa no duto principal, 22 Pa no *plenum* limpo e -2Pa no *plenum* sujo, o sensor SPKD para ar atende bem já que pode atuar em uma faixa de -50 a 50 pa.

O projeto se baseia em definir a quantidade de sensores e controladores conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Levantamento de sensores sala de incubação

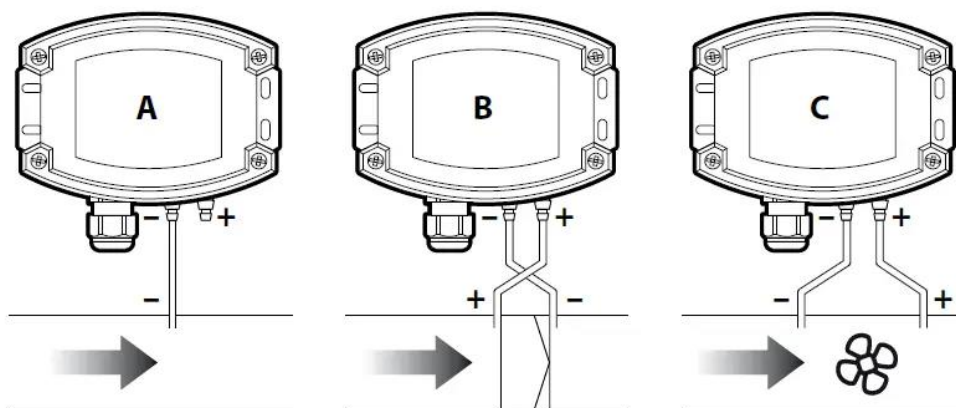
Sala de Incubação 1 CAREL 4				
	EA	SA	ED	SD
Umidade Relativa	1	0	0	1
Temperatura	1	0	0	0
Pressão Plenum Limpo	1	1	0	0
Pressão Plenum Sujo A	1	1	0	0
Pressão Plenum Sujo B	1	1	0	0
Total	5	3	0	1
EA	Entrada Analógica			
SA	Saída Analógica			
ED	Entrada Digital			
SD	Saída Digital			
Controlador Médio + kit		1		
Sensor de Umidade e Temperatura DPPC110000		1		
Transdutor de Pressão para ar SPKD00C5N0		3		

Fonte: De autoria própria

b) Instalação

A função do sensor SPKD de pressão diferencial é comparar a pressão atmosférica com a pressão no local desejado. Sua instalação é feita conforme Figura 25 na configuração A com a mangueira de pressão positiva medindo a pressão atmosférica e a mangueira de pressão negativa medindo a pressão do duto.

Figura 25 - Configuração de instalação do sistema de leitura de pressão

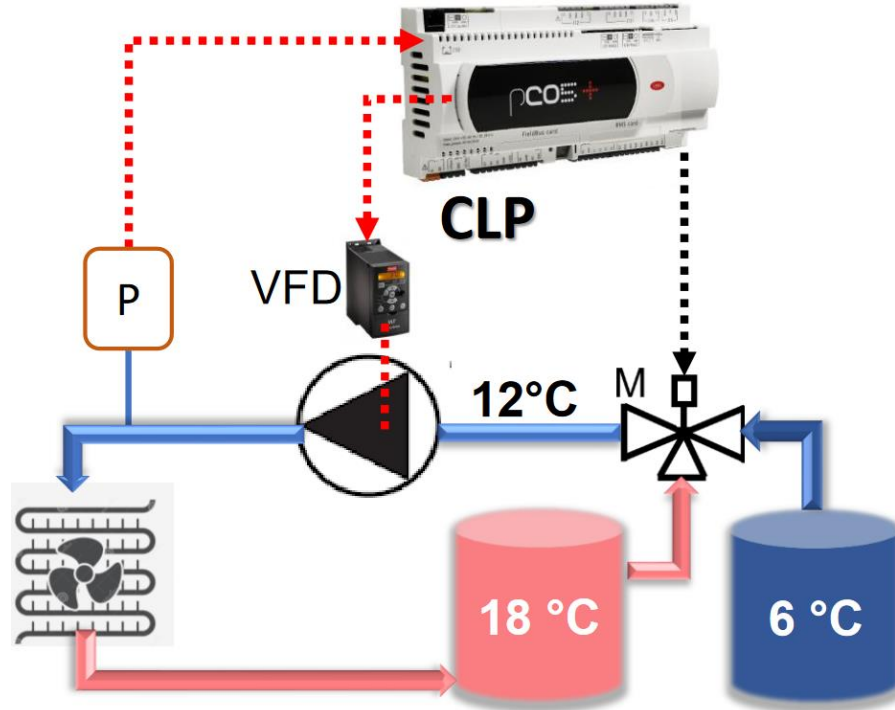


Fonte: (CAREL, 2023)

Os cabos utilizados nas conexões elétricas entre o sensor e o controlador são blindados (*Shield*) de 3x0,75 mm². Por padrão de projeto se conecta o primeiro sensor de pressão na entrada U3 e o sinal de modulação seja para o *damper* ou inversor é endereçado na saída Y2 adiante. Na Figura 26 tem-se os principais componentes do sistema de controle de pressão utilizando um inversor como elemento final. A conexão Carel – inversor é feita utilizando

cabo PP 2x1 mm². Normalmente se utiliza a modulação por inversor para controle da rotação do ventilador do *Fan Coil* a fim de controlar a vazão de ar e consequentemente a pressão estática no duto principal.

Figura 26 - Elementos de controle de pressão por inversor



Fonte: De autoria própria

Este sistema de controle utilizando inversor trabalha com uma precisão maior que o sistema com *damper* e por isso é utilizado nos sistemas de controle primário, ou seja, nos dutos principais deixando os *dampers* para controle de pressão das salas menores (dutos secundários). Na Figura 27 tem-se o controle de pressão por *damper* onde se controla a pressão no duto através da abertura e fechamento do *damper* instalado na entrada do duto. O elemento final que faz a modulação do *damper* é um atuador proporcional. As conexões elétricas Carel-Atuador são feitas usando cabo PP 3x1 mm².

Normalmente se trabalha em conjunto com inversor e *damper* onde o inversor faz o controle da pressão no duto principal e o *damper* o controle da pressão nos dutos secundários.

Figura 27 - Sistema de controle de pressão para uma sala individual de incubação



Fonte: De autoria própria

Na Figura 28 tem-se a instalação final dos sensores para o controle da umidade, temperatura e pressão no *plenum* limpo e pressão no *plenum* sujo. Os sensores são instalados no centro do duto.

Figura 28 - Arranjo de sensores de umidade, temperatura e pressão instalados no duto PL



Fonte: De autoria própria

3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é analisado o sistema de climatização instalado no incubatório de Iporã/PR focando na climatização de uma das salas de incubação como exemplo.

São analisados o funcionamento dos componentes que formam os sistemas de água gelada, água quente, umidificação e controle e automação. São comparados os valores de projeto com os medidos em campo na instalação. Os subsistemas analisados são:

- **Sistema de Água Gelada**
 - Circuito Primário
 - Circuito Secundário
- **Sistema de Água Quente**
 - Caldeira/Aquecedor
 - Bombas secundárias de Água quente *Fan Coils*
- **Unidade De Tratamento de Ar**
 - Sistema de Controle de Pressão e Temperatura e Umidade
- **Sistema de Umidificação**
 - Bomba de Água Natural
 - Sistema de Controle de Umidade da sala

3.1 Dimensionamento do Sistema de Climatização

Conforme citado anteriormente, o dimensionamento do sistema de resfriamento e aquecimento se parte de informações de carga térmica fornecidas pelo cliente. Além disso leva-se em conta informações do local como altitude, temperatura externa, umidade relativa e através de dados psicrométricos se dimensiona este sistema encontrando a quantidade de *Chillers*, aquecedores, bombas de água gelada, bombas de água quente, diâmetro das tubulações, etc.

Na Tabela 5 são apresentados os dados de carga térmica fornecida pelo cliente e os resultados do dimensionamento de carga de refrigeração e aquecimento para todo incubatório, onde se obtém a quantidade de *Chillers* e aquecedores “produtores” de água gelada e água quente respectivamente.

Tabela 5: Valores de carga térmica de refrigeração e aquecimento

DADOS DE CONSUMO DE AR CONDICIONADO:						
LOCAL	CONDIÇÕES INTERNAS (°C)	CONDIÇÕES INTERNAS UR (%)	ENTALPIA INTERNA (kJ/kg)	VAZÃO DE AR (m³/h)	CARGA TÉRMICA REFRIG. (TR)	CARGA TÉRMICA AQUEC. (Mcal/h)
54 INCUBADORAS COOPERMAQ INC 1290	23	55	48,67	37.800	124,9	155,6
24 NASCEDOUROS COOPERMAQ NAS 430	23	55	48,67	26.400	87,3	108,7
SALA TRANSFERÊNCIA	24	60	53,83	9.612	27,2	42,1
SALA DE SAQUE	24	60	53,83	8.160	23,1	35,7
SALA DE SEXAGEM	24	60	53,83	10.800	30,6	47,3
SALA CONTAGEM DE PINTOS	24	60	53,83	14.400	40,8	63,0
SALA DE PINTOS 1	24	60	53,83	19.440	55,1	85,1
SALA DE PINTOS 2	24	60	53,83	7.344	20,8	32,1
SALA DE OVOS	18	70	41,99	44.640	74,4	S/ Aquecimento
OFICINA	24	60	53,83	1.620	2,7	S/ Aquecimento
ALMOXARIFADO	24	60	53,83	1.560	2,6	S/ Aquecimento
REFEITÓRIO SUJO	24	60	53,83	2.700	4,5	S/ Aquecimento
REFEITÓRIO LIMPO	24	60	53,83	2.700	4,5	S/ Aquecimento
ÁREA DE LAZER	24	60	53,83	1.440	2,4	S/ Aquecimento
ADM GERÊNCIA	24	60	53,83	660	1,1	S/ Aquecimento
RECEPÇÃO ESCRITÓRIO	24	60	53,83	840	1,4	S/ Aquecimento
SALA REUNIÃO	24	60	53,83	300	0,5	S/ Aquecimento
ESCRITÓRIO ADM	24	60	53,83	660	1,1	S/ Aquecimento
ESCRITÓRIO INTERNO	24	60	53,83	240	0,4	S/ Aquecimento
			TOTAL	<u>133.956 m³/h</u>	<u>505,4 TR</u>	<u>569,6 Mcal/h</u>

Fonte: De autoria própria

A partir destes dados encontra-se uma demanda de água gelada para o incubatório de 504,9 TR e assim chega-se à quantidade de 3 *Chillers* de 225 TR e 3 aquecedores de 400 Mcal/h para suprir a demanda de carga de aquecimento do incubatório. Com estes valores dimensiona-se a casa de máquinas com os seus componentes conforme as centrais de água gelada, água quente e umidificação que são apresentados na seção a seguir.

3.2 Central de Água Gelada

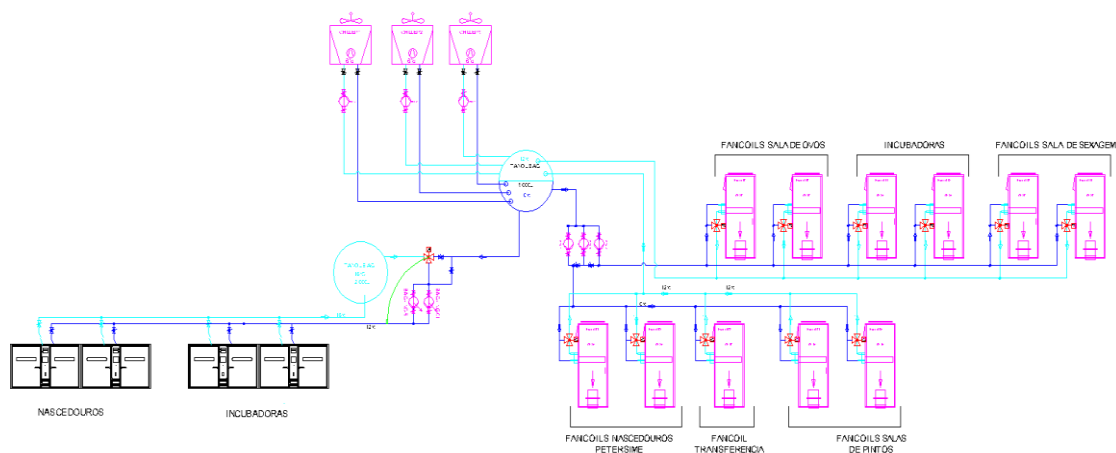
A temperatura trabalhada pela máquina de incubação é de 102 °F conforme apresentado anteriormente. Neste caso a máquina trabalha somente com água gelada em suas serpentinas, a central de água gelada irá fornecer uma temperatura constante de 14 °C através do controle da válvula de mistura e da pressão na linha de água gelada.

O sistema de água gelada em estudo instalado em Iporã é composto por:

- 03 *Chillers*;
- 02 Unidades de tratamento de ar *Fan Coil*;
- 01 Bomba primária *Chiller*;
- 01 Bomba secundária para o *Fan Coil*;
- 02 Tanques para água gelada de capacidade de 7000 litros;
- Tubulação de PPR para água gelada;
- Duto de Isopainel;
- Sistema de controle de temperatura e pressão para linha de água gelada.

Pode-se ver a representação do sistema central de água gelada citado no fluxograma hidráulico conforme Figura 29.

Figura 29 - Fluxograma hidráulico central de água gelada



Fonte: De autoria própria

A seguir é apresentado a análise do funcionamento e os resultados obtidos de cada subsistema.

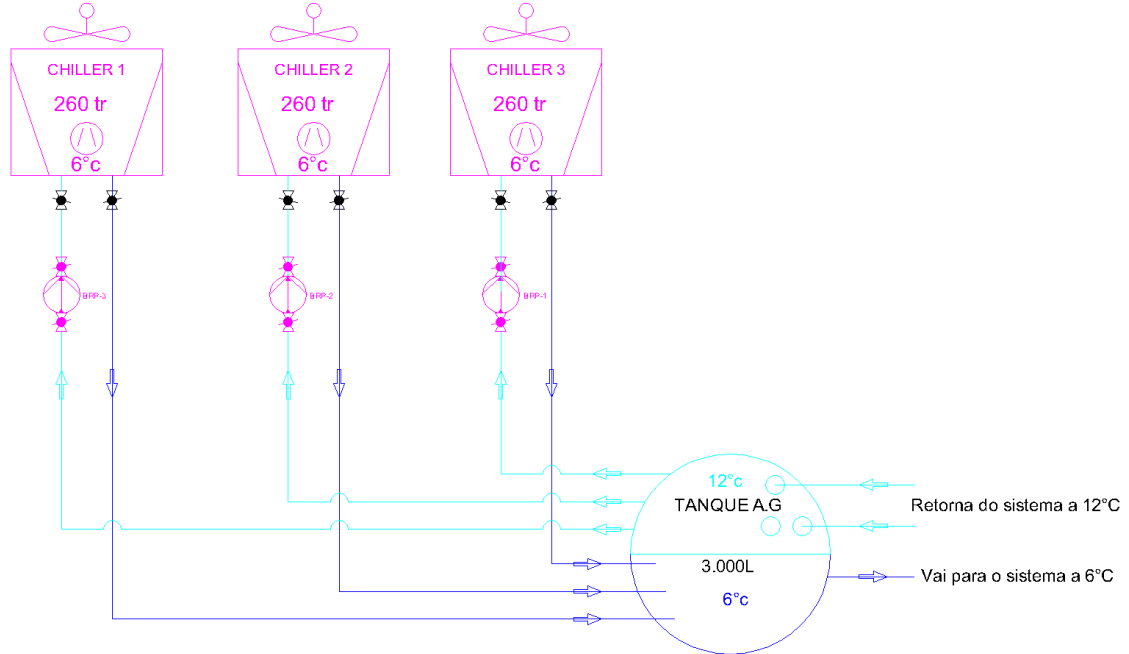
a) Circuito Primário de Água Gelada

O circuito primário deste sistema de água gelada é composto pelo conjunto *Chiller* e bomba de água gelada primária que succionam água para o *Chiller*. O circuito tem como objetivo resfriar a 6,0 °C a água que retorna da planta. São analisados os dados de projeto e compara-se os valores medidos in loco com os valores de projeto.

Na Figura 30 tem-se o desenho do esquema de instalação dos 3 *Chillers* de 225 TR cada, trabalhando em conjunto a fim de atender a demanda da instalação, pode-se ver as

bombas primárias de cada *Chiller* e o tanque de água gelada responsável por manter o volume de água constante na instalação.

Figura 30 - Diagrama circuito primário de água gelada



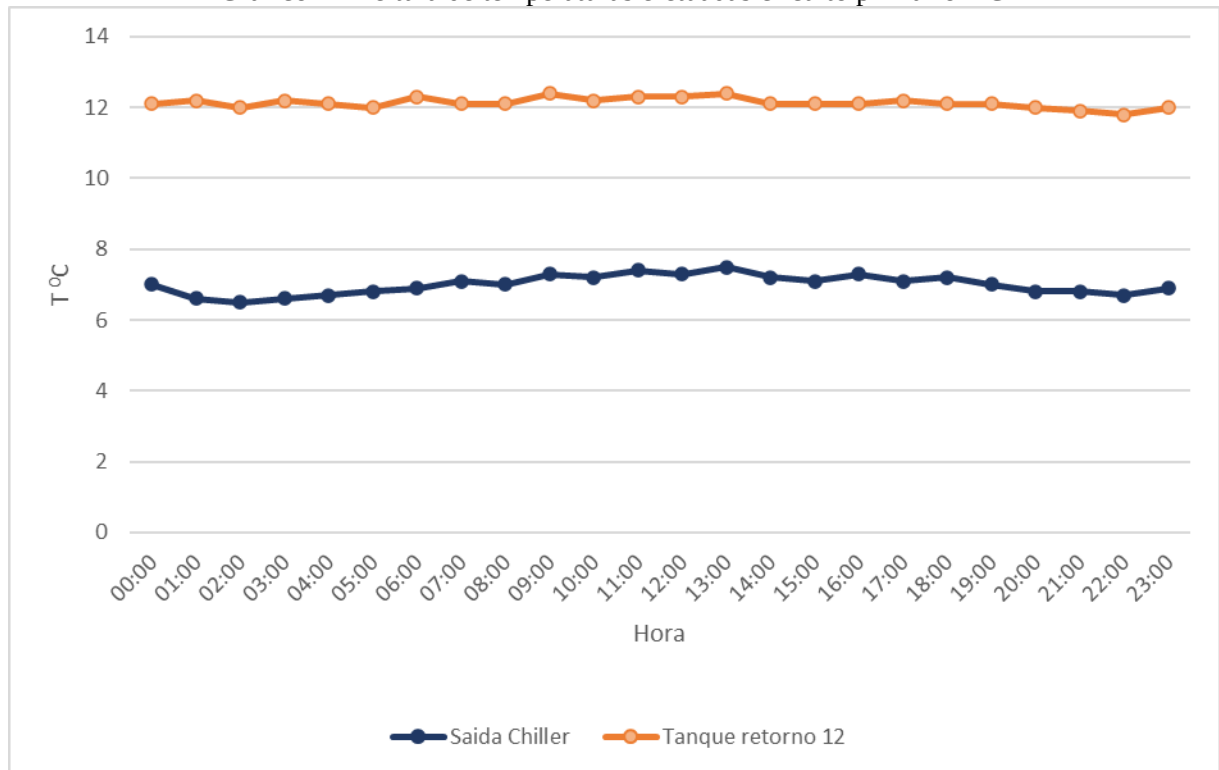
Fonte: De autoria própria

Os valores de projeto para atender a carga térmica da planta são:

- Temperatura ambiente externa: 27,0 °C
- Temperatura de Água Gelada de Saída produzida pelo *Chiller*: 6,0 °C
- Temperatura de Água Gelada de Retorno da planta: 12,0 °C

No Gráfico 1 são apresentadas as leituras de temperaturas no lado “quente (12 °C)” e “frio (6 °C)” do tanque obtidas do histórico de leitura do *Chiller*.

Gráfico 1 - Leitura de temperaturas efetuadas circuito primário AG



Fonte: De autoria própria

Observa-se que a temperatura média entregue pelo *Chiller* e pela planta correspondem aos valores de projeto como apresentado anteriormente, os valores medidos em campo são:

- Temperatura média de entrada no tanque pulmão: 7,0 °C
- Temperatura média de retorno de Água gelada no tanque pulmão: 12,2 °C

Verifica-se que os *Chillers* instalados atendem os valores de projeto entregando uma temperatura constante e que o sistema devolve esta água próxima a temperatura prevista em projeto.

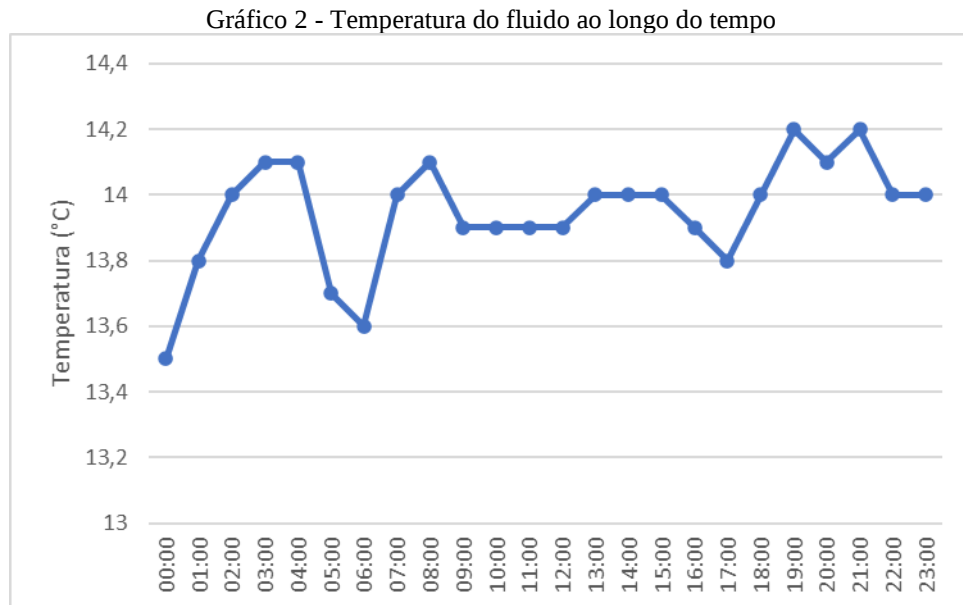
A seguir segue-se a análise do circuito de água gelada para as incubadoras e nascedouros conhecido como circuito secundário de água gelada.

b) Circuito Secundário de Água Gelada Incubadoras e Nascedouros

Este circuito observado na Figura 31 faz parte do sistema secundário de água gelada e é composto por uma bomba centrífuga de água gelada, um tanque de água gelada exclusivo onde recebe a água que retorna das serpentinas das incubadoras e nascedouros, uma válvula de mistura de água para controle da temperatura, um inversor para controle da pressão na

ressalta-se que os incubatórios tem leituristas que fazem essa leitura manualmente de hora em hora e um supervisor que registra essas informações automaticamente em banco de dados.

Analisando-se o sistema de controle secundário de temperatura do fluido, tem-se o Gráfico 2 da temperatura em função do tempo; valores estes obtidos em campo.

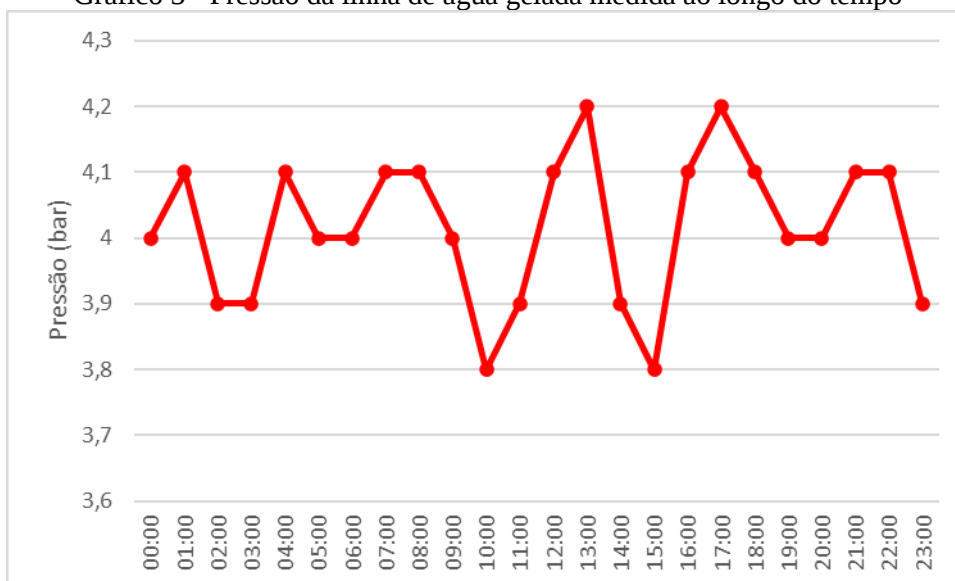


Fonte: De autoria própria

Tendo em vista que este sistema de mistura é projetado para se obter um controle preciso da temperatura verifica -se que o sistema entrega uma temperatura média de 14,0 °C conforme previsto em projeto. Para a análise completa a seguir será analisado o controle de pressão da bomba de água gelada.

Analisando o controle de pressão bomba se obtém o Gráfico 3 do resultado da medição da pressão da bomba em bar ao decorrer de um dia.

Gráfico 3 - Pressão da linha de água gelada medida ao longo do tempo



Fonte: De autoria própria

Verifica-se que este sistema entrega uma pressão média de 4,0 bar com o controlador modulando o inversor em uma faixa de frequência em torno de 50Hz próximo a corrente nominal o que é o ideal deixando uma margem caso a pressão da linha caia muito. A seguir algumas informações a respeito da bomba instalada na planta.

As bombas empregadas neste incubatório são do tipo centrífugas, sua seleção é feita observando sua curva de trabalho junto a curva do sistema. Na Figura 32 tem-se a bomba de água gelada selecionada para o circuito secundário da obra de Iporã com seus dados e curva característica apresentada no Gráfico 4.

Figura 32 - Exemplo de bomba utilizada para os Fan Coils



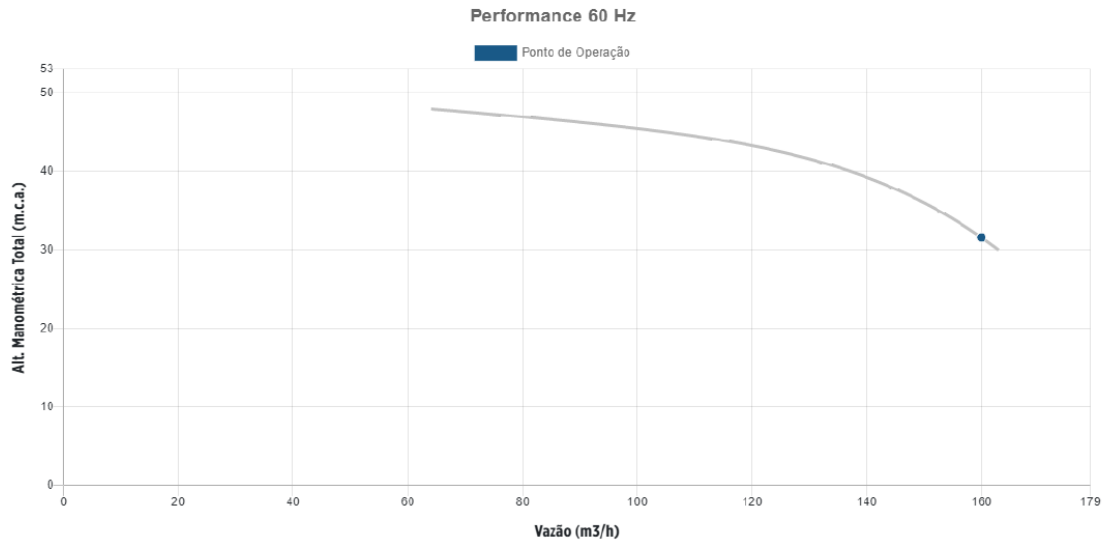
87100540-00

100-065-160 R 25 T 2P 60 3/6, R T158

Marca	Schneider
Família	FIT Monobloco
Fase	Trifásico
Tensão (V)	380/660
Potência (cv)	25
Número de Estágio(s)	1
Diâmetro de Sucção	4"

Fonte: De autoria própria

Gráfico 4 - Curva da bomba selecionada

Performance

Fonte: De autoria própria

Cada máquina de incubação trabalha em estágios diferentes solicitando mais ou menos água gelada de acordo com o tempo de incubação dos ovos. Assim, para manter a pressão da linha constante é feito um sistema de controle de pressão em malha fechada com um sensor de pressão SPKT e controlador da linha Carel. Esse sistema controla o inversor de frequência da bomba, variando a velocidade da mesma conforme demanda, nesta configuração o CLP controla a frequência do inversor em uma faixa entre 45 a 60 Hz.

Para a linha de incubação e nascedouro os dados de projetos de temperatura e pressão são:

- Pressão da linha de água gelada das incubadoras: 4 bar;
- Temperatura da linha de água gelada: 14 °C;
- Frequência modulada do inversor: 45Hz ~ 60Hz;
- Temperatura interna nas incubadoras: 35,8 °C

Os resultados obtidos para o circuito secundário de água gelada para as incubadoras e nascedouros medidos em campo foram:

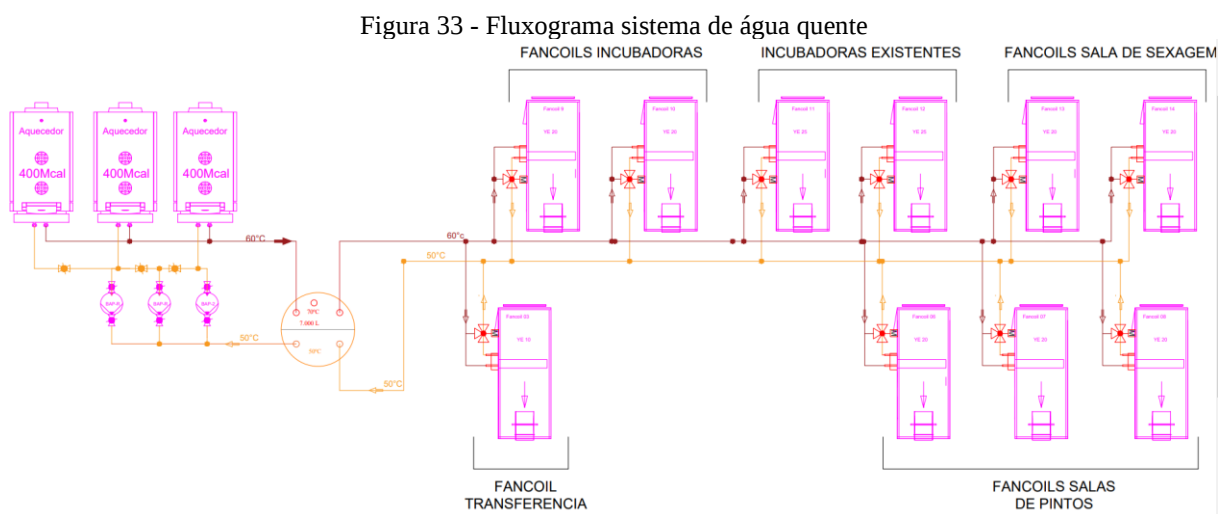
- Pressão média da linha de água gelada das incubadoras: 4,0 bar;
- Temperatura média da linha de água gelada: 14,0 °C;
- Frequência de trabalho do inversor: 45Hz ~ 60Hz;
- Temperatura interna nas incubadoras: 35,8 °C.

Portanto verifica-se que o conjunto controle de pressão da bomba e controle temperatura do fluido do circuito de água gelada da incubação e nascedouro estão trabalhando conforme projetado, atingindo seu objetivo que é entregar uma temperatura e pressão constantes do fluido mesmo com a demanda variável de máquinas trabalhando em diferentes estágios. Verifica-se que esse sistema oferece controle preciso da pressão da linha de água gelada e temperatura, permitindo ajustes rápidos e eficientes para atender às demandas variáveis do sistema. Além disso, a capacidade de variar a velocidade da bomba usando um inversor proporciona economia de energia significativa em comparação com sistemas de controle tradicionais, onde as bombas operam em velocidades fixas.

3.3 Central de Água Quente

Dimensionado para atender a carga térmica de aquecimento do sistema, são necessários 3 (três) aquecedores Domel modelo CCV 400, de 400 Mcal cada. Na Figura 33 tem-se a representação da central de água quente que alimenta as serpentinas de água quente dos *Fan Coils*. A central instalada neste incubatório em estudo é composta basicamente por:

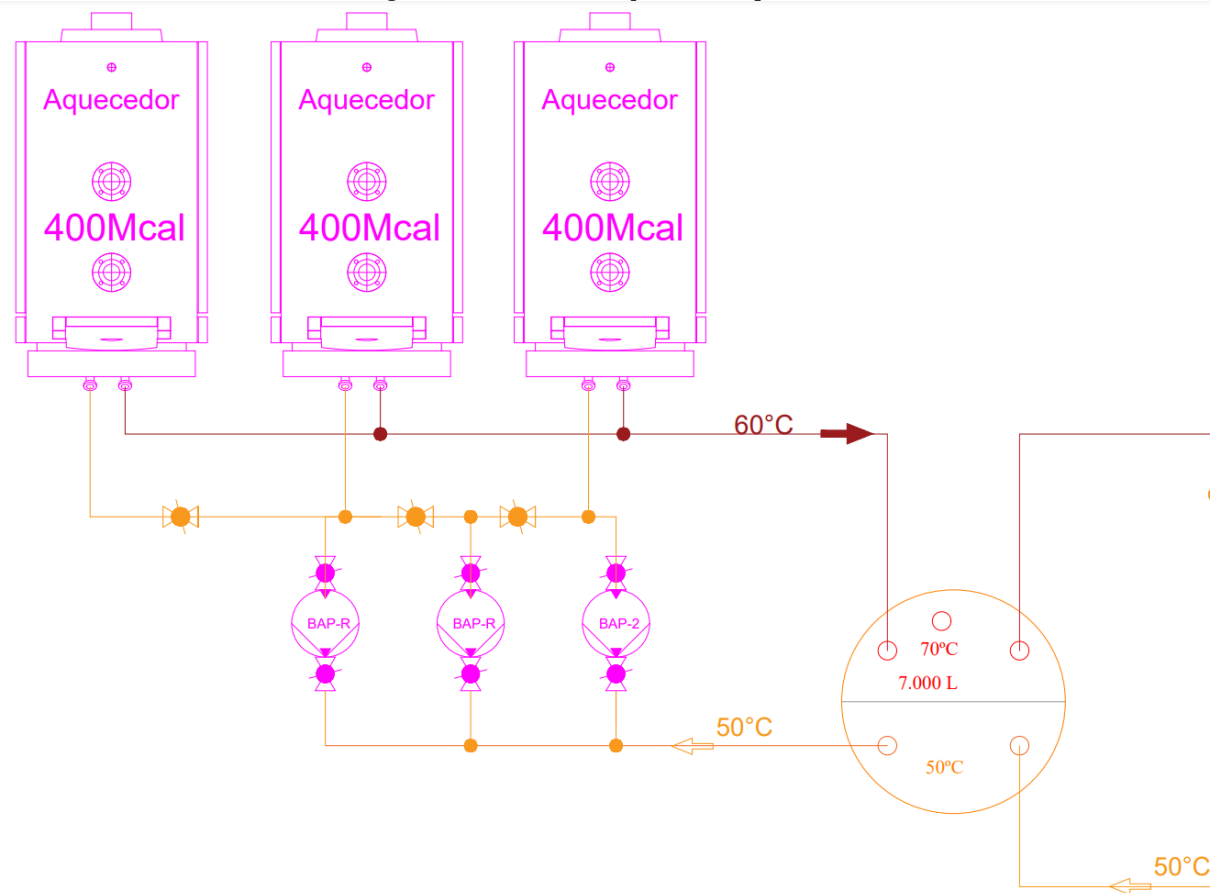
- 03 Caldeiras de 400 Mcal cada;
- 03 Bombas centrífugas de água quente primárias;
- 02 Bombas centrífugas de água quente secundárias;
- 01 Tanque de água quente de 7000 l.
- 01 Sistema de controle;



Fonte: De autoria própria

Na Figura 34 tem-se o diagrama do sistema de água quente primário que é formado pelos aquecedores, bombas primárias e o tanque pulmão. O sistema primário reaquece a água mais fria que retorna da planta. Este sistema trabalha com um *setpoint* entre 60 e 70 °C para o lado mais quente e entre 45 a 50 °C do lado mais frio do tanque.

Figura 34 - Sistema de aquecimento primário

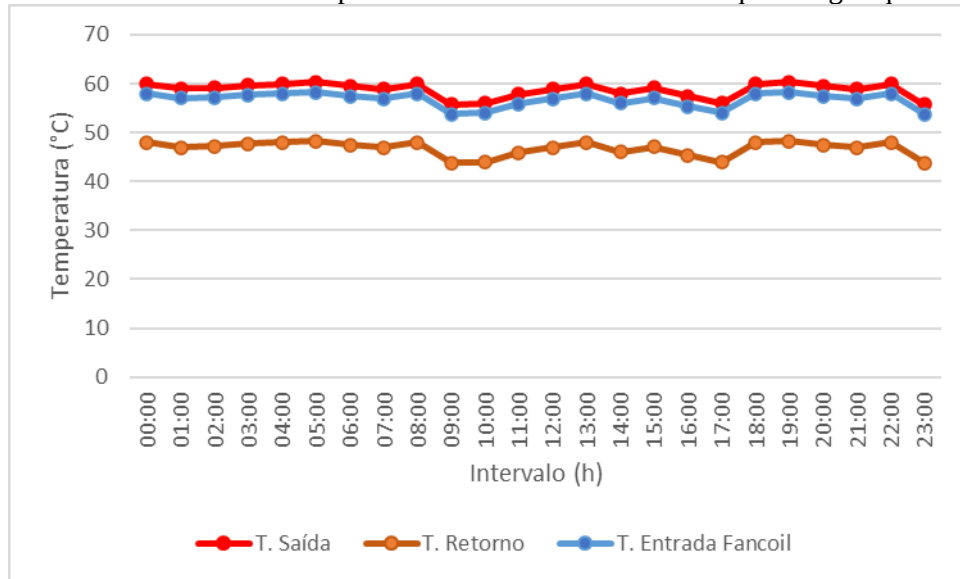


Fonte: De autoria própria

Para o sistema primário o controle de temperatura é feito pela própria caldeira utilizando um controlador *Full Gauge*. Para o sistema secundário tem-se uma bomba de partida direta que envia a água aquecida para as serpentinas da unidade de tratamento de AR, onde o controle da vazão de água quente é feito através de uma válvula de 3 vias análoga a utilizada no sistema de água gelada. As tubulações hidráulicas neste caso são formadas por material de PPR.

Assim tem-se no Gráfico 5 os dados medidos em campo para valores de temperatura de saída e retorno do tanque e temperatura medida na entrada da serpentina do *Fan Coil*, medidos por meio de sensores NTC e um controlador Carel, considerando um valor de pressão constante de 2,5 kgf/cm² para a bomba:

Gráfico 5 - Valores de temperatura de entrada e saída no tanque de água quente



Fonte: De autoria própria

Tabela 6 - Comparação valores teóricos *versus* medido em campo

Dados	T. Saída (°C)	T. Retorno (°C)	T. Fan coil (°C)	Pressão (kgf/cm ²)
Valores Teóricos de Projeto	60,0	50,0	58,0	2,5
Valores medidos em campo	58,9	48,2	57,3	2,5

Fonte: De autoria própria

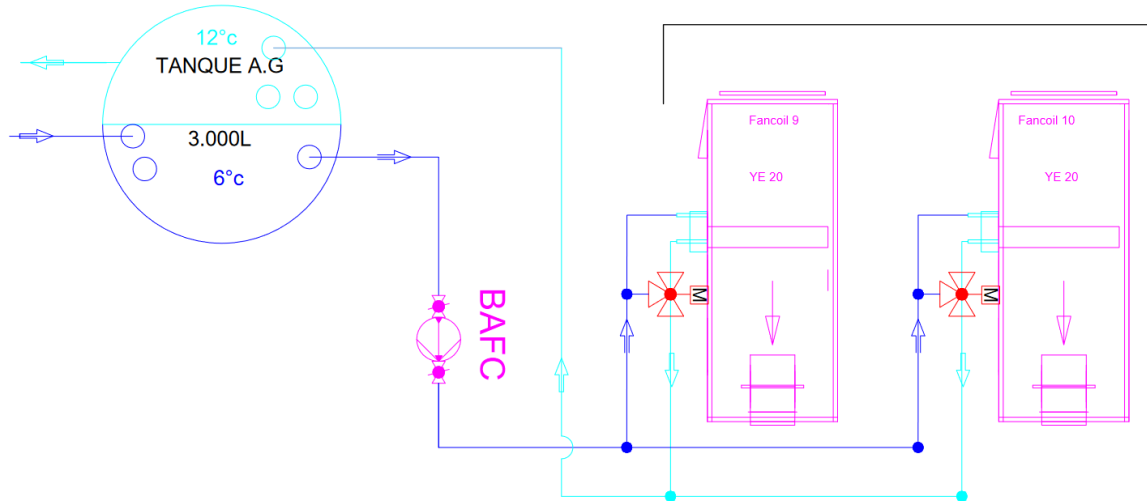
Verificou-se através dos resultados na Tabela 6 que os circuitos primários e secundários de água quente atendem à demanda da planta conforme projetado. Esta central se torna muito importante no processo de controle de temperatura e desumidificação e seu correto dimensionamento é essencial para dias em que se tem uma grande queda de temperatura ambiente externa. Com a análise das centrais de água gelada e água quente pode-se introduzir a análise do circuito secundário que envolve as unidades de tratamento de ar.

3.4 Circuito Secundário de Controle de Temperatura e Pressão do Ar Insuflado

Este circuito realiza o controle da temperatura e pressão do ar a ser insuflado nos ambientes internos das incubadoras, nascedouros e salas do incubatório. O controle de temperatura é feito através de atuadores de válvulas instalados nas linhas das serpentinas de água gelada e água quente da AHU e o controle de pressão é feito no controle da velocidade

do ventilador da unidade de tratamento de ar. O sistema de bombeamento segue o padrão do circuito anterior composto por bombas centrífugas para água gelada e água quente.

Figura 35 - Circuito secundário aplicado no condicionamento de ar das salas de incubação.



Fonte: De autoria própria

Na Figura 35 observa-se os principais componentes deste sistema hidráulico, destacando a válvula de controle de água gelada composta por atuador e válvula de 3 vias. O sistema de aquecimento é análogo ao de água gelada sendo este composto por bombas centrífugas próprias para água gelada e o controle realizado por atuador proporcional instalado na serpentina de água quente da AHU. A seguir é apresentado o condicionador de ar responsável por climatizar os ambientes internos do incubatório.

a) Unidades de Tratamento de AR (*Fan Coils*)

Neste sistema de climatização as AHUs fazem parte do sistema secundário, onde dependem das centrais de água gelada, água quente e controle de pressão do ar para manterem um ambiente nas condições ideais de temperatura, umidade e pressão. As unidades de tratamento de ar trabalham com serpentinas de resfriamento e aquecimento, assim, acionando as centrais de água gelada, água quente e controle de pressão conforme configuração no controlador. Para dimensionar a unidade de tratamento de ar para uma determinada sala se parte de algumas informações, neste caso para as incubadoras tem-se que as incubadoras trabalham com uma determinada entrada de ar, neste caso 702 m³/h a fim de controlar o nível de CO₂, a temperatura e umidade do ambiente interno. O ar insuflado precisa ser limpo, filtrado e renovado, para isto se seleciona uma unidade de tratamento de ar (*Fan Coil*) com

módulos de filtragem além do módulo serpentina e ventilador. O selecionamento de um *Fan Coil* deve levar em conta alguns fatores como local de instalação, altitude, temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, umidade relativa. Nas Tabelas 7 e 8 tem-se o exemplo dos dados utilizados para determinar o modelo e capacidade do *Fan Coil*.

Tabela 7 - Dados utilizados para dimensionamento dos *Fan Coils*

AMBIENTE	Ventilação		Resfriamento		
	Vazão de ar m³/h	P.Estat. Externa mmca	Carga Total kcal/h	Carga Sensível kcal/h	Carga latente kcal/h
Incubadoras	15.000	30			
Nascedouros	12.000	30			
Sala de Transferência	12.000	20			
Sala de pintos 1	9.500	30			
Sala de pintos 2	9.500	30			
Sala de Saque/Sexagem	22.000	30			
Sala de ovos		25			
Vestiário masculino		10			
Vestiário feminino		10			

Fonte: De autoria própria

Tabela 8 - Dados utilizados para dimensionamento dos *Fan Coils* (Continuação)

AMBIENTE	Aquecimento	Verão	Inverno	Interno	Serpentinas	QTD
	carga	temp/umid	Temp	temp/umid		
	aquec.	Entrada	Entrada	na sala		
	kcal/h	serpentina	serpentina			
Incubadoras		36/45	0°C	23/55	AG+AQ	2
Nascedouros		36/45	0°C	23/55	AG+AQ	2
Sala de Transferência		36/45	0°C	25/60	AG+AQ	1
Sala de pintos 1		36/45	0°C	25/60	AG+AQ	1
Sala de pintos 2		36/45	0°C	25/60	AG+AQ	1
Sala de Saque/Sexagem		36/45	0°C	25/60	AG+AQ	1
Sala de ovos		21/70		19/70	AG	2

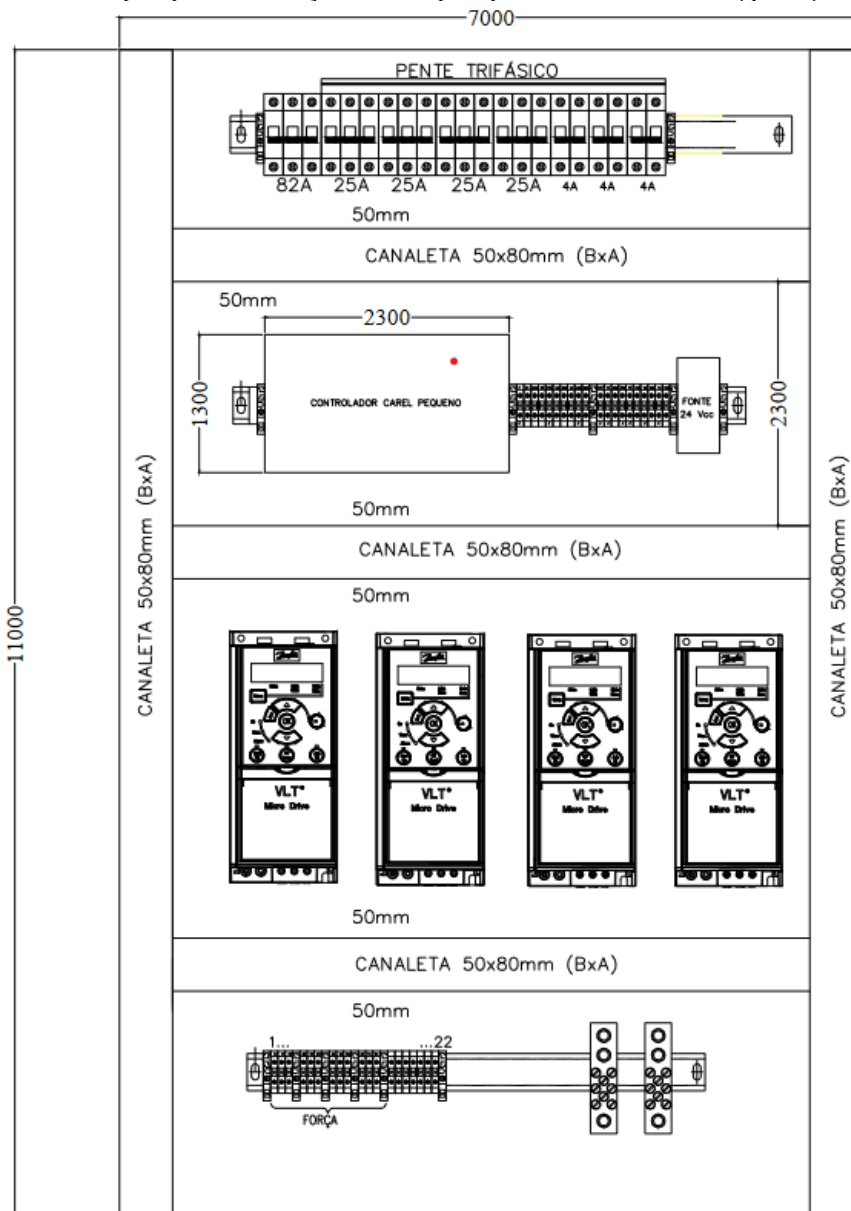
Fonte: De autoria própria

• Conexões Elétricas

Com o *Fan Coil* selecionado, faz-se os projetos de controle e automação para trabalhar com controles de temperatura atuando nas válvulas de água gelada e quente e o controle de pressão atuando na velocidade do ventilador. Geralmente em sistemas de climatização para incubatórios se utiliza de alimentação trifásica e inversores de frequência para partida e controle dos *Fan Coils*. Na Figura 36 tem-se o projeto elétrico do quadro de força para um

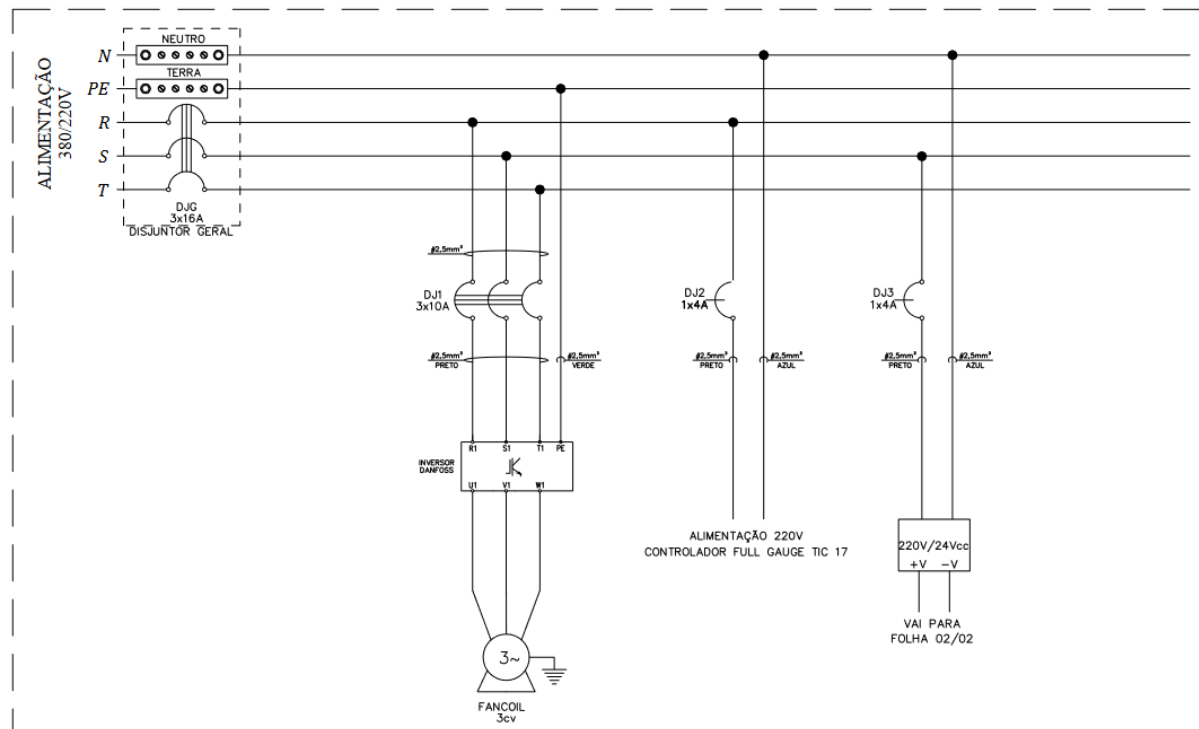
Fan Coil e na Figura 37 seu diagrama trifilar. O dimensionamento elétrico é feito seguindo as Normas ABNT.

Figura 36 - Exemplo quadro de força utilizado para partida e controle de 4 (quatro) Fan Coils.



Fonte: De autoria própria

Figura 37 - Diagrama trifilar para montagem do quadro de força



Fonte: De autoria própria

Em projeto tem-se a demanda de ar insuflado a uma pressão constante de 22 Pa para a sala das incubadoras, temperatura de 25 °C e umidade de 55%.

b) Sistema de Exaustão

Este sistema trabalha em conjunto com o sistema de controle de pressão positiva do *plenum* limpo, neste caso modula-se a velocidade do exaustor, retirando o ar contaminado que sai das incubadoras e nascedouros deixando a pressão da sala negativa (*plenum* sujo).

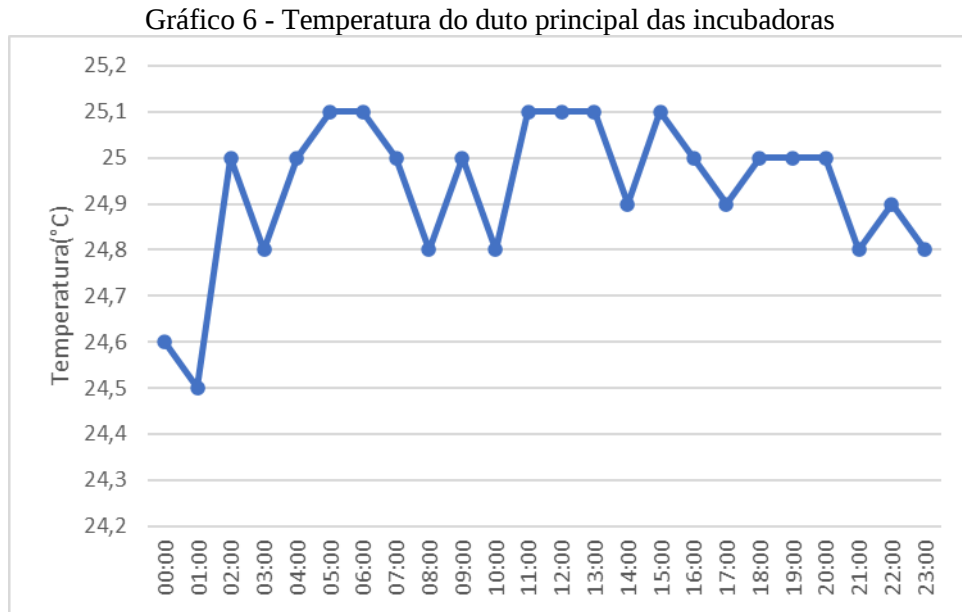
A seguir são apresentados os resultados dos valores medidos em campo para este conjunto, controle de temperatura, pressão *plenum* limpo e pressão *plenum* sujo. A análise do funcionamento deste sistema segue o mesmo padrão das anteriores com os dados obtidos do histórico do controlador.

Para este sistema instalado, tem-se os seguintes dados de projeto:

- Temperatura do duto: 25,0 °C;
- Pressão no Duto (*Plenum* Limpo): 22,0 Pa;
- Pressão de *Plenum* Sujo: -2,0 Pa.

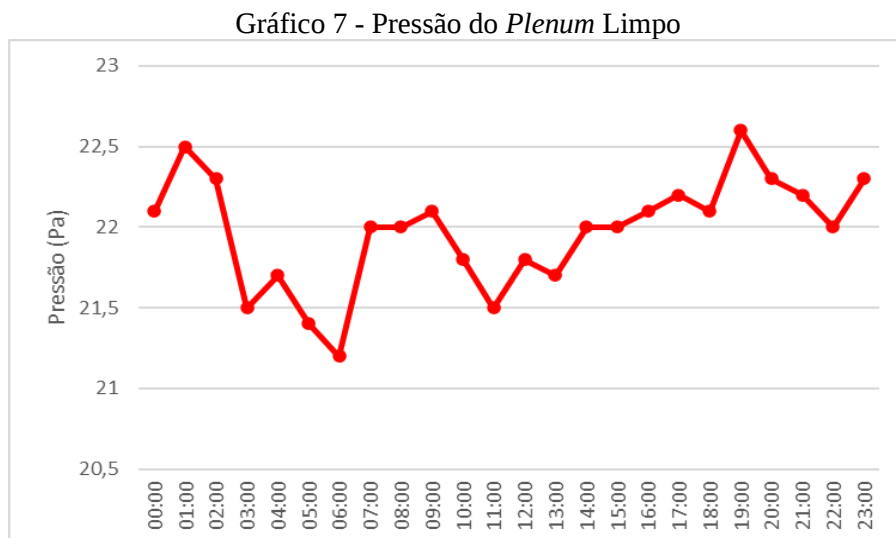
Analisando-se os dados do sistema de controle de temperatura obtém-se o Gráfico 6 onde verifica-se a variação de temperatura ao longo do tempo para intervalos de 1 (uma) hora.

Acompanhando em campo e fazendo testes de estresse onde altera-se o *setpoint* de controle, observa-se que este sistema tem uma resposta rápida no controle da temperatura, conseguindo manter a temperatura dentro de uma faixa estabelecida.

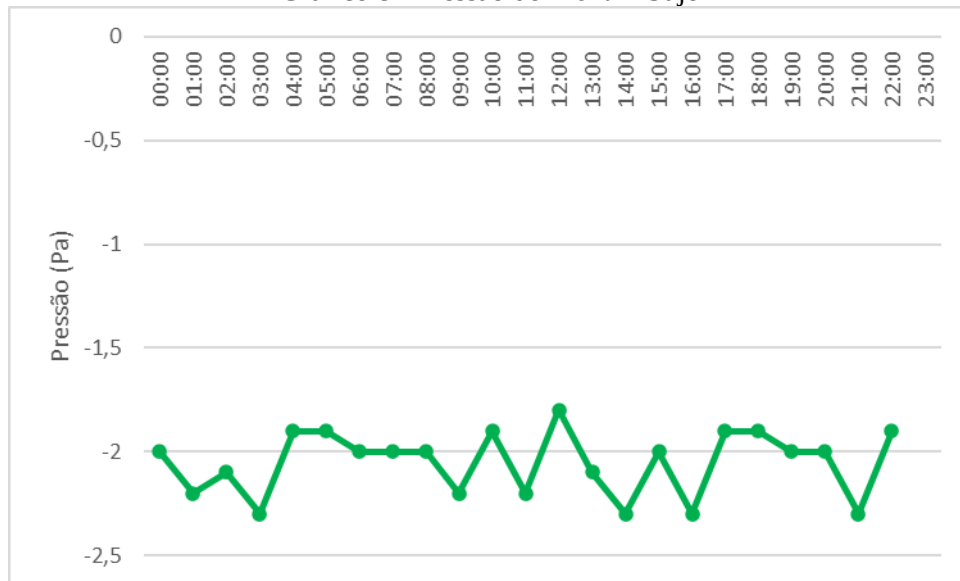


Fonte: De autoria própria

A malha de controle do sistema de pressão positiva e controle de pressão negativa seguem o mesmo padrão de funcionamento alterando a lógica de funcionamento no controlador. Analisando os controles de pressões do *plenum* limpo e *plenum* sujo, obtém-se os valores conforme Gráfico 7 e Gráfico 8. Neste caso, analisando os gráficos verifica-se que há uma variação pequena de pressão isto se deve a resposta do sistema e está dentro do aceitável para este tipo de aplicação.



Fonte: De autoria própria

Gráfico 8 - Pressão do *Plenum* Sujo

Fonte: De autoria própria

Assim tem-se os resultados obtido em campo:

Temperatura média do duto: 25,0 °C;

Pressão média no *Plenum* limpo: 22,0 Pa;

Pressão média no *Plenum* sujo: -2,0 Pa;

Comparando os resultados, este sistema consegue entregar os valores solicitados em projeto ressaltando a necessidade deste sistema ser preciso já que estresses de temperatura afetam a qualidade dos pintainhos. Verifica-se também que este sistema de controle de pressão por inversor é eficiente e atende bem a demanda de ventilação, tendo em vista que neste incubatório ocorrem nascimentos diariamente obrigando a abertura de portas das incubadoras e nascedouros com uma frequência maior, além da demanda de vazão de ar individual de cada máquina que trabalha em estágios diferentes.

3.5 Controle de Umidade

Este sistema de controle trabalha com duas malhas de controle de umidade: controle do nível de umidade onde se busca aumentar a umidade da sala quando a mesma cai a valores abaixo do recomendado onde para isso se utiliza dos bicos atomizadores, e controle do aumento da umidade conhecido como desumidificação onde busca-se diminuir a umidade buscando-se chegar no *setpoint* desejado.

a) Desumidificação

A desumidificação neste caso é feita no duto principal que alimenta as salas. Este processo ocorre no intertravamento das válvulas de água gelada e água quente da AHU onde busca-se desumidificar o ar através do fenômeno da condensação. O sistema de controle neste caso prioriza a desumidificação do ar ao controle de temperatura. A desvantagem deste sistema é que a temperatura pode cair rápido se o sistema de água quente não estiver bem dimensionado.

b) Bomba de Umidade

Este sistema de umidificação das salas precisa de um controle de pressão da água já que existe um acionamento dos bicos e a pressão da linha precisa se manter constante. O sistema de controle de pressão da bomba é instalado na sala de máquinas e utiliza um sensor de pressão SPKT instalado na saída da linha de água natural e para controle do inversor da bomba centrífuga de umidade se utiliza de um controlador Carel. A pressão de projeto é 3 bar.

c) Análise dos resultados

A análise do sistema de umidificação e desumidificação utiliza o mesmo método das análises anteriores onde se compara os valores de projeto com os valores medidos em campo.

Para este sistema de controle de umidade tem-se os seguintes dados de projeto:

- Umidade do duto principal: 55%
- Umidade da sala de incubação: 60%
- Umidade da sala de Nascedouro: 65%
- Pressão da Bomba de Água natural de Umidade (BAUM): 3 bar

Na Tabela 9 tem-se os valores de umidade no duto principal, medidos no controlador Carel. Esta variação ocorre devido ao ar insuflado ser ar externo onde sua umidade varia com o clima, assim também se faz um controle de desumidificação para dias em que o ar externo está mais úmido.

Tabela 9 - Resultados medidos de umidade relativa

Umidade %			
Horário	Duto Principal	Sala de Incubação	Sala e Nascidouro
00:00	55	59	69
01:00	57	59	68
02:00	56	56	65
03:00	59	58	62
04:00	61	60	64
05:00	58	59	63
06:00	59	58	64
07:00	60	60	66
08:00	61	60	62
09:00	55	59	63
10:00	57	61	63
11:00	59	62	63
12:00	59	61	64
13:00	61	60	62
14:00	60	63	69
15:00	59	60	64
16:00	58	62	64
17:00	55	60	64
18:00	59	61	63
19:00	58	61	64
20:00	59	62	63
21:00	58	61	65
22:00	59	62	65
23:00	62	61	64

Fonte: De autoria própria

Assim tem-se na Tabela 10 a comparação entres os resultados obtidos para o sistema de umidificação:

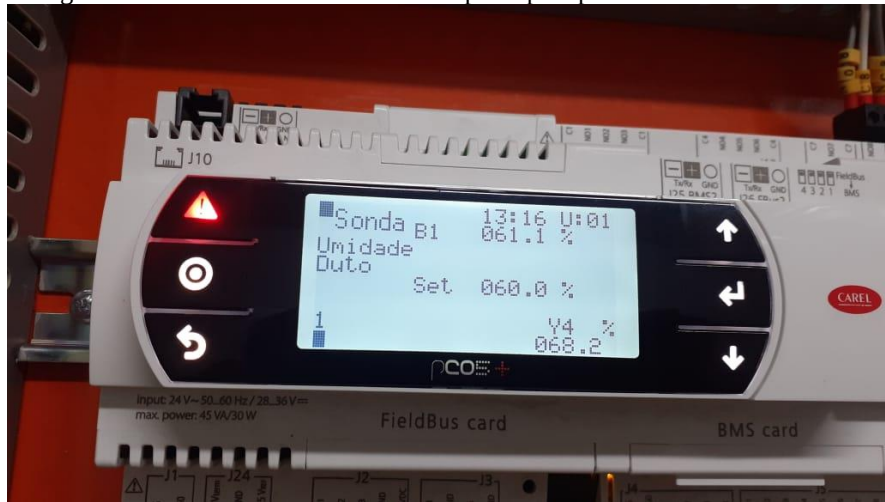
Tabela 10 - Comparação dos resultados medidos de umidade *versus* valores de projeto

Dados	Duto Principal (%)	Incubação (%)	Nascidouro (%)	Pressão BAUM (bar)
Valor Teóricos de Projeto	55	60	65	3,0
Valor Médio Medido em campo	59	60	64	3,0

Fonte: De autoria própria

Como exemplo de um controlador instalado, tem-se na Figura 38 o controlador de umidade, temperatura e pressão do duto instalado próximo ao corredor das incubadoras e a sua leitura de umidade apresentada.

Figura 38 - Leitura de umidade no duto principal apresentada no controlador.



Fonte: De autoria própria

Portanto, verifica-se que o sistema atende os parâmetros de controle umidade solicitados pelas máquinas de incubação e nascedouro.

Em conversa com um especialista da área de incubação da empresa Copemarq, houve discordância dele em relação as informações obtidas na literatura a respeito dos níveis de umidade para a incubação. Enquanto a literatura chega à conclusão de que a umidade precisa trabalhar em uma determinada faixa para se obter uma melhor taxa de eclosão, em campo, a afirmação é que quanto menor a umidade melhor para a incubação, porém os incubatórios trabalham sempre respeitando esta faixa de umidade conforme os artigos científicos.

4 CONCLUSÃO

Quando iniciaram-se as pesquisas para a criação deste trabalho de graduação, constatou-se que o estudo deste sistema de climatização específico para incubatórios seria importante na observação da interseção entre a engenharia elétrica e o bem estar animal e que por isso, era importante estudar este tema de forma a apresentar a tecnologia aplicada junto aos conceitos práticos e teóricos abordados durante a graduação.

Diante disso a pesquisa teve como objetivo geral o estudo e análise do desempenho deste sistema, através dos processos de controle de parâmetros como temperatura, umidade e pressão e como objetivo específico o estudo do sistema de controle e automação empregado. Constatou-se que os objetivos foram atendidos, pois o trabalho conseguiu apresentar os subsistemas de água gelada, água quente, umidade, condicionamento do ar e o sistema de controle e automação e pôde-se demonstrar que o funcionamento em conjunto destes subsistemas atende as demandas térmicas, demandas de níveis de umidade e de ventilação do incubatório.

Esta pesquisa teve como problemática a necessidade de fornecer um ambiente ideal de incubação para que o pintainho possa nascer saudável e com qualidade. Uma hipótese para fornecer este ambiente seria a instalação deste sistema de climatização. Neste trabalho pôde-se comprovar a existência deste problema através do acompanhamento em campo dos efeitos destes parâmetros sobre os pintainhos e confirmou-se a hipótese quando observou-se que o sistema entrega as demandas de temperatura, umidade e troca gasosa solicitadas pelas máquinas de incubação.

A metodologia empregada propiciou a coleta de dados em campo e alinhada ao estudo bibliográfico pôde-se tratar esses dados obtidos. As coletas destas informações no incubatório de Iporã – PR foram realizadas através de procedimentos como, acesso ao supervisório de controle para obtenção dos parâmetros em estudo, utilização de ferramentas elétricas na medição dos sinais entre o controlador e os atuadores e por fim coleta de informações com os funcionários sobre o desempenho do incubatório e do sistema de climatização.

A contribuição deste trabalho está presente na descrição e apresentação deste sistema de climatização específico para incubatórios, sistema este muito importante já que os incubatórios são uma engrenagem vital na cadeia avícola, garantindo a continuidade e eficiência do ciclo produtivo, desde a genética superior até o fornecimento de carne de frango de alta qualidade ao mercado. Pôde-se também apresentar a importância da automação no

controle da temperatura, umidade e ventilação, e como a engenharia elétrica entra em cena desde o dimensionamento até a implementação e monitoramento deste sistema.

A maior dificuldade encontrada neste trabalho foi no acesso a informações importantes, mas restritas, como exemplo métricas de desempenho aplicadas pelo incubatório e acesso ao supervisor das máquinas de incubação e nascedouro, a fim de obter informações para o cruzamento de dados.

Portanto recomenda-se em futuras pesquisas a obtenção de dados internos do incubatório com o objetivo de se obter novas métricas e indicadores, podendo-se relacionar diretamente o desempenho do incubatório com o sistema de climatização instalado.

REFERÊNCIAS

ANGEL, W. Larsen. “HVAC Design Sourcebook”. 2020. P.E., LEED AP.

ARAÚJO, M E. “Ventilação Natural na Indústria”. TECVENT, 2023. Disponível em <tecvent.com.br/ventilacao-natural-na-industria>. Acessado em: 30 de outubro, 2023.

ASHRAE. “ASHRAE Handbook-Fundamentals”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1K75nAEACAAJ>>. Acesso em: 26, setembro de 2023

ASHRAE. “HVAC Systems and Equipment”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2016. Disponível em: <https://www.google.com.br/books/edition/Ashrae_Handbook_2016/3RzGDAEACAAJ?hl=pt-BR>. Acesso em: 26 de setembro de 2023

AVIAGEN. “Dicas de Incubação”. Disponível em: <https://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/HatcheryTips-PT.pdf> Acesso em: 8 de agosto de 2023.

AZEVEDO NETO, M. F. Fernandez, R. Araujo, A. E. Ito. Manual de Hidráulica. São Paulo, Edgard Blucher, 1998 8ª ed.

BACKYARD. Poultry Contributor. Importance of Incubator Temperature and Humidity for Chicken Eggs. 2023. Disponível em: <https://backyardpoultry.iamcountryside.com/eggs-meat/incubator-temperature-humidity-chicken-eggs/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

BAPTISTA, Flavia Maria Fragate et al. NEWCASTLE EM AVES DE PRODUÇÃO: REVISÃO DE LITERATURA. Almanaque de Ciências Agrárias-ACA, v. 4, n. 1, p. 1- 8, 2021.

CAREL. “Controladores Lógicos Programáveis”. Disponível em: https://www.carel.com.br/pco-sistema/-/journal_content/56_INSTANCE_i4q5KIMLInKK/10191/50255. Acesso em: 10 de agosto. 2023.

CAREL. “Sensores and Protections devices”. Disponível em: <https://www.carel.com.br/sensors-and-protection-devices>. Acesso em: 10 de agosto. 2023

COOB. “Incubatório Coob, Guia de Manejo”. Disponível em: <<https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/c21a98c17d/Incubatorio-Cobb-Guia-de-Manejo-2020-07.pdf>> Acesso em: 10 de agosto de 2023.

DECUYPERE et al, 2001 E. Decuyper, K. Tona, V. Bruggeman, F. Bamelis, The day-old chick, a crucial hinge between breeders and broilers, World's Poult. Sci. J., 57 (2001), pp. 127-138.

Engenharia e Arquitetura. Caixas de volume de ar variável. Disponível em: <https://www.engenhariaearquitectura.com.br/2021/09/caixas-de-volume-de-ar-variavel>. Acesso em: 16 de março de 2024

FERNANDES, J. I. M., Rorig, A., Oro, C. de S., Horn, D., Bordignon, H. L. F., & Mello, J. F. de .. (2019). INFLUÊNCIA DOS NÍVEIS DE CO₂ E DO TIPO DE INCUBADORA SOBRE O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E MORFOMETRIA CARDÍACA DE FRANGOS DE CORTE. *Ciência Animal Brasileira*, 20, e-35197. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v20e-35197>

GÊRONIMO. Instrumentação na Ind. Química. ELL USP, 2023. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840921/208/Aula2.pdf>>. Acesso em: 26, setembro de 2023.

GIGLI, A. C. de S., Baracho, M. dos S., Nääs, I. de A., Salgado, D. D., & Alvarenga, D. P.. (2009). Environmental conditions in broiler multi-stage setter: a case study. *Scientia Agricola*, 66(2), 145–149. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000200001>

GULICH, J. F. (2009). *Centrifugal pumps*. Springer Science & Business Media.

GUSTIN, P.C. Biossegurança no incubatório. In: MACARI, M.; GONZÁLES, E. Manejo da incubação. Campinas: FACTA, 2003. p.297-352.

IDAHO. Disponível em: <<https://www.webpages.uidaho.edu/mindworks/Thermodynamics/Lectures/L34/SI%20Psychrometric%20Chart%20No.%201.pdf>> Acesso em: 16 de março de 2024.

JANISCH, S. “Changing the incubation temperature during embryonic myogenesis influences the weight performance and meat quality of male and female broilers”. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119319686>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

LOUISVILLE. Disponível em: < <https://louisville.edu/housing/policies/procedures/hvac>> Acesso em: 16 de maio de 2024.

LU, Daniel B.; Warsinger, David M. (2020). "Energy savings of retrofitting residential buildings with variable air volume systems across different climates". *Journal of Building Engineering*. Elsevier BV. 30: 101223. doi:10.1016/j.job.2020.101223. ISSN 2352-7102. S2CID 216163990

NACHI. Disponível em: < <https://www.nachi.org/gallery/general-4/ahu-with-heating-and-cooling>> Acesso em: 16 de maio de 2024.

OLIVEIRA, J M. “Noções de Ventilação Industrial”. UFPR, 2020. Disponível em <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL.pdf>. Acessado em: 30 de outubro de 2023.

PNUD. Guia Prático sobre Sistemas de Água Gelada. Disponível em: http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/gerenciamento_Chillers/Ar_Condicionado_-_Guia_Pr%C3%A1tico_sobre_Sistemas_de_%C3%81guas_Gelada_PDF.pdf. Acesso em: 8 de agosto de 2023.

POTTER, Merle C.; WIGGERT, David C.; HONDZO, Midhat. *Mecânica dos Fluidos*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2010.

SIXFLUX. “Psicrometria o que é e qual a sua importância”. SIXFLUX, 2023. Disponível em < <https://sicflux.com.br/blog/psicrometria-o-que-e-e-qual-a-sua-importancia> >. Acesso em: 01 de novembro, 2023.

STANFORD III, Herbert W. “HVAC Water *Chillers* and Cooling Towers: Fundamentals, Application, and Operation, Mechanical Engineering”. 2ed. Taylor & Francis Ltd. 2017.

SEVERN. Disponível em: < <https://www.theseverngroup.com/cav-vs-vav-hvac-systems/> > Acesso em: 16 de março de 2024.

SIEGENTHALER, John P.E. Disponível em: < <https://www.pmmag.com/articles/100848-practice-good-sensor-ship> > Acesso em: 22 de março de 2024.

VEVOR. Disponível em: <<https://www.vevor.com/pt/diy-ideas/water-chiller-systems/>> Acesso em: 16 de março de 2024.

VIOLA, T. H.; BEZERRA, T. A.; SOBREIRA, R. dos S.; COSTA, B. A. da; LIMA NETO, A. F. Considerações técnicas sobre a incubação de ovos de galinhas. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 25 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 261).

VIVAN, Paloma Melatti. Fatores físicos que influenciam o desenvolvimento embrionário durante o processo de incubação. Lume, 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/200633>>. Acesso em: 10, dezembro de 2022.