

# **TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

## **PROJETO E AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE AR CONDICIONADO HÍBRIDO**

**Antônio Cássio Araújo Miranda  
Hamilson Leão Pires de Castro Freitas**

**Brasília, setembro de 2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO E AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE AR CONDICIONADO HÍBRIDO**

**Antônio Cássio Araújo Miranda  
Hamilson Leão Pires de Castro Freitas**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Controle e Automação

**Banca Examinadora**

Prof. Adolfo Bauchpiess, UnB/ ENE (Orientador)

---

Prof. Marco A. Egito Coelho, UnB/ ENE

---

Prof. João M. D. Pimenta, UnB/ ENM

---

## **Dedicatória(s)**

*Dedico a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.*

*Cássio Miranda*

*À minha família, eterna fonte de inspiração.*

*Hamilson Leão*

---

## RESUMO

O presente trabalho visa desenvolver um sistema de controle e automação de forma a otimizar o consumo de energia e obter conforto térmico através de uma boa operação do sistema híbrido. Primeiramente, é feita uma revisão teórica sobre os assuntos a serem abordados no trabalho. Faz-se uma breve revisão sobre sistemas de refrigeração, psicrometria, PMV, redes wireless e sensores. Em seguida, apresenta-se os cálculos e o projeto para o sistema de ar-condicionado do LARA - Laboratório de Automação e Robótica. Nesse ponto é realizado uma análise do funcionamento do sistema proposto, bem como a justificativa para escolha de componentes. Então, são apresentados os projetos de *Hardware* dos módulos a serem utilizados no sistema, o qual é composto de quatro módulos, sendo três sensores e um atuador. Depois, foram feitos testes com diferentes estratégias de controle. Para cada uma foi feito um programa em VBS (Visual Basic Script) que foi utilizado no software *Action View*, o qual é um supervisor e um meio de geração de dados para análise do processo. Finalmente, foi realizada uma análise e discussão dos dados obtidos. Os resultados das estratégias de controle foram analisados, focando, principalmente, no conforto térmico através do cálculo do PMV.

Palavras Chave: integração, ar-condicionado, híbrido, *wireless*, microcontrolador.

---

## ABSTRACT

The present work aims to develop a system of control and automation to optimize energy consumption and achieve thermal comfort through good operation of the hybrid system. Firstly, a theoretical review of the issues to be addressed in this paper is shown. A brief review of refrigeration systems, psychrometric, PMV, wireless networks and sensors is described. Then the calculations and design for the system of air-conditioned LARA - Laboratory for Automation and Robotics are presented. At this point an analysis is carried out of the operation of the proposed system, as well as the reasons for choosing the components. Then, we present the hardware design of the modules to be used in the system, which consists of four modules, three sensors and one actuator. Then tests were performed with different control strategies. For each one was made a program in VBS (Visual Basic Script) that was used in the software *Action View*, which is a SCADA and a means to generate data for analysis of the process. Finally, we performed an analysis and discussion of results. The results of control strategies were analyzed, focusing mainly on thermal comfort through the calculation of PMV.

Keywords: Integration, air-conditioning, hybrid, wireless, microcontroller

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO .....	2
1.2 METODOLOGIA .....	2
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
<b>2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>4</b>
2.1 PSICROMETRIA .....	4
2.1.1 MISTURA VAPOR D'ÁGUA E AR .....	4
2.1.2 PARÂMETROS PSICROMÉTRICOS .....	4
2.1.3 A CARTA PSICROMÉTRICA .....	5
2.2 CICLOS TERMODINÂMICOS .....	7
2.2.1 ETAPAS DE UM CICLO IDEAL DE REFRIGERAÇÃO .....	7
2.2.2 COEFICIENTE DE PERFORMANCE .....	9
2.3 SISTEMAS DE COMPRESSÃO .....	9
2.4 SISTEMAS EVAPORATIVOS .....	10
2.5 PMV .....	12
2.5.1 BALANÇO ENERGÉTICO DO CORPO .....	13
2.5.2 ÍNDICE PMV .....	14
2.6 ZIGBEE .....	15
2.7 SENSOR .....	20
2.7.1 SENSOR DE TEMPERATURA .....	21
2.7.2 SENSOR DE UMIDADE .....	24
2.7.3 SENSOR DE VELOCIDADE DO AR .....	25
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>26</b>
3.1 POSSIBILIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO NO LARA .....	26
3.1.1 AR CONDICIONADO DE JANELA .....	26
3.1.2 AR CONDICIONADO SPLIT .....	26
3.1.3 AR CONDICIONADO DE CAG .....	26
3.1.4 SISTEMA EVAPORATIVO .....	27
3.1.5 SISTEMA HÍBRIDO .....	27
3.2 PROJETO DO SISTEMA .....	27
3.2.1 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA .....	27
3.2.1.1 NORMA BRASILEIRA 5410 .....	27
3.2.1.2 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA E SIMULAÇÃO ENERGYPLUS .....	30
3.2.2 SISTEMA DO LARA .....	39
3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL EVAPORATIVO .....	41
3.2.4 DIMENSIONAMENTO DO <i>DAMPER</i> .....	42
3.2.5 ATUADOR PARA <i>DAMPER</i> .....	43

3.2.6	RESERVATÓRIO DE ÁGUA .....	43
3.2.7	CAIXA INOX.....	43
3.2.8	DUTO EXTERNO.....	43
3.2.9	DIMENSIONAMENTO EXAUSTOR.....	43
3.3	HARDWARE.....	44
3.3.1	SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE – SHT71 .....	44
3.3.2	SENSOR DE VELOCIDADE DO AR MODEL 641-12-LED.....	47
3.3.3	POSICIONAMENTO DOS SENSORES .....	48
3.3.4	BREAKOUT.....	49
3.3.5	MÓDULO SENSOR DO DUTO.....	50
3.3.6	MÓDULO SENSOR DE CONFORTO .....	51
3.3.7	MÓDULO SENSOR EXTERNO .....	51
3.3.8	MÓDULO ATUADOR .....	52
3.3.9	CONTROLE <i>DAMPER</i> .....	54
3.3.10	DIAGRAMA DE COMANDO E DIAGRAMA ELÉTRICO .....	55
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>58</b>
4.1	HARDWARE.....	58
4.2	ESTRATÉGIA DE CONTROLE.....	59
4.2.1	ESTRATÉGIA 1 .....	60
4.2.2	ESTRATÉGIA 2.....	61
4.3	DADOS E ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS.....	61
4.3.1	DADOS DO SUPERVISÓRIO .....	61
4.3.2	ANÁLISE DOS DADOS.....	62
4.3.3	ANÁLISE DE PMV .....	63
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
A.1	FOTOS DO SISTEMA .....	70
A.2	CÓDIGOS DO SISTEMA DE CONTROLE EM VISUAL BASIC SCRIPT.....	71

# LISTA DE FIGURAS

Representação da $T_o$ para um valor de $T_{bs}$ .....	2.1
Representação de parâmetros na carta psicrométrica .....	2.2
Carta Psicrométrica.....	2.3
O ciclo de refrigeração de Carnot .....	2.4
Relação entre os processos e os dispositivos de um refrigerador.....	2.5
Representação de um sistema de compressão (refrigerante HFC134a). .....	2.6
Esquema de funcionamento de um sistema de Resfriamento Evaporativo .....	2.7
Ábaco da temperatura efetiva .....	2.8
Formas de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente .....	2.9
Escala de sensação térmica .....	2.10
PPD como função do PMV.....	2.11
Camadas Protocolo ZigBee .....	2.12
Árvore.....	2.13
Estrela .....	2.14
Mesh .....	2.15
Alcance em função da Taxa de Transmissão .....	2.16
Tensão de saída em função da temperatura .....	2.17
Relação entre a mudança de resistência e a umidade.....	2.18
Planta-baixa simplificada LARA.....	3.1
Layout da planilha segundo a norma NBR5410 (Parte I).....	3.2
Layout da planilha segundo a norma NBR5410 (Parte II).....	3.3
Diagrama de nós do sistema evaporativo.....	3.4
Desenho representativo do Sistema Evaporativo direto.....	3.5
Resfriamento evaporativo adiabático.....	3.6
Norte Verdadeiro” corresponde ao Norte do Edifício.....	3.7
Fotografia de satélite.....	3.8
Visão aérea do SG11 ao centro da imagem .....	3.9
Dados usados na simulação .....	3.10
Temperatura externa e interna .....	3.11
Esquema de montagem do sistema híbrido do LARA .....	3.12
Estratégias para molhar o painel evaporativo .....	3.13
SHT71.....	3.14
Instante de leitura e escrita de dados.....	3.15
Exemplo de leitura umidade relativa .....	3.16
Sensor de velocidade do ar 64112LED.....	3.17
Esquema de ligação do sensor 64112LED.....	3.18
Localização dos sensores .....	3.19
Esquema elétrico sensor do Duto.....	3.20
Esquema elétrico do Módulo sensor de conforto.....	3.21
Eficiência de resfriamento evaporativo.....	3.22
Esquema elétrico do acionamento por relé mecânico .....	3.23
Esquema elétrico do Módulo atuador .....	3.24
Esquema elétrico dos divisores resistivos do atuador proporcional do damper.....	3.25
Diagrama de comando .....	3.26
Diagrama elétrico.....	3.27
Placa do módulo atuador e controle do damper .....	4.1
<i>Breakout</i> .....	4.2
Módulo de Controle .....	4.3
Um dia típico do mês de agosto .....	4.4
Fluxograma da estratégia de controle .....	4.5
Dados fornecidos pelo supervisor, com o ambiente submetido a estratégia de controle 1 .....	4.6
QUESTemp 36.....	4.7
Dados fornecidos pelo supervisor, com o ambiente submetido a estratégia de controle 2 .....	4.8
Dados fornecidos pelo QUESTemp36, com o ambiente submetido a estratégia de controle 1 .....	4.9
Dados fornecidos pelo QUESTemp36, com o ambiente submetido a estratégia de controle 2 .....	4.10
Dados fornecidos pelo QUESTemp36, com o ar-condicionado desligado .....	4.11
Fotos do sistema .....	A1.1

# LISTA DE TABELAS

Camadas MAC e PHY - Principais Características .....	2.1
Principais diferenças entre ZigBee e Bluetooth .....	2.2
Considerações de Tempo .....	2.3
Características Termistor .....	2.4
Característica RTD .....	2.5
Características Termopar .....	2.6
Características Silício Integrado .....	2.7
Comparação entre os métodos de estimação da carga térmica .....	3.1
Dados da Localização do LARA .....	3.2
Dados do dia da simulação .....	3.3
Normalizada ABNT (NB10).....	3.4
Descrição dos pinos do SHT71.....	3.5
Comandos do SHT71 .....	3.6
Bits A e B, canal do multiplexador escolhido e as tensões de saída para o damper .....	3.5
Análise do PMV para estratégia 1 .....	4.1
Análise do PMV para estratégia 2 .....	4.2
Análise do PMV para o sistema desligado.....	4.3

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$M_w$	Massa de vapor d'água	[kg]
$M_a$	Massa de ar seco	[kg]
$w$	Umidade absoluta	[kg/kg]
$x_w$	Fração molar do vapor d'água	
$x_{ws}$	Fração molar do vapor d'água para o ar saturado	
$T_{bs}$	Temperatura de bulbo seco	[°C]
$T_{bu}$	Temperatura de bulbo úmido	[°C]
$T_o$	Temperatura de orvalho	[°C]
$T_{rm}$	Temperatura radiante média	[°C]
$M$	Produção metabólica de calor	[W/m <sup>2</sup> ]
$W$	Trabalho mecânico realizado	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{res}$	Calor liberado pela respiração	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{sk}$	Calor liberado pela pele	[W/m <sup>2</sup> ]
$E_{sk}$	Perda evaporativa devido à pele	[W/m <sup>2</sup> ]
$C$	Perda de calor sensível da pele devido à convecção	[W/m <sup>2</sup> ]
$R$	Perda de calor sensível da pele devido à radiação	[W/m <sup>2</sup> ]
$C_{res}$	Calor liberado por convecção na respiração	[W/m <sup>2</sup> ]
$E_{res}$	Perda evaporativa devido à respiração	[W/m <sup>2</sup> ]
$L$	Carga térmica do corpo	[W/m <sup>2</sup> ]
$T_{dbsupin}$	Temperatura de bulbo seco do ar antes de entrar no painel evaporativo	[°C]
$T_{dbsupout}$	Temperatura de bulbo seco do ar após o painel evaporativo.	[°C]
$T_{odb}$	Temperatura de bulbo seco do ar de saída	[°C]
$T_{owb}$	Temperatura de bulbo úmido do ar de saída	[°C]
$\varepsilon$	Eficiência do resfriamento evaporativo	

## Símbolos Gregos

$\phi$	Umidade relativa	[%]
$\Delta$	Varição entre duas grandezas similares	
$\rho$	Densidade	[m <sup>3</sup> /kg]

## **Subscritos**

*amb* ambiente

*ext* externo

*in* entrada

*ex* saída

## **Siglas**

HVAC Heating, Ventilation and Air-Conditioning

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC Ar-Condicionado

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

PMV *Predicted Mean Vote*

PPD *Predicted Percent Dissatisfied*

# 1 INTRODUÇÃO

*Este capítulo apresenta a problemática dos sistemas híbridos, a metodologia, os objetivos e as metas do trabalho.*

A comunidade científica internacional busca meios para garantir a sustentabilidade da sociedade humana. Atualmente, inúmeras vertentes de trabalhos e pesquisas vão ao encontro do conceito de sustentabilidade. O desenvolvimento sustentável, na área de engenharia, inicia-se na fase de projeto. Por exemplo, em uma obra a escolha correta de materiais, como tubulações feitas de plástico reciclado, madeira de reflorestamento, fibras naturais e materiais reaproveitados de demolição colaboram para a sustentabilidade, assim como um projeto de fachadas de prédios, de localização de portas e janelas possibilitam o aproveitamento da iluminação e da ventilação natural, o que colabora com a redução do consumo de energia elétrica.

A eficiência energética que se entende como o uso inteligente e eficaz das diferentes formas de energia de interesse da sociedade é vista como um dos pilares para se conseguir a sustentabilidade.

De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia, os edifícios residenciais, comerciais e públicos são responsáveis por 42% (quarenta e dois por cento) da energia consumida no país, desta fração 48% (quarenta e oito por cento) é consumida somente pelos sistemas de ar condicionado.

Além disso, valores extremos de baixa umidade relativa do ar, como também altas temperaturas são grandes causadores de desconforto a população, em regiões com períodos secos, como o centro-oeste brasileiro. Dessa forma, é imprescindível o uso da refrigeração e umidificação do ar para gerar condições mais favoráveis ao conforto humano.

O resfriamento evaporativo é um processo natural que consiste na redução da temperatura do ar e elevação de sua umidade relativa através de mecanismos simultâneos de transferência de calor e massa entre o ar e a água, [1].

Uma vantagem do uso de sistemas evaporativos para conforto térmico é o fato de apresentar baixo consumo de energia comparativamente aos sistemas convencionais baseados em ciclos de compressão mecânica e ter instalação, manutenção e operação simples, sendo facilmente integrável a sistemas de condicionamento de ar já instalados, [1].

Um sistema híbrido consiste da associação de um sistema de resfriamento evaporativo auxiliado por um sistema de compressão mecânica. Esse sistema procura atender às demandas de refrigeração e umidificação garantindo o conforto térmico. Além disso, permite uma grande flexibilidade na operação através da escolha de diversas estratégias de controle.

A utilização de sistemas híbridos tem-se mostrado bastante vantajosa, com economia significativa de energia chegando a 70%, dependendo das condições ambientais, [2].

## 1.1 OBJETIVO

Inserido nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um sistema de controle e automação de forma a otimizar o consumo de energia e obter conforto térmico através de uma boa operação do sistema híbrido.

## 1.2 METODOLOGIA

Foi realizado um estudo minucioso dos temas psicrometria, sistemas de refrigeração, PMV, redes *wireless* e sensores relacionados ao trabalho.

O cálculo da carga térmica do ambiente a ser climatizado foi realizado por dois métodos, planilha segundo Norma Brasileira 5410 e por simulação computacional com o *Software Energy Plus*.

Um dimensionamento de sistema híbrido foi proposto para o Laboratório de Automação e Robótica. Os elementos dimensionados do sistema foram: painel evaporativo, *damper*, atuador para o *damper*, reservatório d'água, caixa inox, duto externo e exaustores.

Foi feito um desenho em AutoCad da caixa inox para alocação do painel evaporativo e do sistema de irrigação do painel.

Foi realizado um estudo e seleção dos sensores a serem usados no ambiente a ser controlado, SHT71 e Anemômetro de fio quente Dwyer 641-12-LED.

Revisou-se o diagrama de comando e inseriu-se uma chave de três estágios que permitem a seleção entre três estados, que são: Desligado, controlador 1 (fullgauge) e controlador 2 (de nossa autoria).

Depois foram realizados os projetos e a montagem dos dispositivos de hardware utilizados, soldou-se os circuitos e obteve-se os quatro módulos: três sensores e um atuador.

A seguir foi realizada a comunicação do hardware com o software e foram consertados eventuais problemas. Então foi implementada a estratégia de controle, primeiramente usando

diagrama de fluxo, para em seguida implementá-la em VBS (*Visual Basic Script*) programação do software ActionView.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho escrito foi dividido em cinco capítulos. No capítulo de fundamentação teórica é apresentada uma breve base teórica a cerca dos princípios de funcionamento de sistemas de refrigeração e sensoriamento. No capítulo seguinte são desenvolvidas as idéias e possibilidades de projeto do sistema de ar-condicionado para o ambiente do LARA, bem como é proposto um dimensionamento para o sistema de ar-condicionado. No capítulo de resultados são apresentadas as placas montadas, os dados obtidos pelo supervisor e é realizada uma análise do conforto térmico utilizando os dados obtidos do sensor de globo QUESTemp36. Por fim é realizada uma análise dos resultados obtidos e são feitas algumas considerações. No capítulo de conclusão é apresentado o fechamento do trabalho, bem como perspectivas para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

*Nesse capítulo será dada uma fundamentação teórica a cerca dos princípios de funcionamento de sistemas de refrigeração e sensoriamento.*

### 2.1 PSICROMETRIA

Psicrometria é o estudo das propriedades termodinâmicas do ar úmido afim de analisar mudanças de estado do mesmo, [3].

Para fins de análise, o ar úmido é considerado com uma mistura binária de ar seco e vapor d'água. A quantidade de vapor d'água no ar úmido varia entre zero e a saturação que depende da pressão e temperatura da mistura. Saturação é o estado de equilíbrio entre o ar úmido e a fase condensada, corresponde ao máximo de água suportado pela mistura ar-água.

#### 2.1.1 MISTURA VAPOR D'ÁGUA E AR

A mistura de ar seco com vapor d' água é definida como ar úmido ou de mistura binária de ar seco e vapor d'água. A quantidade de vapor d'água pode variar de zero a um valor máximo correspondente ao ar saturado. Nessa situação diz-se que o ar está saturado e que possui umidade relativa de 100%.

Diversas propriedades psicrométricas estão relacionadas com essa mistura. As propriedades relacionadas a temperatura são: a temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ), a temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ ), a temperatura de orvalho ( $T_o$ ). As propriedades relacionadas a umidade: umidade relativa ( $\phi$ ) e a umidade absoluta ( $w$ ). Outra propriedade importante é a entalpia ( $h$ ), [1].

#### 2.1.2 PARÂMETROS PSICROMÉTRICOS

- Umidade Absoluta ( $w$ )

Para uma dada amostra de ar úmido, define a razão entre a massa de vapor d'água ( $M_w$ ) e a massa de ar seco ( $M_a$ ), como sendo a umidade absoluta da amostra:

$$w = \frac{M_w}{M_a} = [kg/kg]$$

- Umidade Relativa( $\phi$ )

Razão entre a fração molar do vapor d'água presente na mistura ( $x_w$ ) e a fração molar que o vapor d'água teria se a mistura estivesse saturada na mesma temperatura e pressão ( $x_{ws}$ )

$$\phi = \frac{x_w}{x_{ws}}$$

- Temperatura de Bulbo Seco ( $T_{bs}$ )

É a temperatura indicada por um termômetro comum, exposto ao ambiente. Indica a temperatura da mistura ar e vapor d'água. Muitas vezes é simplesmente chamado de temperatura do ar, ou temperatura ambiente.

- Temperatura de Orvalho ( $T_o$ )

Temperatura de orvalho é a temperatura abaixo da qual inicia-se o processo de condensação, a pressão constante, do vapor d'água presente no ar úmido.

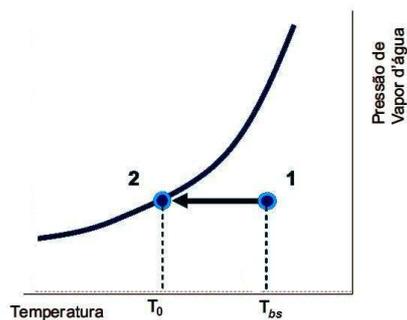


Figura 2.1 – Representação da  $T_o$  para um valor de  $T_{bs}$ .

- Temperatura de Bulbo Úmido ( $T_{bu}$ )

Corresponde a temperatura do ar caso o mesmo se encontre saturado (UR 100%).

Essa temperatura pode ser obtida com o auxílio do psicrômetro. O psicrômetro possui dois termômetros. Um deles é envolvido por um pano constantemente umdecido (termômetro de bulbo úmido), o outro, fica simplesmente em equilíbrio com o ambiente (termômetro de bulbo seco). O termômetro de bulbo úmido recebe uma ventilação constante sobre si. Assim, a água é evaporada retirando calor do bulbo úmido que é resfriado até atingir um equilíbrio.

Nesse estado de equilíbrio faz-se a medição do valor da temperatura que será a temperatura de bulbo úmido.

- Entalpia ( $h$ )

A entalpia da mistura ar seco e vapor d'água é a energia do ar úmido por unidade de massa de ar seco. A entalpia total é a soma das entalpias dos componentes da mistura.

### 2.1.3 A CARTA PSICROMÉTRICA

Uma carta psicrométrica reúne graficamente as propriedades termodinâmicas até aqui apresentadas.

Basicamente, a carta psicrométrica é útil em duas circunstâncias:

- 1) Obtenção de propriedades do ar úmido, e;

## 2) Análise de processos.

Na carta psicrométrica são apresentadas uma série de linhas, cada qual representando valores constantes para os parâmetros até aqui apresentados, conforme a figura 2.2:

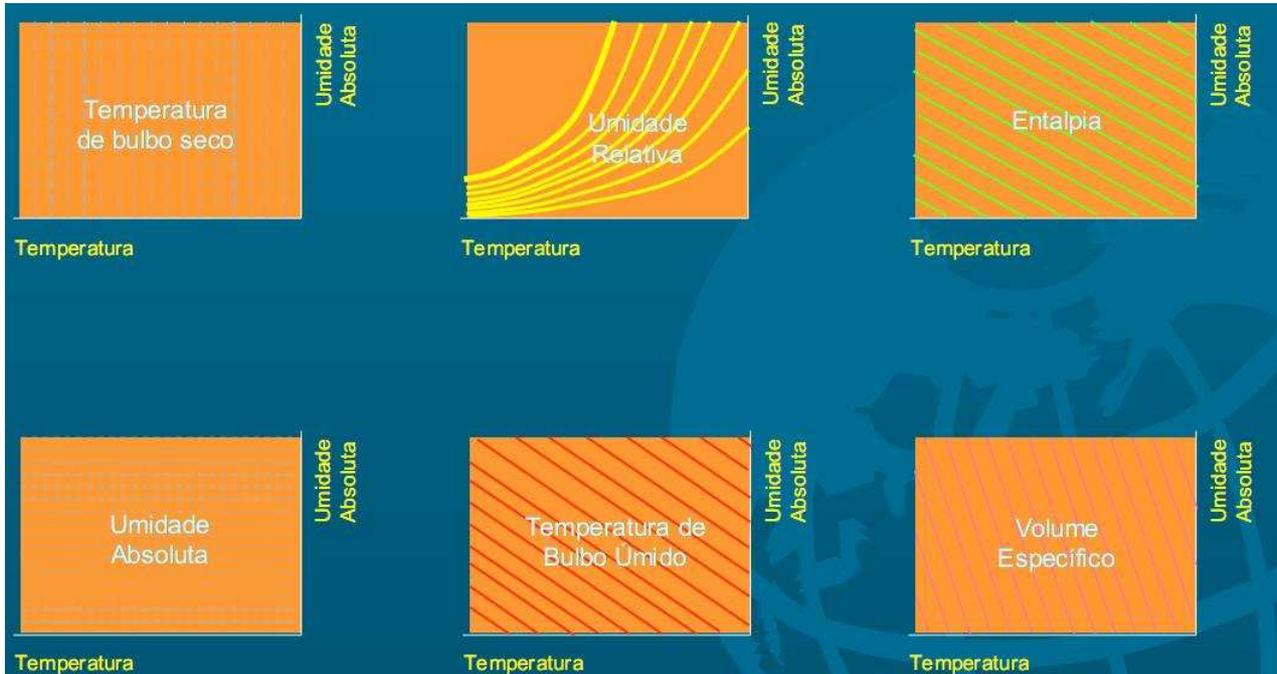


Figura 2.2 – Representação de parâmetros na carta psicrométrica, [3].

Essas curvas são então reunidas em um único gráfico que é chamado de carta psicrométrica. A figura 2.3 mostra uma carta psicrométrica para o nível do mar.

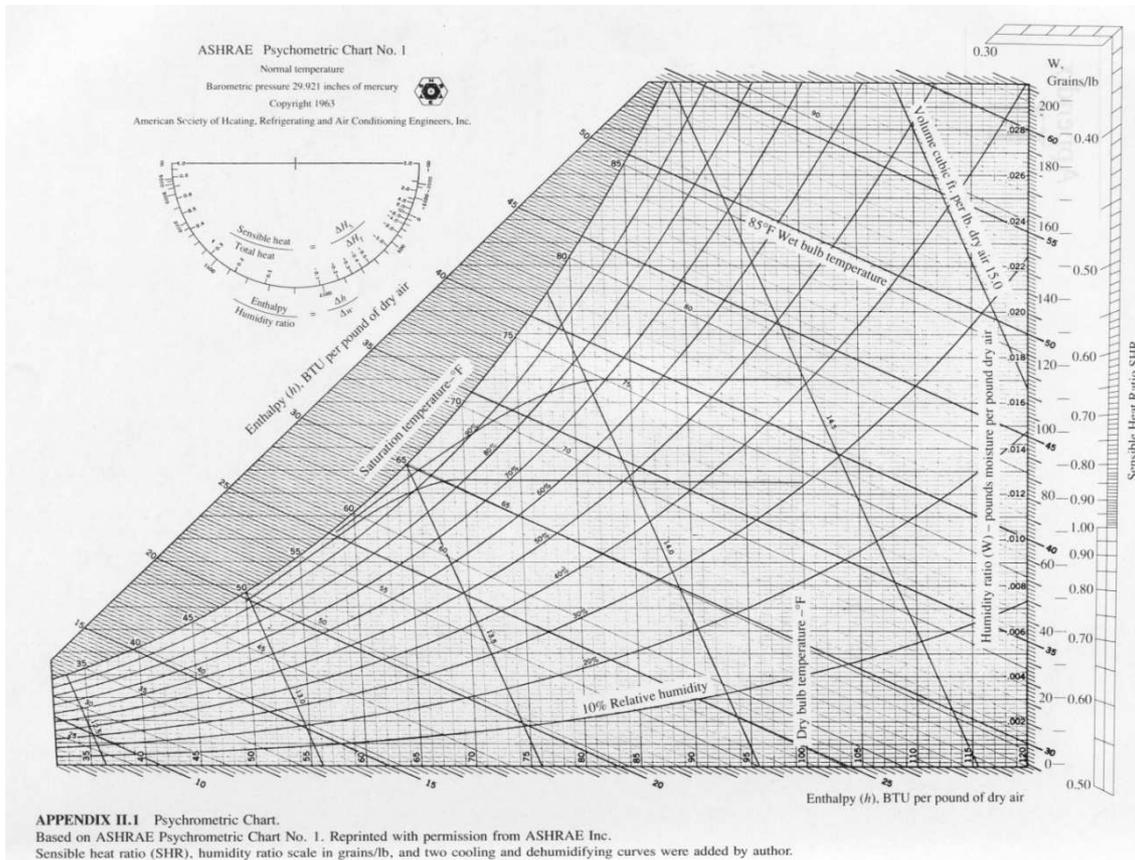


Figura 2.3 – Carta Psicrométrica, [4].

## 2.2 CICLOS TERMODINÂMICOS

Para diminuir a temperatura é necessário retirar energia térmica de determinado corpo ou meio. Através de um ciclo termodinâmico, calor é extraído do ambiente a ser refrigerado e é enviado para o ambiente externo. Entre os ciclos de refrigeração, os principais são o Ciclo de refrigeração padrão por compressão, o ciclo de refrigeração por absorção e o ciclo de refrigeração por magnetismo.

Em um ciclo de refrigeração padrão por compressão (refrigerador, ar-condicionado), existem basicamente quatro componentes:

Compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador.

O fluido refrigerante na forma de líquido saturado passa pelo dispositivo de expansão (restrição), aonde é submetido a uma queda de pressão brusca. Então o fluido é conduzido pelo evaporador, que absorverá calor do ar do ambiente a ser refrigerado, vaporizando-se.

Na saída do evaporador, na forma de gás ele é succionado pelo compressor, que eleva sua pressão (e temperatura) para que possa ser conduzido através do condensador, que cederá calor ao ambiente externo, condensando o fluido e completando o ciclo. O ventilador ou fan efetua a circulação de ar, fazendo com que o ar a ser resfriado entre em contato com a serpentina do evaporador.

Para determinar as condições de trabalho do ciclo, aplica-se a primeira lei da termodinâmica em cada volume de controle. Representa-se o ciclo no diagrama-pressão entalpia, aonde se indica o estado do refrigerante em cada etapa.

### 2.2.1 ETAPAS DE UM CICLO IDEAL DE REFRIGERAÇÃO

O ciclo de refrigeração envolve a realização de sucessiva de quatro processos reversíveis sobre um fluido refrigerante, conforme a figura 2.4.

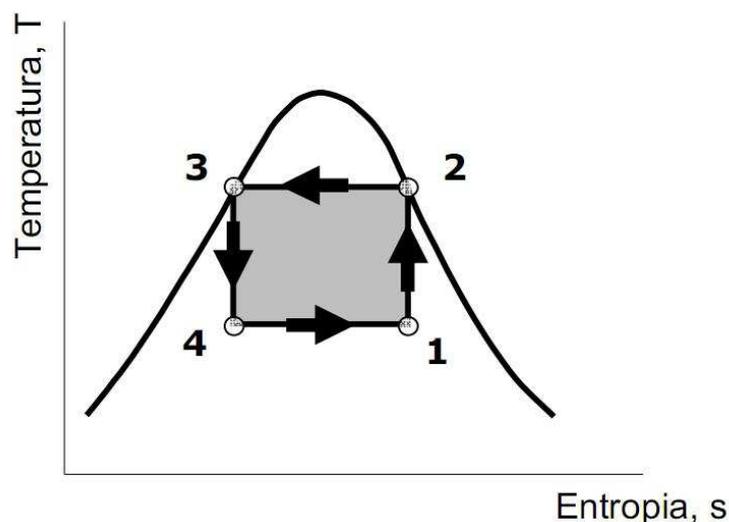


Figura 2.4 – O ciclo de refrigeração de Carnot, [5].

### Compressão (1-2)

A função do compressor é comprimir o fluido refrigerante, elevando a pressão do fluido. Em um ciclo ideal, a compressão é considerada adiabática reversível (isoentrópica), ou seja, desprezam-se as perdas. Na prática perde-se calor ao ambiente nessa etapa, porém não é significativo em relação à potência de compressão necessária.

### Condensação (2-3)

A condensação é a etapa aonde ocorre a rejeição de calor do ciclo. No condensador, o fluido na forma de gás saturado é condensado ao longo do trocador de calor, que em contato com o ar cede calor ao meio ambiente.

### Expansão (3-4)

A expansão é a etapa aonde ocorre uma perda de pressão brusca, porém controlada que vai reduzir a pressão do fluido da pressão de condensação para a pressão de evaporação. Em um ciclo ideal ela é considerada isoentálpica, despreza-se as variações de energia cinética e potencial:

$$h_3 = h_4.$$

### Evaporação (4-1)

A evaporação é a etapa aonde o fluido refrigerante entra na serpentina como uma mistura predominantemente líquida, e absorverá calor do ar forçado pelo ventilador que passa entre os tubos. Ao receber calor, o fluido saturado vaporiza-se, utilizando-se do calor latente para poder maximizar a troca de calor.

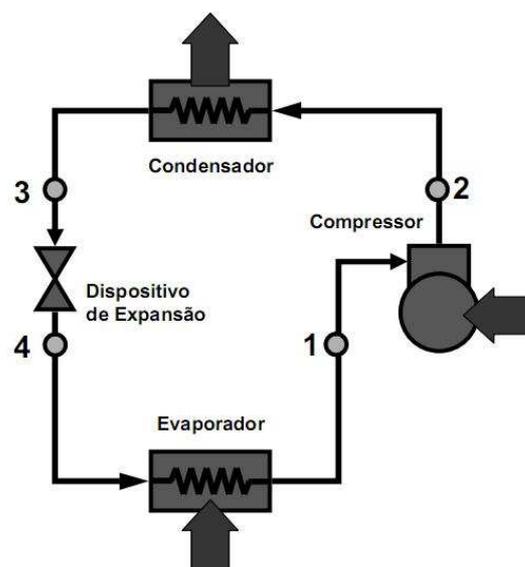


Figura 2.5 – Relação entre os processos e os dispositivos de um refrigerador, [5].

### 2.2.2 COEFICIENTE DE PERFORMANCE

O coeficiente de performance, COP, é um parâmetro fundamental na análise de sistemas de refrigeração. Mesmo sendo de um ciclo teórico, pode-se verificar os parâmetros que influenciam o desempenho do sistema. A capacidade de retirar calor sobre a potência consumida pelo compressor deve ser a maior possível.

### 2.3 SISTEMAS DE COMPRESSÃO

Os sistemas de compressão, apesar de apresentarem pouca falha, consomem muita energia. Trata-se de um processo de mudança forçada do estado físico de determinado fluido, o refrigerante. Tanto em sistemas de refrigeração de ar como em geladeiras e freezer tem-se a presença do fluido refrigerante. A grande diferença está no fato de na refrigeração de ar utilizar gás com ponto de evaporação em torno de 7°C e o refrigerador usar gás com -25°C de ponto de evaporação.

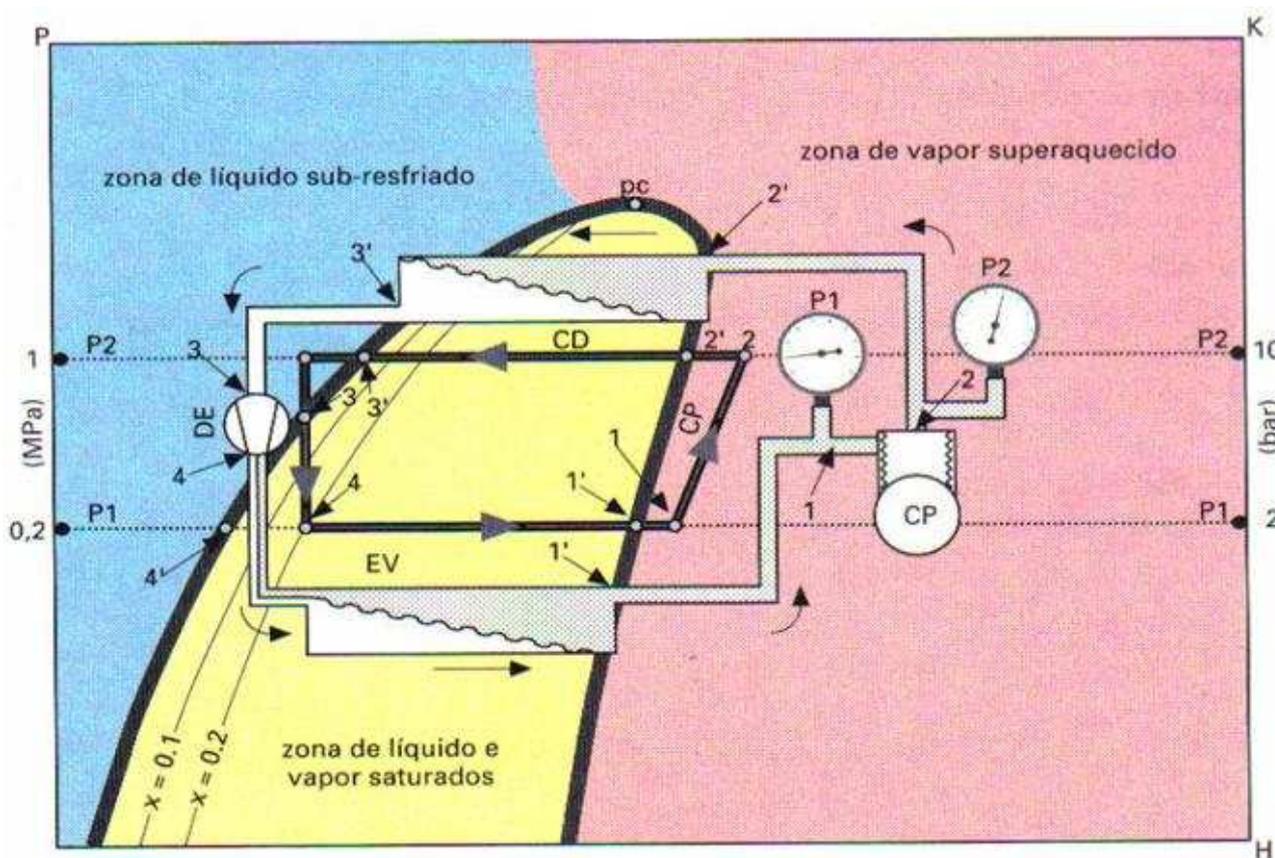


Figura 2.6 – Representação de um sistema de compressão (refrigerante HFC134a), [2].

Atualmente tem-se verificado uma crescente utilização de sistemas de ar condicionado de CAG ao invés de usar vários módulos splits. Isso decorre do fato de que concentrar o acionamento de todo o compressor na CAG causa menos danos ao sistema elétrico além de exigir menos picos de energia. Com isso tem-se um sistema mais econômico e estável.

## 2.4 SISTEMAS EVAPORATIVOS

Um sistema alternativo à compressão é o sistema evaporativo, que tem se mostrado eficiente em regiões de clima seco. Os climatizadores evaporativos são baseados na evaporação de água que é um processo que retira muito calor do ambiente. Por exemplo, um litro de água consome cerca de 2.320 BTUS para evaporar à temperatura ambiente. O princípio básico da refrigeração evaporativa está relacionado com a diferença entre a temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido do ar. Basicamente o sistema é composto por uma manta de celulose que é constantemente molhada através de uma bomba. Em seguida, faz-se circular ar quente e seco na mesma. Como resultado tem-se a umidificação e a refrigeração do ar. Ambos necessários ao conforto térmico humano. Tal funcionamento é explicitado na figura 2.7.

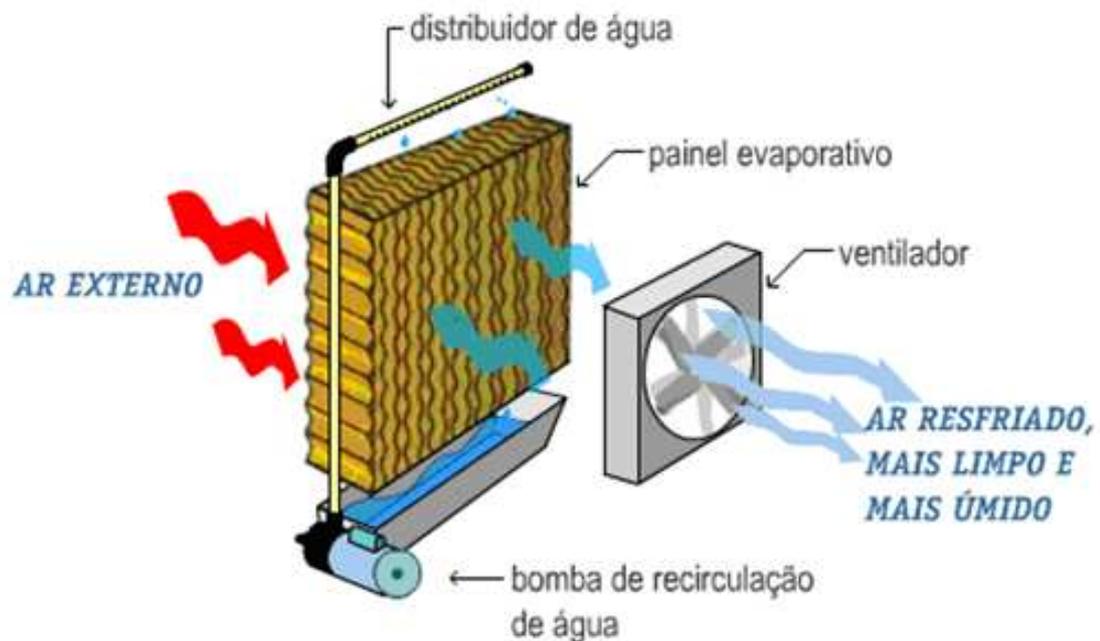


Figura 2.7 – Esquema de funcionamento de um sistema de Resfriamento Evaporativo, [2].

O sistema de refrigeração evaporativa, aproveita-se do fato de a temperatura de bulbo molhado (UR 100%) ser menor do que a de bulbo seco (UR 0%). Nesse sentido o sistema consiste de uma manta de celulose que é constantemente umedecida por uma bomba que molha a manta. Quando o ar entra seco e quente na manta ele sai frio e úmido. O grande problema é que o sistema funciona bem quando a umidade do ar é pequena. Quando a umidade é elevada, o sistema perde muita eficiência.

A diferença entre a temperatura de bulbo seco e bulbo úmido pode ser verificada no ábaco da temperatura efetiva da figura 2.8.

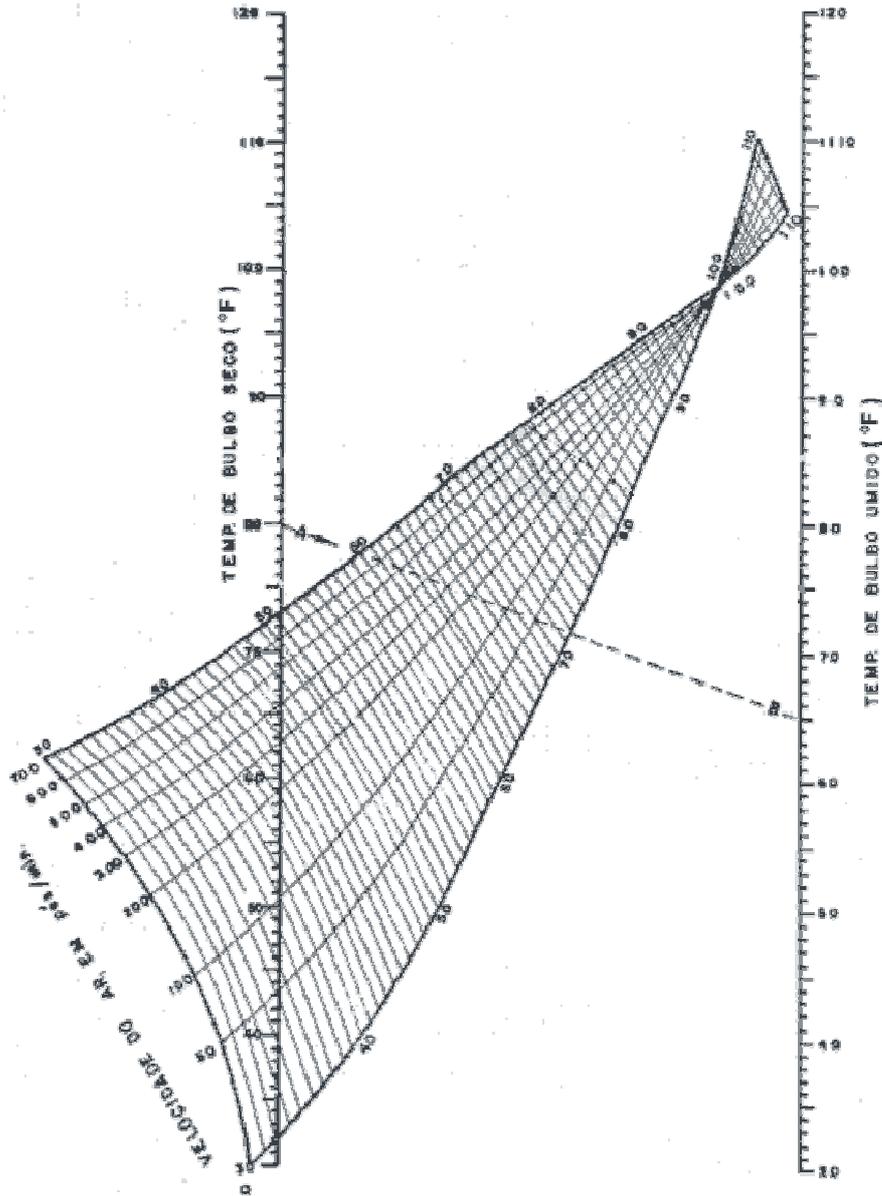


Figura 2.8 – Ábaco da temperatura efetiva, [6].

Uma pergunta bastante freqüente é se o uso de água gelada melhora a eficiência do resfriador. Com cálculos simples da energia envolvida conclui-se que a resposta é negativa.

Da literatura sabe-se que o calor latente de evaporação da água é de 540 cal/g e que sua densidade é de 1g/ml. Logo, no processo de evaporação de 1L de água se consome 540Kcal de energia.

Essa energia equivale a energia necessária para resfriar 60 litros de água ou 200m<sup>3</sup> de ar de 30°C até 20°C.

Como se pode observar, a energia envolvida na mudança de fase (calor latente) da água corresponde a uma grande variação de temperatura (calor sensível).

Calor latente:  $Q = m \cdot L$ ; É a quantidade de calor que causa mudança de estado físico, mas não de temperatura.

Calor sensível:  $Q = m \cdot c \cdot dt$ ; É a quantidade de calor que causa mudança apenas da temperatura, sem causar mudança de estado físico.

Tomando como exemplo um sistema evaporativo utilizando 1L de água gelada a 0°C, pode-se obter a energia desprendida do ar por cada etapa.

Considerando a temperatura ambiente de 28°C.

Etapa 1: Aumento da temperatura da água através da troca de calor com o ar.

$$Q = m \cdot c \cdot dt = 1000 \cdot 1 \cdot 28 = 28\text{kcal.}$$

Etapa 2: Mudança do estado físico da água através da troca de calor com o ar.

$$Q = m \cdot L = 1000 \cdot 540 = 540\text{kcal.}$$

Somando a contribuição das duas etapas, teoricamente, pode-se retirar 568kcal do ar. A contribuição do processo evaporativo, etapa 2, é de 95% (noventa e cinco por cento), enquanto que a contribuição da, Etapa 1, é de apenas 5% (cinco por cento).

## 2.5 PMV

Conforto é a maior preocupação da indústria HVAC. A experiência tem mostrado que nem todo mundo consegue se sentir completamente confortável com uma condição, porém existem maneiras de garantir o conforto da maioria dos ocupantes de um ambiente controlado.

Conforto envolve o controle de temperatura, umidade, velocidade do ar e fontes de radiação interagindo com ocupantes. Odor, poeira, ruído, e vibração são fatores adicionais que podem causar desconforto. Um sistema HVAC bem dimensionado permite manipular essas variáveis através de limites específicos que podem ser estabelecidos pelo usuário. Fatores não ambientais, como a vestimenta e o nível de atividade dos ocupantes devem ser considerados.

No princípio da indústria HVAC, conforto a custo razoável era a preocupação primária. Um ambiente confortável era geralmente considerado um ambiente saudável. Na década de 70, com o aumento do custo da energia, passou a considerar a economia energética nos projetos. [7]

A quantidade de calor gerada e dissipada pelo corpo humano varia consideravelmente com a atividade, idade, tamanho e sexo. O corpo tem um complexo sistema de regulação que atua para manter a temperatura interna do corpo em torno de 36.9 °C (98.6 F) independentemente da temperatura ambiente. Uma pessoa saudável e normal geralmente sente-se confortável quando as condições ambientes são tais que o corpo consegue facilmente manter o balanço térmico com o ambiente. A norma ANSI/ASHRAE 55-1992 estabelece

condições em que 80% ou mais dos ocupantes irão classificar o ambiente como confortável. Conforto, portanto, é uma questão subjetiva dependendo assim da opinião das pessoas. [4]

Os fatores ambientais que afetam o conforto são:

A temperatura de bulbo seco do ar;

A umidade relativa do ar;

A velocidade relativa do ar;

A temperatura de qualquer outro corpo que emita radiação térmica, chamada de temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ).

Obviamente, no projeto de uma instalação de AC, aspectos econômicos devem ser considerados, a fim de obter um compromisso adequado entre condições ambientais ótimas e custos do sistema. A análise do conforto térmico é governada essencialmente por mecanismos de transferência de calor e massa, além de fisiológicos.

A temperatura do corpo deve ser mantida dentro de limites estreitos para evitar desconforto e limites mais ou menos largos para evitar disfunções.

Em última análise, conforto térmico pode ser definido como: “a condição na qual um indivíduo expressa satisfação térmica com o ambiente”

### 2.5.1 BALANÇO ENERGÉTICO DO CORPO

Diversos modelos de troca térmica entre o corpo humano e o ambiente têm sido desenvolvidos.

Os diferentes modelos são similares em um aspecto: iniciam pelos princípios clássicos da transferência de calor para em seguida fazer uso de correlações empíricas

O modelo a seguir é baseado no modelo de balanço de energia em regime permanente.

Tal modelo foi desenvolvido por FANGER (1970, 1982) e assume que o corpo humano se encontra em equilíbrio térmico com o meio, com estocagem térmica desprezível.

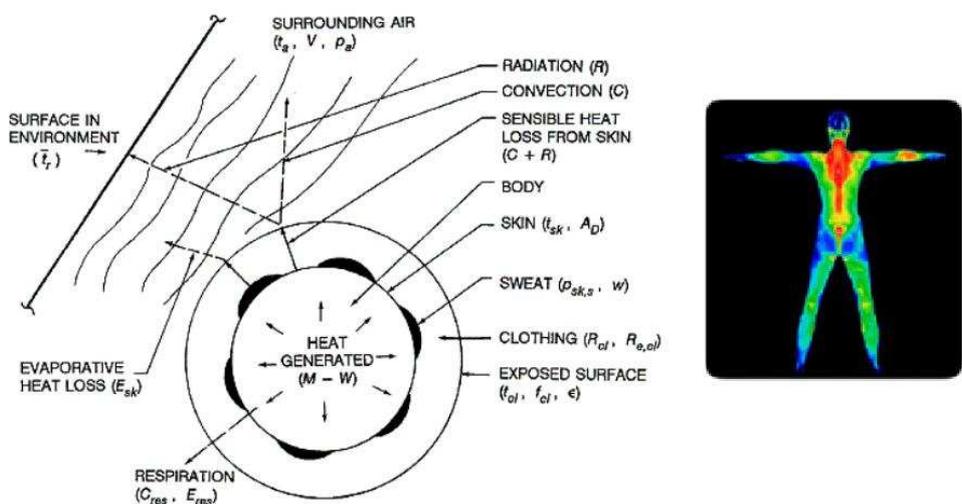


Figura 2.9 – Formas de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente, [4].

Em regime permanente, a taxa de calor gerado ( $M-W$ ), deve igualar a taxa de calor liberado pelo corpo. O calor gerado vem da diferença entre a produção metabólica de calor ( $M$ ) e trabalho mecânico realizado ( $W$ ). O corpo libera calor de duas maneiras: calor liberado pela respiração ( $Q_{res}$ ), calor liberado pela pele ( $Q_{sk}$ ). Para a pele tem-se a perda evaporativa devido à pele ( $E_{sk}$ ) e a perda de calor sensível da pele devido à convecção ( $C$ ) e a radiação ( $R$ ). No caso da respiração tem-se o calor liberado por convecção na respiração ( $C_{res}$ ) e a perda evaporativa devido à respiração ( $E_{res}$ ).

Basicamente, o balanço de energia em regime permanente é atingido quando a relação abaixo é obedecida:

$$(W-M) = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res})$$

Cada uma dessas variáveis pode ser calculada com a utilização de equações que utilizam como base de cálculo fatores ambientais e em fatores pessoais que são o nível de atividade e a vestimenta das pessoas submetidas ao ambiente. Essas equações são bem difundidas e podem ser encontradas em literatura auxiliar, ou no próprio *handbook* da ASHRAE.

Define-se  $L$  como sendo a carga térmica do corpo definida como a diferença entre a produção de calor interna e a perda de calor para o ambiente real.

## 2.5.2 ÍNDICE PMV

O índice PMV (*Predicted Mean Vote*) ou Voto Médio Preditado, prevê a resposta de um grupo de pessoas de acordo com uma escala de sensação térmica que varia de -3 a +3, sendo que o -3 equivale a uma situação muito fria e +3 a uma situação muito quente. Conforme a figura 2.10.



Figura 2.10 – Escala de sensação térmica,[8].

Para o cálculo desse índice, Fanger propôs um método de cálculo do PMV que relacionava o índice ao balanço energético do corpo.

$$PMV = (e^{-0,036M} + 0,028)L$$

Complementar ao PMV existe o PPD (*Predicted Percent Dissatisfied*) ou Percentual Preditado de Insatisfeitos, que é um índice que calcula o percentual de insatisfeitos baseado no PMV. A equação para o PPD é:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)}$$

Pode-se agrupar PMV e PPD em um único gráfico que é apresentado na figura 2.11.

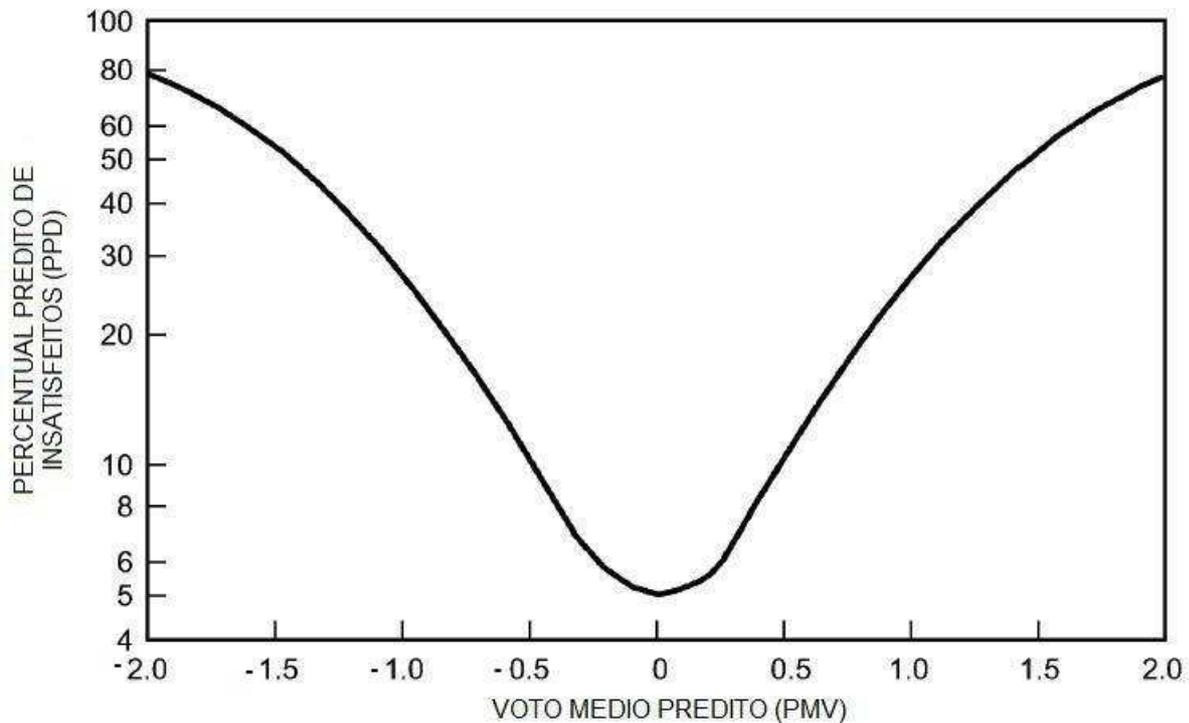


Figura 2.11 – PPD como função do PMV.

Da figura acima é possível obter algumas conclusões. Sempre haverá pelo menos 5% de insatisfeitos. Isso porque é impossível desenvolver um sistema de ar-condicionado que agrade a todos os usuários. Outra informação importante vem das normas brasileiras que dizem que os sistemas de ar condicionado devem ser projetados de forma a garantir um PPD inferior a 10% . Como o PPD está diretamente relacionado com o PMV as normas indicam que os projetos de AVAC devem a garantir um PMV entre -0,5 e +0,5.

## 2.6 ZIGBEE

ZigBee é um padrão que define uma pilha de camadas resultante da implementação do padrão IEEE 802.15.4 que se trata de uma tecnologia de transmissão e recepção de dados sem fio de pequeno alcance e com baixas taxas de transmissão. Esse padrão é classificado como WSN (Wireless Sensor Network), pois está diretamente relacionado com processos.

O padrão 802.15.4 tem como objetivo estabelecer redes de baixa complexidade, baixo custo e baixo consumo de energia. O padrão definiu a camada física (Physical – PHY) e a subcamada de acesso ao meio (MAC - Media Access Control), ficando as demais camadas a ser definidas pelos fabricantes.

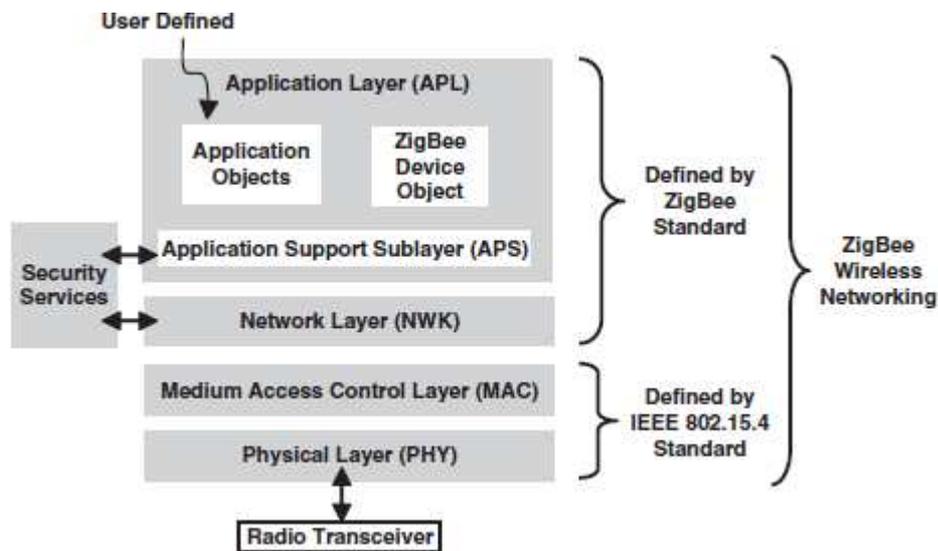


Figura 2.12 – Camadas Protocolo ZigBee, [9].

Na figura 2.12 se observa as camadas definidas pelo padrão IEEE 802.15.4 e as camadas definidas pelos fabricantes de dispositivos de rede ZigBee.

#### Camada Física

São definidas três bandas de frequência não licenciadas para operação das redes 802.15.4:

868 – 868,8 MHz (Europa)

902-928 (América do Norte e Brasil)

2400-2483,5 MHz (Mundial)

Nessas bandas de frequências o padrão definiu quatro tipos de camada física, sendo a mais utilizada a camada PHY na banda 2450 MHz DSSS, utilizando modulação O-QPSK.

As redes ZigBee podem assumir diversas configurações. Em todas elas há, pelo menos, um nó coordenador e um nó fim de dispositivo. O coordenador é um dispositivo completo (FFD) que apresenta as seguintes funções: ligar e desligar todos os elementos da rede, definir o canal de comunicação, alocar endereços aos demais nós, controlar a transferência de dados, entre outras. Já o nó fim de dispositivo pode ser completo ou apresentar funções reduzidas (RFD). O RFD é o menor e mais simples nó do protocolo ZigBee, executando apenas funções operacionais. Também existem os nós roteadores, responsáveis pelo encaminhamento das mensagens entre elementos que compõem a rede.

Uma rede ZigBee pode ser configurada de acordo com as seguintes topologias: estrela, agrupamento em árvore e mesh (malha). A topologia em estrela consiste de um ou mais dispositivos finais que se comunicam com apenas um coordenador. Na topologia de agrupamento em árvore, dispositivos (*end devices*) podem se conectar com o coordenador ou com os roteadores do protocolo. Por fim, na topologia em malha os FFDs podem “conversar” diretamente com outros FFDs, sem a necessidade de passar por intermediários (roteadores).

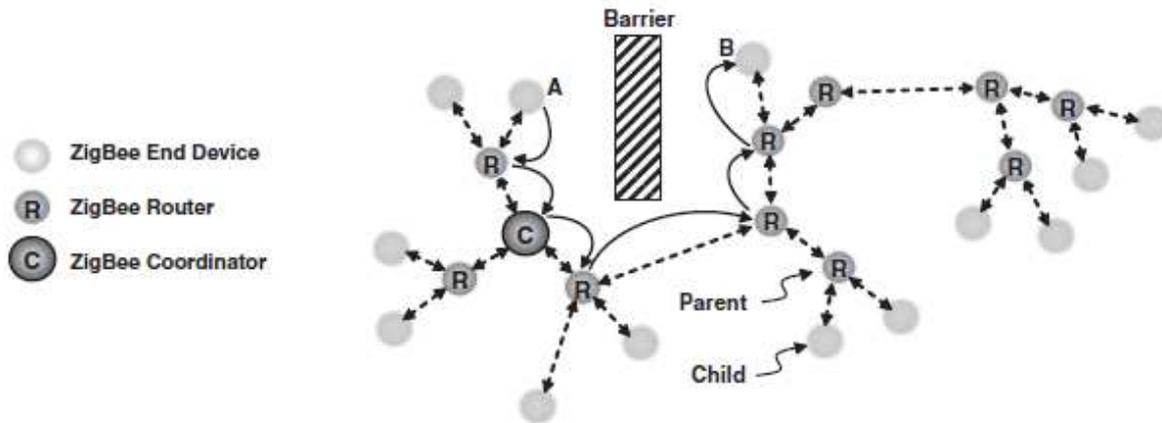


Figura 2.13 – Árvore, [9].

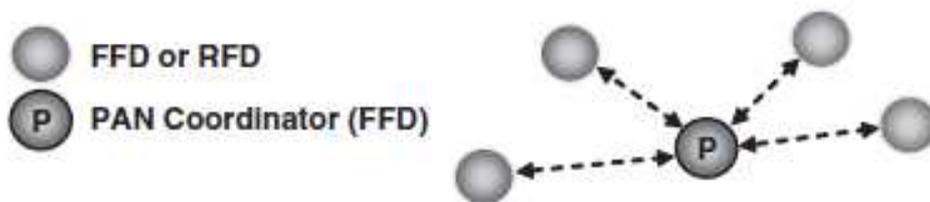


Figura 2.14 – Estrela, [9].

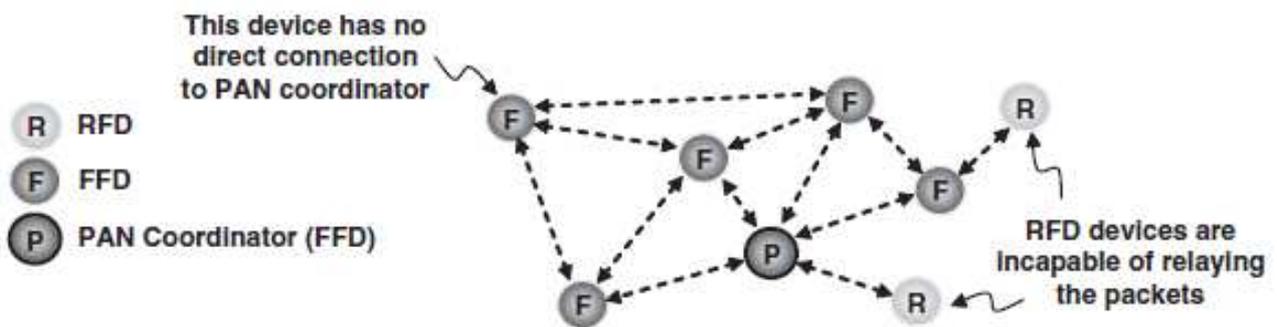


Figura 2.15 – Mesh, [9].

Tabela 2.1 - Camadas MAC e PHY - Principais Características, [9].

Padrão	Frequências	Nº de Canais	Técnica de Modulação	Taxa de Dados
802.15.4	2.4-2.4835 GHz	16 (11 a 26)	DSSS, O-QPSK	250 kbit/s
	868-870 MHz	1 (0)	DSSS, BPSK	20 kbit/s
	902-928 MHz	10 (1 a 10)	DSSS, BPSK	40 kbit/s

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), espalhamento espectral por seqüência direta. Nesta técnica uma seqüência pseudo aleatória de valores 1 e -1, numa freqüência mais elevada, é multiplicada ao sinal original, causando espalhamento da energia do sinal numa banda mais larga.

- CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Quando um nó deseja fazer transmissão ele envia um sinal de aviso, por tempo suficiente para que todos os componentes da rede o recebam. Só então os dados são transmitidos. Se durante uma transmissão um sinal de aviso for detectado o emissor interrompe o envio da mensagem, reiniciando a tentativa de transmissão após um período aleatório.

#### Rede - Principais Características

A interoperabilidade é uma grande vantagem do padrão ZigBee, os dispositivos de fabricantes diferentes pode conversar entre si, mesmo quando as mensagens estão encriptadas por razões de segurança.

A camada de rede tem as seguintes responsabilidades:

- Inicializar uma rede.
- Habilidade de entrar e sair de uma rede.
- Configuração de novos dispositivos.
- Segurança dos dados de saída.
- Distribuição de endereços, pelo coordenador, para os dispositivos que entram na rede.
- Sincronização com a rede.
- Roteamento de "frames" para o destino correto.

#### Aplicação - Principais Características

A camada Aplicação é constituída de três principais componentes: Suporte à aplicação, "ZigBee Device Object" e as funções definidas pela empresa que desenvolveu o dispositivo.

Os serviços fornecidos no suporte à aplicação são *Discovery* e *Binding*. O primeiro descobre que outros pontos estão ativos na região de alcance daquele dispositivo. O segundo une dois ou mais dispositivos considerando suas necessidades e serviços.

ZigBee device Object é onde está definido o papel do dispositivo na rede, se ele atuará como coordenador, roteador ou "end device". Além disso, há a definição do método de segurança usado na rede e o início das solicitações de "Binding".

Enquanto ZigBee tem melhor performance em aplicações:

De Controle;

Rede de Sensores;

Redes com muitos dispositivos;

Com pequenos pacotes de dados;

Onde consumo de bateria é crítico.

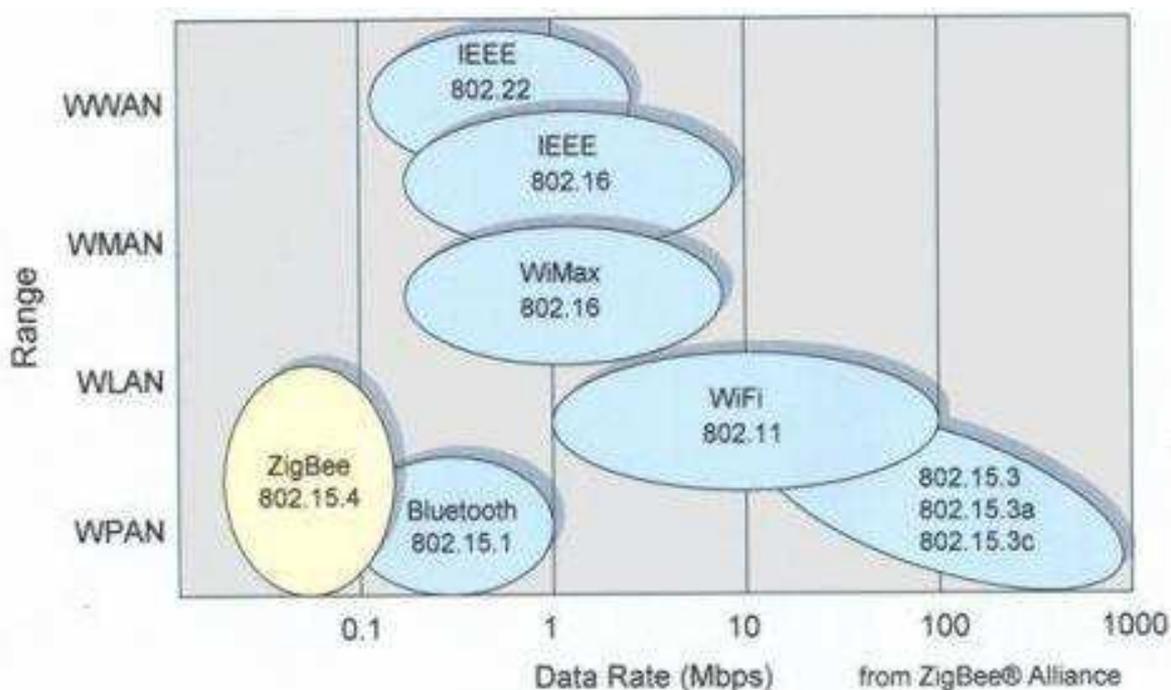


Figura 2.16 – Alcance em função da Taxa de Transmissão, [10].

A figura 2.16 mostra o alcance e a taxa de transmissão de vários tipos de rede comumente utilizados. Na figura observam-se a baixa taxa de transmissão e um baixo alcance da rede, normalmente entre 10 e 100 metros.

Tabela 2.2 – Principais diferenças entre ZigBee e Bluetooth, [9].

	<b>ZigBee</b>	<b>Bluetooth</b>
Padrão (MAC + PHY)	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1
Taxa de Transferência	250kbps	750kbps
Corrente na Transmissão	30mA	40mA
Corrente em Standby	3uA	200uA
Memória	>32kb	<100kb

Outra diferença relevante entre estes dois padrões é o tipo de alimentação dos dispositivos. Em aplicações Bluetooth, geralmente, os dispositivos são recarregados periodicamente, como celulares e PDAs. Enquanto, no padrão Zigbee estes podem ser alimentados com pilhas alcalinas comuns e a expectativa de duração das mesmas é superior a 2 anos.

Tabela 2.3 - Considerações de Tempo, [9]

	ZigBee	Bluetooth
Tempo de acesso a rede	30ms	3s
Tempo de transição dos dispositivos escravos dos estado dormindo para o estado ativo	15ms	3s
Tempo de acesso ao canal	15ms	2ms

Ao analisarmos estas diferenças, conclui-se que ZigBee e Bluetooth são duas soluções diferentes que têm características para endereçar requisitos de aplicações diferentes. Mesmo que ocorram pequenas modificações nestes padrões as características principais serão mantidas. As diferenças entre estes padrões são provenientes da arquitetura.

## 2.7 SENSOR

“Sensor é um dispositivo que converte um fenômeno físico em um sinal elétrico.”

Os sensores representam a interface entre o mundo físico e o mundo dos dispositivos elétricos, como também, computadores.

Cada aplicação requer tipos específicos de sensores quanto às características de desempenho e robustez.

As principais características de desempenho de um sensor são função de transferência, sensibilidade, intervalo de leitura (range), exatidão, histerese, não-linearidade, ruído, resolução e largura de banda.

A função de transferência demonstra a relação entre o sinal físico de entrada e o sinal elétrico de saída. Normalmente, essa relação é descrita por um gráfico relacionando os sinais de entrada e saída.

A sensibilidade é a razão entre uma pequena mudança no sinal elétrico por uma pequena mudança, correspondente ao sinal elétrico, no sinal físico. A sensibilidade pode ser representada pela derivada da função de transferência com relação ao sinal físico.

O intervalo de leitura ou “range” é o intervalo do valor físico de entrada que pode ser convertido em um sinal elétrico pelo sensor. Sinais fora do intervalo de leitura possuem alto grau de imprecisão.

Exatidão é definida como o maior erro esperado entre a leitura realizada pelo sensor e o valor real.

Histerese é a diferença das saídas quando o valor de entrada é atingido a primeira vez quando os valores de entrada estão aumentando, e a segunda vez quando estão diminuindo.

Não-linearidade é representada pelo máximo desvio do sinal em relação a função de transferência que representa o intervalo de leitura.

A resolução é definida como a mínima flutuação de sinal detectável.

Todos os sensores possuem tempos de resposta finitos para mudanças instantâneas no sinal de entrada. Além disso, os sensores possuem tempos de decaimento, o que representa o tempo necessário para o sinal de saída voltar ao valor original. O inverso desses tempos corresponde às frequências de corte superior e inferior, respectivamente. A largura de banda é definida como o intervalo entre essas duas frequências.

### **2.7.1 SENSOR DE TEMPERATURA**

Devido à temperatura poder ter um efeito significativo nos materiais e nos processos, é uma das grandezas mais comumente medidas, [11].

Atualmente, existem várias tecnologias com esta finalidade, cada uma, com diferentes características. Há sensores que necessitam estar em contato com o objeto ou ambiente, como há também sensor de não-contato que realiza a medição através da interpretação da energia radiante da fonte de calor na forma de energia emitida na porção infravermelha do espectro eletromagnético. Cada tecnologia apresenta suas vantagens e desvantagens, por exemplo, o sensor de não-contato é restrito a materiais não refletivos e não transparentes. Além disso, em um sistema, normalmente, o sensor de temperatura opera em conjunto com outros sensores, como de umidade, vazão e etc., como os demais sensores têm suas características de precisão dependentes de temperatura, uma imprecisão deste afeta os demais. Dessa forma, a escolha de um sensor de temperatura deve levar em consideração diversos fatores.

As tecnologias mais comuns para se medir temperatura são RTD (*Resistive Temperature Device*), termopar, termistor e o sensor de silício integrado.

A seguir segue o princípio de funcionamento e as principais características e limitações de cada uma das tecnologias listadas.

Os termistores, resistores termicamente sensitivos, são dispositivos que alteram sua resistência elétrica de acordo com a sua temperatura. Eles consistem em dois ou três tipos de óxidos metálicos que são encapsulados em um material cerâmico. Os termistores possuem dois tipos: PTC, *positive temperature coefficient*, e NTC, *negative temperature coefficient*. Os termistores PTC apresentam um aumento na resistência elétrica com um aumento da temperatura, enquanto que os termistores NTC apresentam uma redução na resistência elétrica com um aumento da temperatura. A mudança na resistência no termistor NTC é bastante

grande, o que significa uma alta sensibilidade. Além disso, possuem configurações pequenas e com uma boa velocidade de resposta. O termistor pode ser linearizado com pontes de Wheatstone, ou mesmo através de tabelas ou polinômios.

Tabela 2.4 – Características Termistor.

<b>Termistor</b>	
Faixa típica de temperatura]:	-100º a 450ºC
Sensibilidade:	vários ohms/ºC
Precisão:	±0,1ºC
Linearidade:	precisa de uma correção polinomial ou equivalente de 3ª ordem
Robustez:	depende do invólucro, os de vidro são mais robustos
Tempo de resposta:	médio, entre 1s e 5s
Excitação externa:	necessita de fonte externa de tensão
Sinal de saída:	resistência
Custo	baixo

Os RTD's, *resistive temperature device*, tal como os termistores, sofrem uma alteração na sua resistência elétrica de acordo com a variação de sua temperatura. O dispositivo consiste em um elemento sensível e um instrumento de medição. O elemento sensível é um metal, normalmente em forma de bobina ou película condutiva gravada.

Tabela 2.5 – Característica RTD.

<b>RTD (Resistive Temperature Device )</b>	
Faixa típica de temperatura]:	-250º a 900ºC
Sensibilidade:	0,00385 ohms/ºC para Pt(platina)
Precisão:	±0,01ºC
Linearidade:	necessita de um circuito corretor polinomial de segunda ordem
Robustez:	estes sensores são sensíveis à vibrações, podendo sofrer danos.
Tempo de resposta:	depende do material, tipicamente entre 1s e 10s
Excitação externa:	necessita de fonte externa de corrente
Sinal de saída:	resistência
Custo:	elevado

Os termopares são formados quando dois metais ou ligas diferentes são ligados em um ponto ao final dos fios. Termopares não possuem elementos delicados, dessa forma, são menos limitados do que RTD's em termos de materiais e podem ler temperaturas mais altas.

Os termopares possuem juntas 'quentes' para medição e juntas 'frias' para referência. Uma ponta do condutor, junta quente, é exposta à temperatura do processo, enquanto que a junta fria é mantida em uma temperatura conhecida.

Quando as pontas são submetidas a diferentes temperaturas, uma corrente proporcional a diferença de temperatura irá fluir nos fios metálicos. A temperatura do processo é determinada através do conhecimento do tipo de termopar utilizado, a magnitude do potencial em milivolts e a temperatura de referência na junta fria.

Tabela 2.6 – Características Termopar.

<b>Termopar</b>	
Faixa típica de temperatura]:	-270° a 1800°C
Sensibilidade:	faixa de $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Precisão típica:	$\pm 0,5\%$
Linearidade:	precisa de uma correção polinomial ou equivalente de 4ª ordem
Robustez:	para a conexão deste tipo de sensor normalmente são usados fios grossos, o que os torna bastante robustos. Contribui para esta robustez os materiais isolantes utilizados
Tempo de resposta:	curto, <1s
Excitação externa:	não necessita
Sinal de saída:	tensão
Custo	médio

Já o silício integrado faz uso das propriedades de resistência elétrica de materiais semicondutores. Especialmente, em baixas temperaturas, o sensor de silício fornece um aumento praticamente linear na resistência com o aumento da temperatura.

Tabela 2.7 – Características Silício Integrado.

<b>Silício Integrado</b>	
Faixa típica de temperatura]:	-55° a 150°C
Sensibilidade:	depende da tecnologia. Tipicamente, $2\text{mV}/^\circ\text{C}$
Precisão:	$\pm 1^\circ\text{C}$
Linearidade:	normalmente, não necessita correção
Robustez:	a mesma dos circuitos integrados comuns
Tempo de resposta:	lento, entre 4s a 60s
Excitação externa:	necessita de alimentação externa
Sinal de saída:	tensão, corrente ou sinais processados para forma digital
Preço médio:	baixo

Abaixo segue gráfico comparativo da linearidade do termistor e do silício integrado para baixas temperaturas.

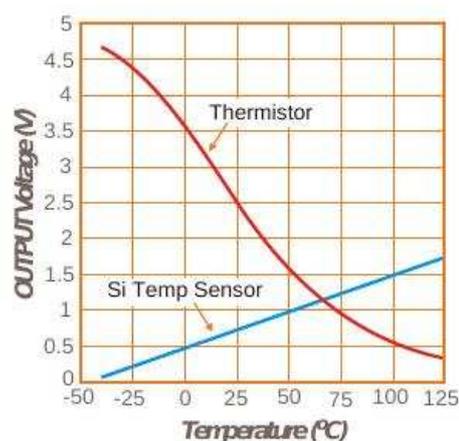


Figura 2.17 – Tensão de saída em função da temperatura, [12].

## 2.7.2 SENSOR DE UMIDADE

O conceito de umidade é definido como o vapor d'água presente no ar ou em outros gases. A umidade é mensurada de diversas formas como umidade absoluta, ponto de orvalho e umidade relativa.

Os sensores mais comuns de umidade são capacitivos, resistivos e condutividade térmica.

Sensores capacitivos de umidade relativa dominam tanto aplicações atmosféricas como em processos, pois são os únicos capazes de operar precisamente na situação de umidade próxima a 0%. Outra grande vantagem desses sensores é a quase independência do efeito da temperatura. Normalmente, sua leitura é realizada sem compensação de temperatura.

Em um sensor capacitivo de umidade relativa, as mudanças na constante dielétrica é quase diretamente proporcional às mudanças na umidade relativa. Tipicamente, mudanças de 0.2-0.5 pF correspondem a mudanças de 1% da umidade relativa. Esses sensores operam em temperaturas relativamente altas, acima de 200°C e possuem tempo de resposta entre 30s e 60s.

Sensor de umidade resistivo mede através da mudança da impedância que, normalmente, tem uma relação inversamente exponencial a umidade.

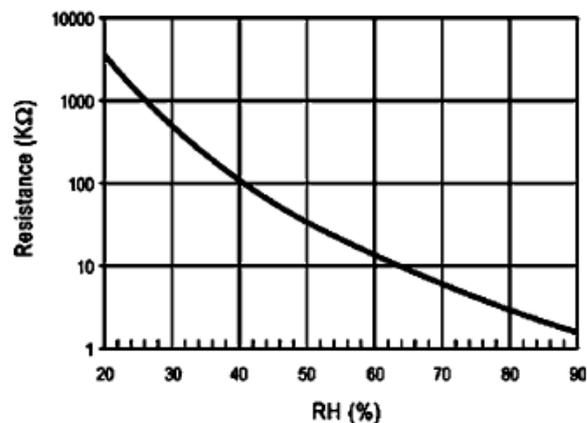


Figura 2.18 – Relação entre a mudança de resistência e a umidade, [12].

A precisão é em torno de  $\pm 2\%RH$ . A tensão de saída pode ser proporcional com o tratamento do sinal. O tempo de resposta se situa entre 10s e 30s, enquanto que o intervalo de impedâncias fica entre 1kΩ e 100MΩ.

Sensores de umidade de condutividade térmica medem umidade absoluta através do cálculo da diferença entre a condutividade do ar seco e do ar úmido. Esses sensores são construídos usando 2 termistores NTC. A diferença de resistência entre os dois termistores é diretamente proporcional a umidade absoluta.

### 2.7.3 SENSOR DE VELOCIDADE DO AR

Sensores de velocidade de ar podem ser utilizados tanto para medir a velocidade quanto o fluxo de ar, desde que se saiba a área por onde o fluido escoar. Os sensores mais comuns são anemômetros de fio quente, tubos de Pitot e anemômetro a laser.

Anemômetro fio quente usa o princípio que a quantidade de calor removida em um sensor de temperatura por um fluido em fluxo pode ser relacionada com a velocidade do fluido. Normalmente, estes sensores utilizam um segundo sensor de temperatura para referência. Estes sensores são bons em fluxos não muito altos, comumente aplicados entre 50 a 12000 pes/min.

O Tubo de Pitot é baseado no efeito da pressão exercida pelo ar em movimento. Dois tubos concêntricos e curvados em forma de L são inseridos na tubulação e cuidadosamente alinhados na direção frontal do escoamento. O tubo interno é aberto em suas duas extremidades. Já o externo é fechado na extremidade que é inserida no escoamento além de ser perfurada com pequenas aberturas a certa distância a jusante da sua ponta. [13]

Para a sua utilização, as tomadas de pressão de cada tubo devem ser conectadas a um manômetro ou um sensor de pressão diferencial, e cuja indicação será uma medida da pressão dinâmica do ar.

Quando um fluido é levado completamente à situação de velocidade zero em um ponto, este é conhecido como ponto de estagnação, e a pressão deste local é denominada pressão total ou pressão de estagnação. Assim se considerarmos que o escoamento é levado completamente à condição de estagnação no nariz do tubo de Pitot, através da diferença entre as pressões total e estática em um manômetro, e conhecendo-se a massa específica do fluido no local, é possível determinar a sua velocidade.

Este anemômetro trabalha com uma incerteza de  $\pm 1\%$ . Provavelmente, a maior desvantagem de um tubo de Pitot esteja na dificuldade de se medir escoamentos de ar em baixas velocidades. [13]

O LDA, *Laser Doppler Anemometer*, é constituído de um sistema óptico e um processador de sinais. O sistema óptico gera um feixe principal de laser e divide o mesmo em dois que se cruzam posteriormente, determinando um volume de interseção. Este volume, de dimensão reduzida, deve ser posicionado no escoamento em estudo. A luz espalhada por pequenas partículas que atravessam o volume de controle de interseção dos feixes apresenta um pequeno desvio de frequência devido ao movimento das partículas, sendo este fenômeno chamado de Efeito Doppler. Este desvio é detectado por dispositivos do sistema óptico e acaba sendo relacionado à velocidade do fluido. O LDA requer um investimento relativamente alto e exige uma habilidade considerável para a sua operação. [13]

## 3 DESENVOLVIMENTO

*Neste capítulo são desenvolvidas as idéias e possibilidades de projeto do sistema de ar-condicionado para o ambiente do LARA e é apresentado um dimensionamento para o sistema.*

### 3.1 POSSIBILIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO NO LARA

#### 3.1.1 AR CONDICIONADO DE JANELA

Os aparelhos de ar-condicionado de janela são os que apresentam pior rendimento, eles são geralmente de pequeno potencial de refrigeração, em geral entre 7500 e 40000 BTU's (*British Thermal Unit*). São usados para pequenos ambientes, não promove a renovação do ar e não possuem controle de umidade. Trata-se de um sistema ineficiente e que pode tornar-se insalubre devido à ausência de renovação de ar.

#### 3.1.2 AR CONDICIONADO SPLIT

O ar-condicionado tipo *split* é um sistema que consiste em um compressor que fica no lado externo do ambiente. Esse sistema apresenta a vantagem da ausência de ruídos e relativa economia em relação ao sistema de janela. Não promove a renovação do ar e não possui controle de umidade.

#### 3.1.3 AR CONDICIONADO DE CAG

Esse é o sistema de mais cara instalação, porém as vantagens a longo prazo justificam altos investimentos.

Sistemas de CAG (Central de Água Gelada) possuem a característica fundamental de usar a água ao invés do gás refrigerante. Basicamente, o sistema possui uma CAG responsável por alimentar o sistema com água gelada. Essa água circula na serpentina dos *fancoils* e promove a refrigeração do ar.

Os sistemas de CAG possuem baixo consumo de energia, promovem a renovação do ar e, dependendo da montagem dos *fancoils* pode inclusive promover o controle da umidade do ambiente.

O grande problema relacionado ao ar condicionado CAG é que sua instalação não é possível em prédios já construídos, impossibilitando o *retrofitting*, portanto essa solução é inviável para o LARA.

### **3.1.4 SISTEMA EVAPORATIVO**

Esse tipo de sistema é bastante econômico, já que não necessita de ciclo de compressão sobre gás, além de promover a renovação do ar. A refrigeração puramente evaporativa é interessante para aplicações industriais. Onde é necessário renovação de ar. Porém para aplicações que exigem grande refrigeração, como por exemplo, em ambientes de escritórios (temperatura de conforto em torno de 23°C) o sistema puramente evaporativo já não consegue atingir tal patamar.

Nesse sentido surgiram os sistemas híbridos, que utilizam o princípio da refrigeração evaporativa associado a um sistema *split* de refrigeração convencional. Essa utilização é auxiliar e visa economia de energia através de um pré-resfriamento do ar, que é passado pelo sistema evaporativo. Outro grande benefício do sistema híbrido é que tem a renovação do ar.

### **3.1.5 SISTEMA HÍBRIDO**

O sistema híbrido advém da associação de um sistema convencional com um sistema evaporativo. Tal associação tem-se mostrado bastante vantajosa, com economia significativa de energia chegando a 70%, dependendo das condições ambientais, de acordo com estudos realizados anteriormente,[2].

## **3.2 PROJETO DO SISTEMA**

### **3.2.1 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA**

Como todo sistema de ar-condicionado, começou-se o projeto estimando a carga térmica do ambiente a ser refrigerado. Para tal objetivo utilizou-se vários critérios existentes no mercado.

#### **3.2.1.1 NORMA BRASILEIRA 5410**

De acordo com a norma NBR-5410 a empresa Otimoar disponibilizou a seguinte tabela no Microsoft Excel para cálculo simplificado de carga térmica. Pode-se verificar que o valor calculado para a carga térmica foi de 38552,32 BTU's.

A planta baixa do Laboratório é apresentada, de forma simplificada abaixo:

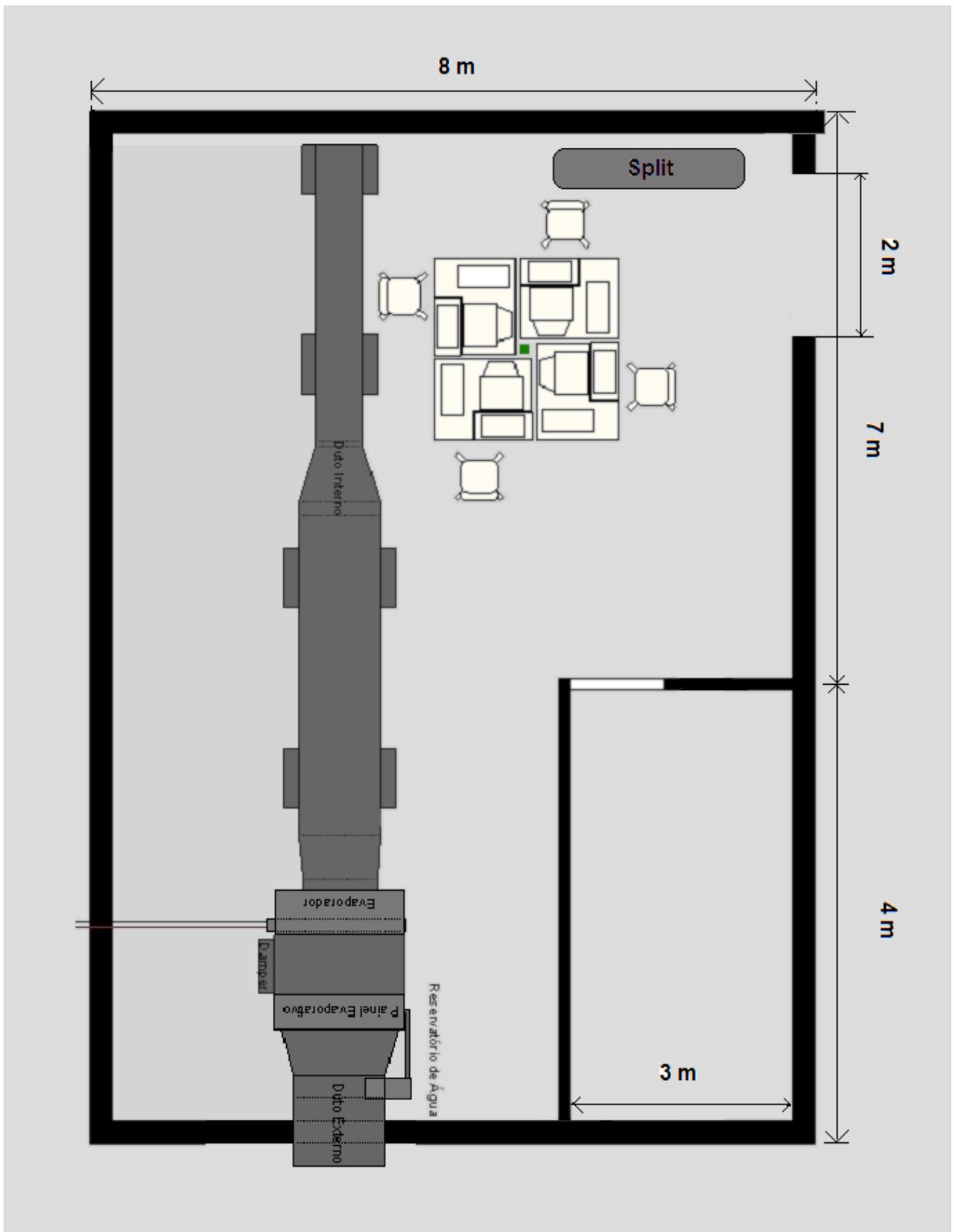


Figura 3.1 – Planta-baixa simplificada LARA.

CÁLCULO SIMPLIFICADO DE CARGA TÉRMICA						SEGUNDO NBR		
<b>1 Janelas: Insolação</b>		<b>PROTEÇÃO</b>			<b>CAMPOS DE PREENCHIMENTO</b>			
Tipo de Vidro	Localização	Área (m <sup>2</sup> )	Sem	Com/Interna	Com/Externa	Fator	Energia (kcal/h)	Energia (BTU)
	C Norte	-	240	115	70	-	-	-
	C Nordeste	-	240	95	70	-	-	-
	C Leste	-	270	130	85	-	-	-
	C Sudeste	-	200	85	70	-	-	-
	C Sul	-	0	0	0	-	-	-
	C Sudoeste	-	400	160	115	-	-	-
	C Oeste	22,24	500	220	150	1,00	22,24	88,25
	C Noroeste	-	350	150	95	-	-	-
	<b>2 Janelas: Transmissão (Deve-se somar todas as áreas de mesmo material)</b>							
		Área (m <sup>2</sup> )		Fator				
Vidro Comum		22,24		50		1.112,00		4.412,42
Tijolo de Vidro		-		25		-		-
<b>3 Paredes:</b>								
<b>Paredes externas</b>		Área (m <sup>2</sup> )	Construção		Fator			
orientação Sul		-	Leve	10	-	-	-	-
outra orientação		-	Construção Pesada	12	-	-	-	-
<b>Paredes internas</b>		Área (m <sup>2</sup> )		Fator				
Paredes (amb.ñ.ref.)		22,24		13		289,12		1.147,23
<b>4 Teto:</b>								
		Área (m <sup>2</sup> )		Fator				
Em lage exposta ao Sol sem isolamento		-		75		-		-
Em lage com 2,5cm de isolamento ou mais		88,00		30		2.640,00		10.475,52
Entre andares		-		13		-		-
Sob telhado <b>com</b> isolamento		-		18		-		-
Sob telhado <b>sem</b> isolamento		-		50		-		-
<b>5 Piso: (exceto os diretamente sobre o solo)</b>								
		Área (m <sup>2</sup> )		Fator				
Piso		88,00		13		1.144,00		4.539,39
<b>6 Número de Pessoas</b>								
		Número		Fator				
Em atividade normal		10,00		150		1.500,00		5.952,00
Em repouso		5,00		75		375,00		1.488,00
Em forte atividade		1,00		750		750,00		2.976,00

Figura 3.2 – Layout da planilha segundo a norma NBR5410 (Parte I),[14].

7 Outras fontes de Calor:			Energia (kcal/h)	Energia (BTU)
	<b>Potência (W)</b>	Fator		
Aparelhos Elétricos	3.200,00	0,86	2.752,00	10.919,94
Forno Elétrico	-	0,86	-	-
Aparelhos de Grelhar	-	0,86	-	-
Mesa Quente	-	0,86	-	-
Cafeteiras	-	0,86	-	-
	<b>Potência (HP)</b>	Fator		
Motores	0,40	645	258,00	1.023,74
	<b>Nº Refeições</b>	Fator		
Alimentos por pessoa	-	16	-	-
	<b>Potência (W)</b>	Fator		
Iluminação Incandescente	-	1	-	-
Fluorescente	576,00	0,5	288,00	1.142,78
<b>8 Portas ou vãos continuamente abertos para áreas não condicionadas</b>				
	<b>Área (m²)</b>	Fator		
Portas	2,00	150	300,00	1.190,40
<b>9 Sub - Total</b>			em (kcal/h)	11.430,36
<b>10 Fator Geográfico:</b>				
	<b>0,85</b>	Referente ao índice da Região (MAPA)	em (kcal/h)	9.715,81
<b>11 Carga térmica Total e Observações:</b>				
			em (kcal/h)	<b>9.715,81</b>
			em (BTU/h)	<b>38.552,32</b>
			em TR	<b>3,21</b>
			em kW	<b>11,30</b>
<b>12 Número de Equipamentos</b>				
	4	9000 BTU	2	18.000 BTU
	3	10.000 BTU	2	22.000 BTU
			2	24.000 BTU

Figura 3.3 – Layout da planilha segundo a norma NBR5410 (Parte II),[14].

### 3.2.1.2 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA E SIMULAÇÃO ENERGYPLUS

Existem vários métodos para o cálculo da carga térmica de um ambiente, cada método apresenta vantagens e desvantagens em relação aos demais, por isso, a escolha deve ser criteriosa.

Algumas das opções encontradas na literatura para o cálculo da carga térmica são o EnergyPlus(E+), o Trace, a planilha de carga térmica, o CTVÉR e o TR/m².

O Trace é um software que apresenta resultados excelentes no cálculo da carga térmica, além de ser bem mais intuitivo que o E+, porém esbarra no fato de não ser software livre.

O EnergyPlus é um software de difícil uso, porém com vasta documentação tanto de operação quanto dos modelos empregados em suas simulações. Os resultados obtidos com o EnergyPlus tem um erro muito pequeno em relação aos modelos apresentados pela ASHRAE e uma grande vantagem desse software é o fato de ele ser livre.

A Planilha de carga térmica é o método mais rápido e fácil comparado com os demais. Alguns valores necessários para seu preenchimento são apenas estimados, além de ser o método onde há o maior erro. As discrepâncias de superestimação da planilha estão associadas ao fato que não há relevante consideração do material empregado para construção

como também não há agendamento das cargas, como iluminação, equipamentos elétricos como também a presença de pessoas.

A escolha foi feita com base em trabalhos anteriores da Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, onde o E+ era a ferramenta que mais se aproximou de um modelo estabelecido pelo ASHRAE, além de ser um software livre distribuído pelo governo norte-americano.

Como pode ser comparado na tabela 3.1, onde Resultado ASHRAE é o padrão adotado, observa-se o desvio dos diferentes métodos de cálculo da carga térmica:

Tabela 3.1 – Comparação entre os métodos de estimação da carga térmica,[15].

	Carga Térmica [kW] (TR)	Desvio (%)
E+	54.71 (15.54)	-3.1
Trace	57.61 (16.37)	2.0
CTVer	65.69 (18.66)	16.3
Planilha	77.23 (21.94)	36.7
TR/m <sup>2</sup>	50.86 (14.45)	-10.0
Resultado ASHRAE	56.49 (16.05)	0.0

Assim, devido às vantagens adotou-se como ferramenta para cálculo da carga térmica o E+ e a planilha para comparação posterior.

O *EnergyPlus(E+)* é um software robusto onde existe a possibilidade de simular inúmeras condições externas e internas ao ambiente. O software é embasado em teorias utilizadas e consagradas há alguns anos em softwares de simulação térmica, onde, basicamente, o E+ juntou os vários modelos em um software único.

O *software Energy Plus* realiza simulações baseadas em modelagens do ambiente a ter a carga térmica calculada. O modelo utilizado pelo E+ é baseado no conceito de “*shoe box*”, em livre tradução, caixa de sapatos, onde os ambientes são estimados como polígonos onde um conjunto de arestas correspondem a faces delimitadoras de ambientes, podendo a cada uma estar associada a um conjunto de materiais diferentes, simulando construções reais, como também as condições climáticas como temperatura externa, umidade, influência de pressão devido a altitude local, exposição ao vento e ao sol, angulação do prédio em relação ao norte verdadeiro para melhor estimar a incidência solar, além de diversos outros fatores. Após alimentar o software com um considerável volume de informações foi realizada a simulação através de “dias de projeto” onde, normalmente, os dias de projeto que caracterizam o local são dias típicos de cada estação do ano, ou seja, retratam as condições mais comuns, além disso, simulam-se os dias que descrevem as condições extremas para se obter os picos de carga térmica.

Entidades de todo o mundo levantam dados meteorológicos de diversas áreas, entre elas, as grandes cidades do mundo e colocam em formatos específicos para simulação em software. A ideia por trás desses levantamentos resume-se a possibilidade de simulações mais precisas, contribuindo fortemente para um melhor dimensionamento dos equipamentos de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar o que resulta em economia em equipamentos e energia. Nesses arquivos há levantamento de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade, pluviometria e informações de radiação solar a cada hora durante um período de um ano, ou seja, 8760 leituras de cada variável anteriormente citada.

A documentação do software é bastante ampla, onde há os modelos matemáticos e teóricos adotados pelo software nas simulações. Existem informações específicas de engenharia quanto à modelagem para o seu uso correto, como também informações sobre cada um dos campos apresentados no programa.



Figura 3.4 - Diagrama de nós do sistema evaporativo.

O diagrama acima apresenta a modelagem do sistema evaporativo direto utilizado na simulação de climatização do LARA.

O sistema evaporativo direto consiste de um painel rígido e um reservatório de água. A água é então bombeada do reservatório para bicos que ficam acima do painel, que por efeito gravitacional cai no painel umidificando-o. Então o ar passa pelo painel e há a troca de calor com a água, reduzindo assim a temperatura do ar.

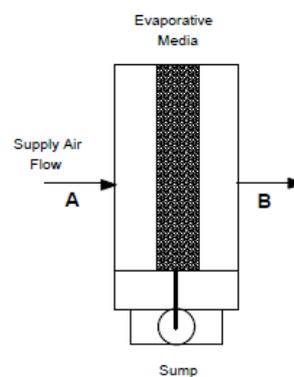


Figura 3.5 - Desenho representativo do Sistema Evaporativo direto,[16].

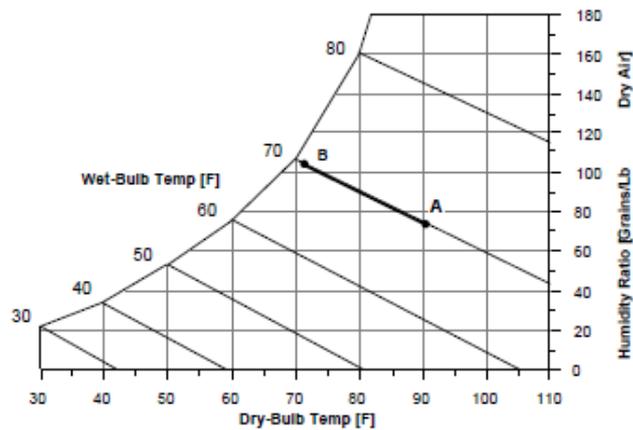


Figura 3.6 – Resfriamento evaporativo adiabático [16].

Na carta psicrométrica acima se pode observar o processo termodinâmico onde há transporte de calor e massa e que ocorre um resfriamento adiabático. O processo segue de A para B. O processo evaporativo segue aproximadamente a linha de temperatura de bulbo úmido constante. Se houvesse como alcançar um rendimento de 100% a temperatura de bulbo seco seria igual de bulbo úmido, porém não há como ter uma eficiência de 100%. A eficiência de saturação,  $\epsilon_{se}$ , é calculada com a fórmula a seguir:

$$\epsilon_{se} = \frac{T_{dbsupin} - T_{dbsupout}}{T_{odb} - T_{owb}}$$

Onde:

$T_{dbsupin}$  é a temperatura de bulbo seco do ar antes de entrar no painel evaporativo

$T_{dbsupout}$  é a temperatura de bulbo seco do ar após o painel evaporativo.

$T_{odb}$  é a temperatura de bulbo seco do ar de saída

$T_{owb}$  é a temperatura de bulbo úmido do ar de saída

Dados relevantes utilizados:

Parâmetros de simulação:

Building:

Nome: LARA

Eixo Norte: 303,35° (posição da sala em relação ao eixo Norte verdadeiro)

O processo de modelamento do edifício fornece a opção de desenhar o ambiente através de coordenadas relativas ou absolutas. Por facilidade de desenho, optou-se por coordenadas relativas. O edifício, inicialmente, foi modelado conforme figura 3.7. O “Norte Verdadeiro” corresponde ao Norte do Edifício.

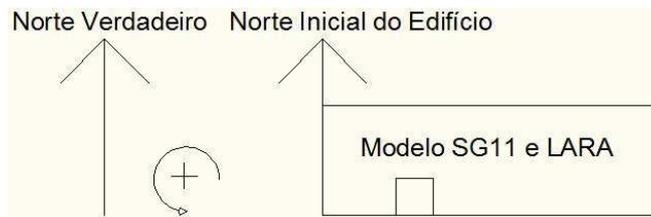


Figura 3.7 – Posição inicial do Edifício.

Porém, através de uma fotografia de satélite (figura 3.8) percebe-se que a posição real do edifício corresponde a da figura 3.7. Como o ângulo cresce no sentido anti-horário, o valor do ângulo de rotação é de  $305,35^\circ$ .

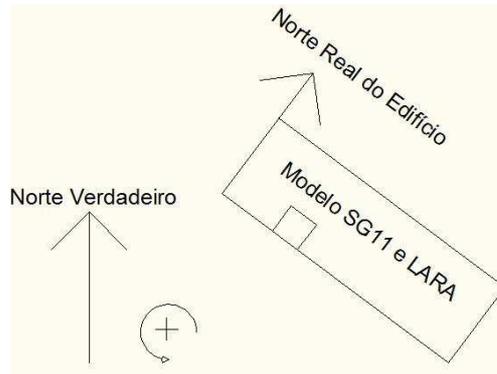


Figura 3.8 – Posição correta do edifício

Com o software Google Earth é possível calcular o ângulo do edifício. Como os ângulos neste software crescem no sentido horário, contrário ao E+, o valor de simulação é o replemento do ângulo calculado, ou seja  $360^\circ - 54,65^\circ = 305,35^\circ$ .

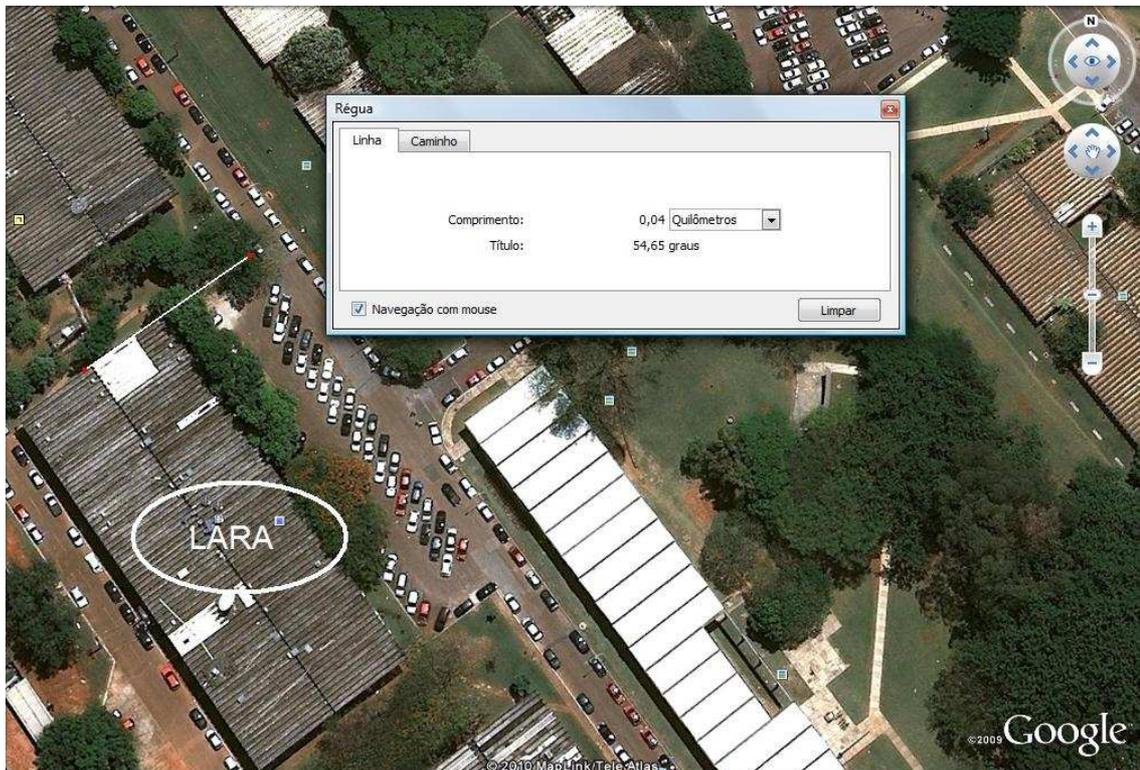


Figura 3.9 - Visão aérea do SG11, LARA, modificada de [17].

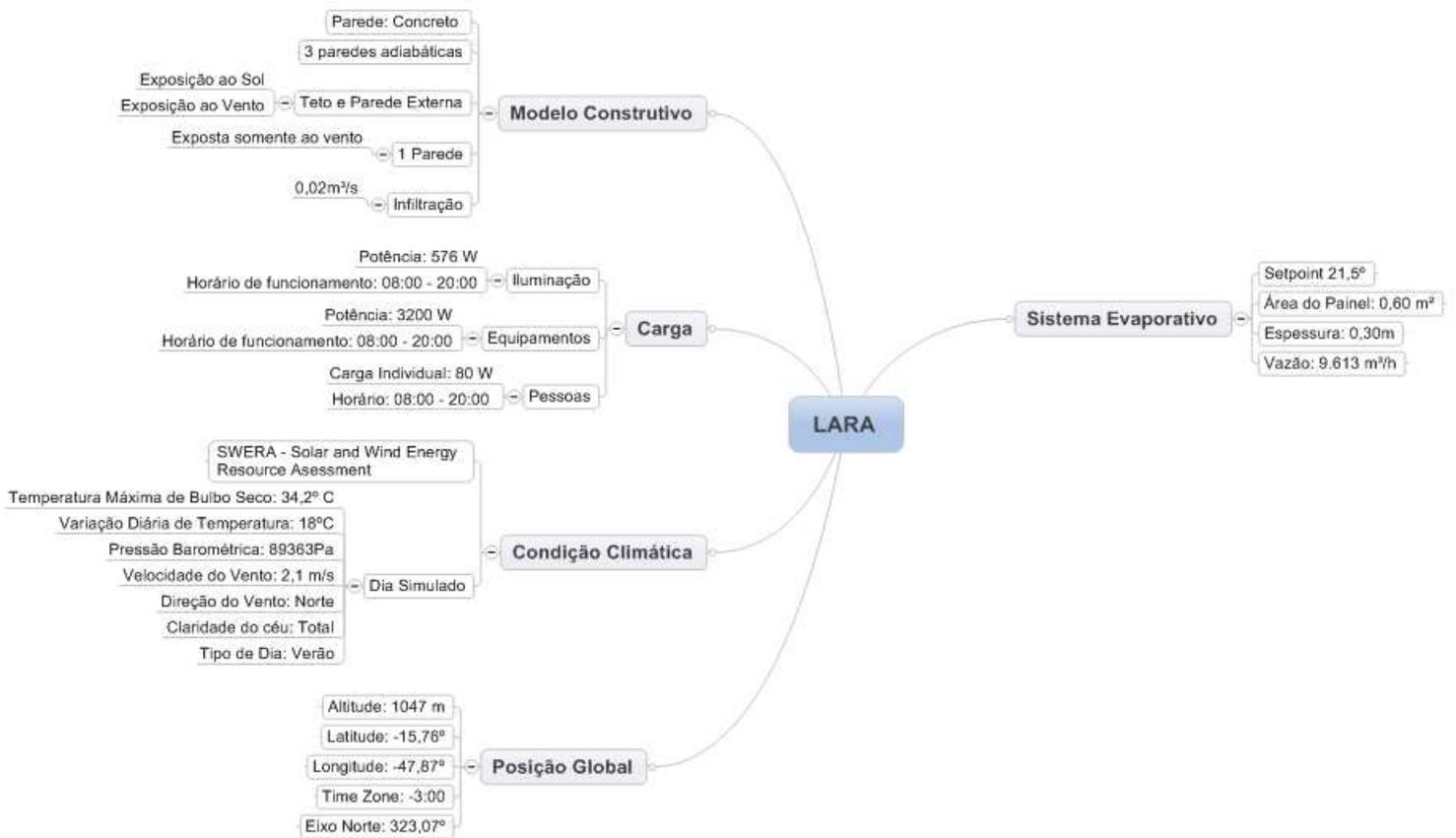


Figura 3.10 – Dados usados na simulação.

O dado “eixo norte” é o ângulo do prédio em relação ao eixo norte, dado este fundamental para a simulação correta da incidência solar no prédio.

Tabela 3.2 – Dados da Localização do LARA.

Localização	
<b>Nome Zona:</b>	LARA
<b>Latitude:</b>	-15,76
<b>Longitude:</b>	-47,87
<b>Time Zone:</b>	-3
<b>Altitude(m):</b>	1047

Dias Projetados:

- Como a função do evaporativo é apenas de resfriamento o dia projetado com maior critério foram os dias quentes, onde a referência tomada para o projeto do dia foram as condições extremas levantadas ao longo de vários anos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. [18]

Tabela 3.3 – Dados do dia da simulação.

Dia Projetado	
<b>Temperatura Máxima de Bulbo Seco(°C):</b>	34,2
<b>Variação Diária de Temperatura(°C):</b>	18
<b>Pressão Barométrica(Pa):</b>	89363
<b>Velocidade do Vento(m/s):</b>	2,1
<b>Direção do vento:</b>	Norte
<b>Claridade do céu:</b>	1(total)
<b>Tipo de Dia:</b>	Verão

- Além do dia projetado foram rodados todos os dias presentes no arquivo SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment* [19] que consiste em um conjunto de dados das condições de temperatura, umidade, pluviometria e velocidade do ar de um determinado local.

Agendamentos:

Disponibilidade do Sistema Evaporativo:

“Through: 31/12

For: AllDays

Until: 24:00

1”

- Programação para torná-lo disponível durante os 365 dias do ano, 24 horas por dia.

-Utilizou-se os mesmos parâmetros para setar:

Disponibilidade do termostato (Controle de temperatura em torno de 23°C)

Controle da temperatura da zona, o LARA.

Para aproximar da realidade do laboratório foi realizado agendamentos para iluminação, equipamentos elétricos e pessoas.

Características da Iluminação:

Ligada até as 20:00 após isso são desligadas.

Potência: 576W

Características dos Equipamentos:

Ligados até as 20:00 após isso são desligados.

Potência: 3200W

Pessoas:

Presente até as 20:00 após isso são retiradas do ambiente

Carga individual: 150W/pessoa

Carga tipicamente dissipada em atividades de escritório, escrevendo, digitando,

## Materiais de Construção

O material utilizado foi concreto, porém, segundo documento da Universidade de Santa Catarina do Departamento de Engenharia [20], as paredes e os materiais tem modelos diferenciados devido sua composição não ser única, devido aos rejuntas, aos diferentes materiais utilizados, como tijolos de diferentes densidades, diferentes tipos, além de acabamentos.

Os materiais empregados no modelamento das zonas têm uma influência bastante considerável, porém foi feito uma aproximação e considerou-se paredes construídas unicamente com concreto.

## Zonas Térmicas e Superfícies

Uma das facilidades do programa é não haver a necessidade de desenhar em CAD toda a estrutura do prédio onde está o laboratório, basta informar as condições externas às paredes que o delimitam.

Assim, o modelo do laboratório ficou com 6 superfícies, onde 3 delas foram consideradas adiabáticas, ou seja, não haverá troca de calor entre as superfícies, pois estão sujeitas as mesmas condições. Essas superfícies foram o piso, e as superfícies entre LAVSI/LARA e LARA/LCVC.

O teto e a parede externa foram submetidos às condições externas de sol e vento e a superfície interna ao prédio foi submetida apenas ao vento, pois esta fica protegida do sol.

## Infiltração

Devido as frestas das portas, janelas foi considerado uma infiltração de ar constante de  $0,02\text{m}^3/\text{s}$ .

## Duto:

O duto estimado leva em conta a área a ser refrigerada, a velocidade máxima do ar que pode circular internamente para que ao final a velocidade do vento no ambiente esteja dentro das normas de conforto térmico.

Após simulação de dimensionamento do evaporativo para saber o fluxo fez-se a dimensão do duto para  $3\text{ m}^3/\text{s}$ . Onde a área inicial do duto considerada foi de  $0,5\text{ m}^2$  para atender o fluxo e evitando o ruído do ar passando pela tubulação.

## Ventilador:

O ventilador utilizado para a simulação consegue fazer um fluxo de até  $3,4\text{m}^3/\text{s}$ , valor esse para atender ao dimensionamento do evaporativo.

## HVAC:

Para simulação foi escolhido um Sistema Evaporativo Direto, cujo modelo foi apresentado anteriormente. Nessa simulação não houve uso de outros sistemas de refrigeração.

Resultados:

Foram realizadas duas simulações, onde a primeira foi para dimensionar a carga térmica do laboratório e a segunda para ver o comportamento do sistema evaporativo no modelo construído do laboratório.

O software faz o dimensionamento de acordo com o valor de pico, ou seja, o valor dimensionado reflete o momento onde houve a maior demanda do sistema durante todo o período simulado.

Sistema Evaporativo Direto

Velocidade:  $2,68 \text{ m}^3/\text{s} = 9.613 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Área do Painel de Resfriamento:  $0,6\text{m}^2$

Espessura do Painel de Resfriamento:  $0,3\text{m}$ .

É importante lembrar que esse valor leva em consideração o uso de duto para distribuição do ar. Como a sala é bastante ampla é altamente indicado o uso de ventiladores que ofereçam maior pressão para atender a maior velocidade necessária devido ao uso de dutos.

Carga Térmica Máxima:  $10421\text{kW} = 35.631,48 \text{ BTU}$

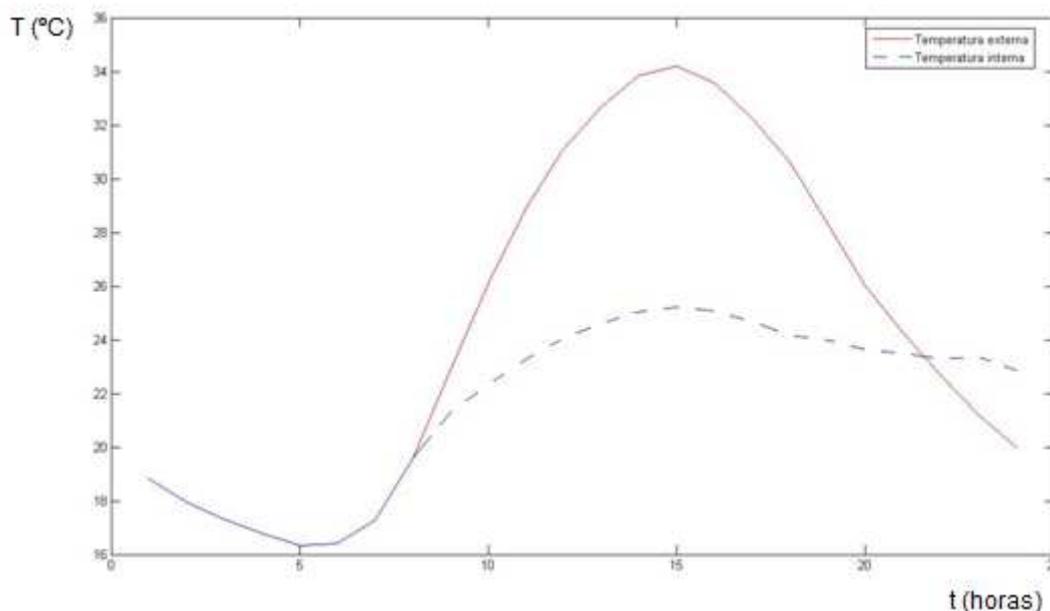


Figura 3.11 – Temperatura externa e interna

A figura 3.11 mostra a temperatura externa e interna ao ambiente de simulação, onde a temperatura externa varia de 16 a 34 graus Celsius durante o dia (curva vermelha). A curva azul indica a temperatura dentro da sala.

Como se pode observar nas condições extremas de alta temperatura o sistema evaporativo não consegue manter a temperatura interna dentro de uma temperatura aceitável de conforto térmico chegando a atingir 25°C quando a temperatura externa encontra-se em 34°C.

Essa situação é bastante propícia para o uso de um sistema híbrido, já que o sistema evaporativo por si só não consegue manter as condições de conforto térmico.

### 3.2.2 SISTEMA DO LARA

Projetar um sistema de ar-condicionado híbrido mostrou-se uma tarefa complicada e ainda a ser explorada. Por ser um conceito inovador no âmbito do condicionamento de ar ainda tem-se uma literatura muito pobre no sentido de projetos de sistemas híbridos, sendo, na maioria das vezes, utilizados conhecimentos práticos para determinação dos parâmetros do projeto. Tentou-se fazer um projeto baseado em boas práticas apresentadas no *handbook Applications* da ASHRAE.

Para atender às demandas de refrigeração e umidificação garantindo o conforto térmico, os dois sistemas são colocados em série e permitem uma grande flexibilidade na operação, permitindo a escolha de diversas estratégias de controle.

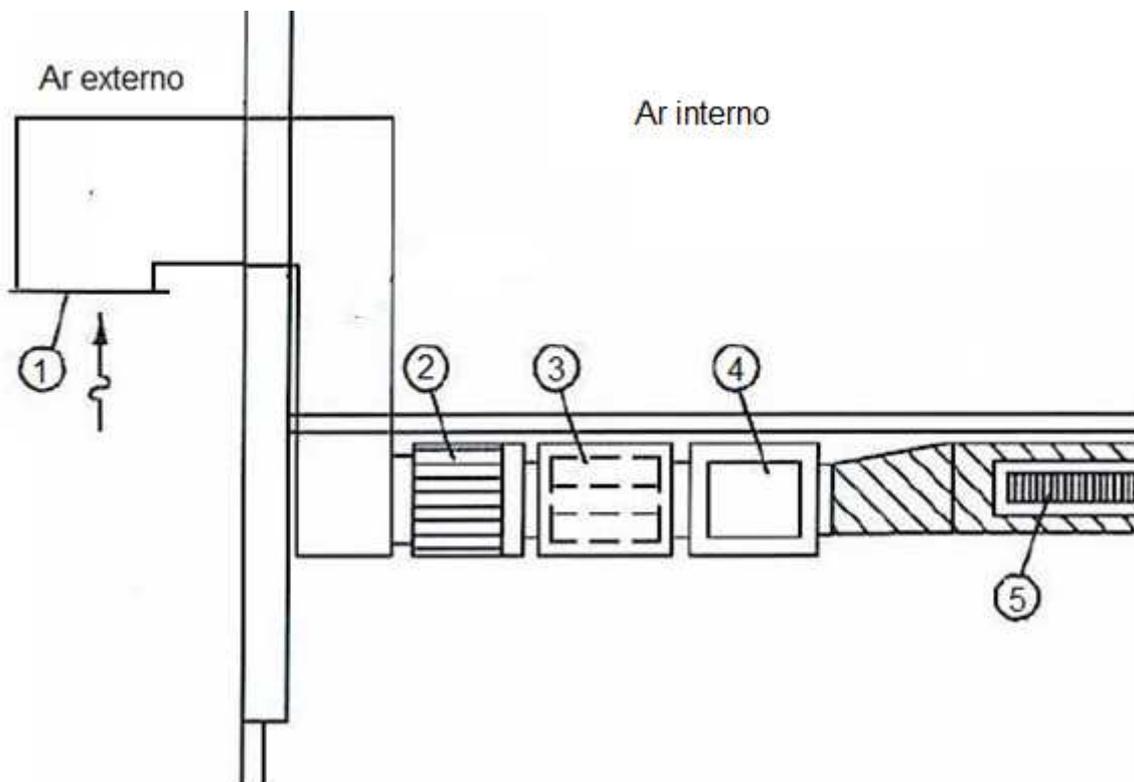


Figura 3.12 - Esquema de montagem do sistema híbrido do LARA.

Conforme a figura 3.12. O sistema é composto de uma entrada de ar-externo (1), um painel evaporativo (2) com sistema de molhagem, um *damper* (3) e um evaporador de 30000 BTU/h (4) de um sistema split acompanhado do ventilador e por último é apresentado uma grelha de insuflamento (5).

A lógica do sistema é simples, e composta de dois estágios: o evaporativo e o convencional. Esses dois estágios são escolhidos de acordo com o estado do *damper*. De tal forma que quando o *damper* está fechado, o sistema é puramente evaporativo ao passo que quando o *damper* está aberto, o sistema é puramente convencional. No referido trabalho utiliza-se uma estratégia de controle proporcional do *damper* que permitirá a utilização do sistema no modo híbrido, ou seja, parcialmente evaporativo e parcialmente convencional.

A parte do sistema evaporativa é constituída de um painel da Munters, de 12'' de altura por 12'' de espessura. Tais medidas foram selecionadas baseadas em dados fornecidos pelo fabricante.

O modo como se molha o painel evaporativo é essencial para a economia de energia elétrica e água. Afim de obter uma maneira ótima de molhagem do painel, procurou-se o Laboratório de ar-condicionado e refrigeração da UnB (LaAR). Lá teve-se a oportunidade de fazer um retrofitting de uma bancada para experimentos em resfriamento evaporativo.

Basicamente, foram feitos alguns ajustes na montagem da bancada e adicionou-se a ela uma série de sensores para obtenção de dados essenciais a análises de processos.

Fez-se a aquisição de dados utilizando hardware e software da SuperLogics. Em função desse trabalho foi elaborada a nota técnica em anexo nesse trabalho.

Depois de se fazer o retrofitting da bancada prosseguiu-se com a análise de processos. Primeiramente estudou-se a melhor forma de molhar o painel evaporativo. Para tal utilizou-se de vários métodos, os quais são apresentados na figura 3.13.

A quantidade de furos foi escolhida de tal forma que a soma da área dos furos fosse igual a área de secção do duto, tal fato evita a perda de pressão no sistema e faz com que os furos tenham o mesmo fluxo de água.

Para os materiais comprados:

Duto:  $D=16,150 \text{ mm}$

$A=2,04 \text{ cm}^2$

Broca para fazer os furos da irrigação:

$D=2,50 \text{ mm}$

$A = 4,15 \text{ mm}^2$

Para atender aos critérios de projeto, são necessários 50 furos para obter a igualdade entre a área da seção do duto e a soma das áreas dos furos. Levando em consideração que

cada estratégia suporta 50 furos elaborou-se 5 diferentes maneiras de se molhar o painel, as quais são apresentadas na figura 3.13.

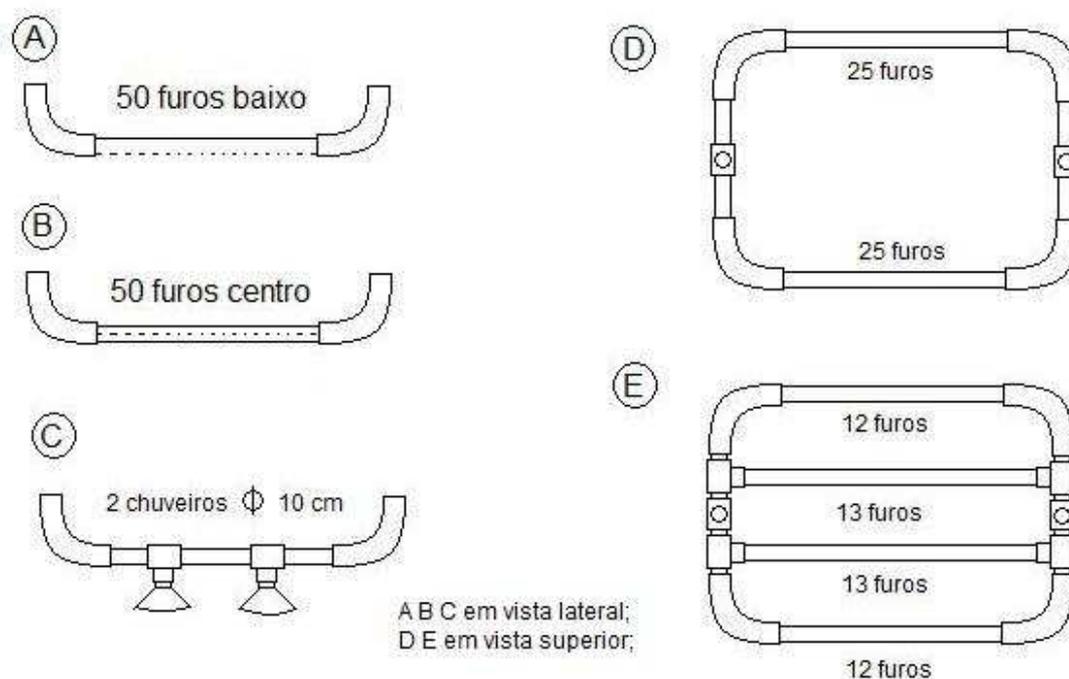


Figura 3.13 – Estratégias para molhar o painel evaporativo.

Observou-se que quanto mais uniforme for a irrigação, mais eficiente será o processo de resfriamento. Com isso concluiu-se que a melhor forma de molhar o painel é utilizando 4 dutos de PVC de 3/4". A opção que melhor se adequa a esse propósito portanto é a opção "E".

Porém devido a dificuldades com a montagem desse tipo de sistema de irrigação e da inviabilidade de confecção em massa de tal solução optou-se por utilizar a molhagem com 2 dutos como apresentado na opção "D" que foi a 2ª opção que melhor irrigou o painel.

O sistema de ventilação foi aproveitado do Split, e permite uma vazão 1090 m<sup>3</sup>/h.

Outra questão levantada foi a de quanto tempo preciso manter a bomba d'água ligada e por quanto tempo a mesma pode ser desligada, sem ocorrer perda na eficiência do processo e não ocorra desperdício de água.

Utilizou-se o sistema da sala de reuniões instalado em período anterior. Lá verificou-se que a combinação ótima entre tempo ligado e desligado da bomba d'água é de 15 s ligada para 135 s desligada.

### 3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL EVAPORATIVO

Para determinar a espessura do painel evaporativo foram levados em consideração quatro parâmetros: a perda de carga térmica, a eficiência de esfriamento em diferentes painéis, as dimensões físicas da unidade evaporadora do aparelho de ar condicionado split e a sua vazão.

Os painéis mais espessos possuem uma maior perda de carga térmica, logo quanto menor a espessura menor a perda. Porém, quanto maior a espessura do painel maior a eficiência de esfriamento, pois há uma maior área de contato entre o ar e a água retida no painel, possibilitando uma maior retirada de energia térmica do ar.

Como se pode observar há um trade-off, perda de carga térmica x eficiência de esfriamento, para determinação do painel evaporativo.

Quando há uma troca da área de secção ou direção em um duto ou quando o fluxo é dividido e desviado pra um ramo podem ocorrer perdas substanciais na pressão total. Essas perdas são, frequentemente, de maior magnitude do que perdas em um duto reto. Essas perdas são denominadas 'perdas dinâmicas'. Com o intuito de reduzir as perdas dinâmicas o painel evaporativo deve-se ter uma dimensão próxima a da entrada de ar do split, pois, caso contrário o duto painel-split terá que ter uma redução ou um aumento em sua área, elevando, dessa forma, as perdas dinâmicas.

A vazão máxima oferecida pelo aparelho split da marca Carrier de 30.000 BTU é de 1.090 m<sup>3</sup>/h, valor este, consideravelmente, inferior ao necessário caso o sistema fosse puramente evaporativo. Dessa forma, as dimensões do painel no sistema híbrido de ar serão reduzidas no comparativo a um sistema evaporativo convencional que resfriasse sozinho o ambiente.

Portanto, procurando atender de forma satisfatória os dois critérios do trade-off carga térmica x eficiência de esfriamento, tentando minimizar as perdas dinâmicas, adequando a vazão do split e levando-se em consideração que as dimensões dos painéis são tabeladas, o painel escolhido foi:

- 30,5x30,5x122 cm

#### **3.2.4 DIMENSIONAMENTO DO DAMPER**

O sistema híbrido terá sua operação escolhida pelo *damper* que nada mais é do que uma resistência ao fluxo de ar sendo que a resistência deve ser alterada de acordo com o estado do mesmo. Deve-se ter uma situação que garanta uma resistência muito grande quando fechado e muito pequena quando aberto. As medidas do *damper* são tabeladas e, como a altura deste deve ser aproximadamente igual à altura do painel (30,5 cm). Segundo a tabela a altura mais próxima é de 33,7 cm. Para conseguir a maior área possível e garantir um estágio de resistência pequena, escolheu-se um comprimento de 50 cm que era o maior possível devido a limitação física.

### **3.2.5 ATUADOR PARA DAMPER**

Para a escolha do atuador, os fatores levados em consideração foram nível de ruído, torque, área do *damper* e velocidade de resposta. Segundo a norma da ABNT, NBR 6401, o nível de ruído permissível para escritórios em geral/ laboratórios é de 40-50 dB. O atuador escolhido (modelo LMB24-SR) possui nível de ruído inferior a 35 dB; o torque escolhido é de 5Nm, pois o sistema a ser atuado é simples e possui uma baixa carga; e o tempo de resposta igual a 95 segundos, independente da carga. Um menor tempo de resposta garante que a mudança de sistema ocorra de maneira mais eficaz. Comparado ao atuador da sala de reunião (150s), o atuador escolhido é 63% mais rápido. O atuador possui controle proporcional, pois dá uma gama maior de controle. O seu curso é de 0° a 95°.

### **3.2.6 RESERVATÓRIO DE ÁGUA**

O reservatório de água é necessário para garantir o suprimento de água, além de servir para manter a bomba d'água sempre submersa.

### **3.2.7 CAIXA INOX**

Os critérios utilizados para o dimensionamento do invólucro em aço inox foram: as dimensões físicas do painel evaporativo, do *damper* e a entrada do *split* de 30.000 BTU.

### **3.2.8 DUTO EXTERNO**

O duto será acoplado à caixa inox, portanto iniciará com as mesmas dimensões desta, depois terá a sua largura reduzida para passar entre as duas vigas. Também será necessário curvar o duto para que este contorne a parede. O desejado seria que o duto continuasse reto, para minimizar as perdas dinâmicas do sistema, todavia isto não é possível devido à arquitetura do prédio.

### **3.2.9 DIMENSIONAMENTO EXAUSTOR**

Os critérios adotados para dimensionamento do exaustor levam em consideração o número de trocas de ar necessário para manutenção da sua qualidade, como também, a manutenção da pressão positiva para evitar que o ambiente sofra com a entrada de poluentes externos.

O Exaustor dissipa o calor produzido pela energia radiante.

Tabela 3.4 - Normalizada ABNT (NB10).

Escritório, fábrica, loja, sala	10 a 15 ar/h
Cabine de pintura	50 a 60 ar/h
Armazém, depósitos, silos	10 a 15 ar/h
Cozinha, restaurante	20 a 30 ar/h
Fundição, lavanderia	20 a 30 ar/h
Garagem, sala de clube, igrejas	12 a 18 ar/h
Oficinas	15 a 20 ar/h

Fonte: Norma NB10

Vazão(exaustor) = min.:  $10 \cdot 75 \cdot 2,7 = 2025 \text{ m}^3/\text{h}$

máx.:  $15 \cdot 75 \cdot 2,7 = 3037 \text{ m}^3/\text{h}$

Localização exaustores:

Será instalado 2 exaustores, tomando como critério de posicionamento a maior distancia possível das entradas de ar e os locais onde há maior carga térmica, maior concentração de pessoas ou equipamentos.

Tipo de exaustor:

Será utilizado exaustores de teto dutáveis (100 mm diâmetro) com baixo nível de ruído com *damper* anti-retorno para evitar a entrada de ar exterior indesejável.

Modelo: BPT 210

(Critérios: vazão, nível de ruído, dutável)

### 3.3 HARDWARE

#### 3.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE – SHT71

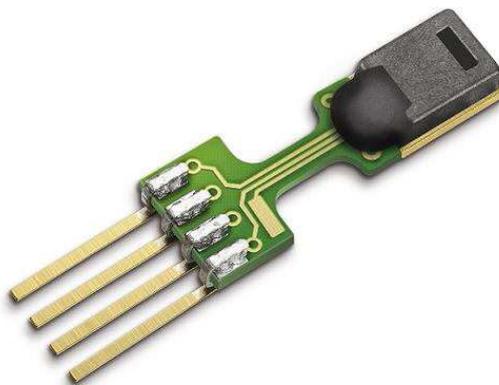


Figura 3.14 – SHT71,[21].

O SHT71 é um sensor de umidade relativa e temperatura. O sensor integra os elementos sensores mais o processamento dos sinais em um formato compacto. Um sensor capacitivo é utilizado para medir a umidade relativa, enquanto que a temperatura é medida através de um sensor *band-gap*. A tecnologia CMOSense garante alta confiabilidade e estabilidade do sensor. Ambos os sensores possuem conversor A/D de 14-bit além de uma interface serial. Cada sensor SHT71 é calibrado na fábrica em uma câmara de umidade de precisão garantindo precisão em suas leituras.

O chip contém sensores de umidade relativa e temperatura, amplificador, conversor A/D, memória OTP e a interface digital.

Tabela 3.5 – Descrição dos pinos do SHT71.

Pin	Name	Descrição
1	SCK	<i>Serial Clock</i> , entrada somente
2	VDD	Tensão de alimentação
3	GND	Terra
4	DATA	Dados, pino bidirecional

O pino 1, SCK, tem como função sincronizar a comunicação entre o microcontrolador e o SHT71.

O pino 2, VDD, é a alimentação do SHT71. A tensão de alimentação deve estar no intervalo de 2.4 a 5.5 V, no qual a tensão ideal é de 3.3 V.

O pino 3, GND, é a referência do chip. Entre os pinos 2 e 3 há um capacitor de 100nF para desacoplamento.

O pino 4, DATA, é utilizado para transmissão de dados de entrada e de saída. O pino DATA estará disponível para enviar comandos para o sensor (dados de entrada), após a borda de subida e assim permanecerá enquanto o sinal SCK permanecer em nível lógico alto. Para segurança da comunicação a disponibilidade do pino é estendida para os dados de entrada durante o  $T_{su}$  antes da borda de subida e o  $T_{ho}$  após a borda de descida, conforme a figura 3.15. A leitura do sensor (dados de saída) fica disponível após o  $T_v$ , e assim permanece até a próxima borda de descida do SCK.

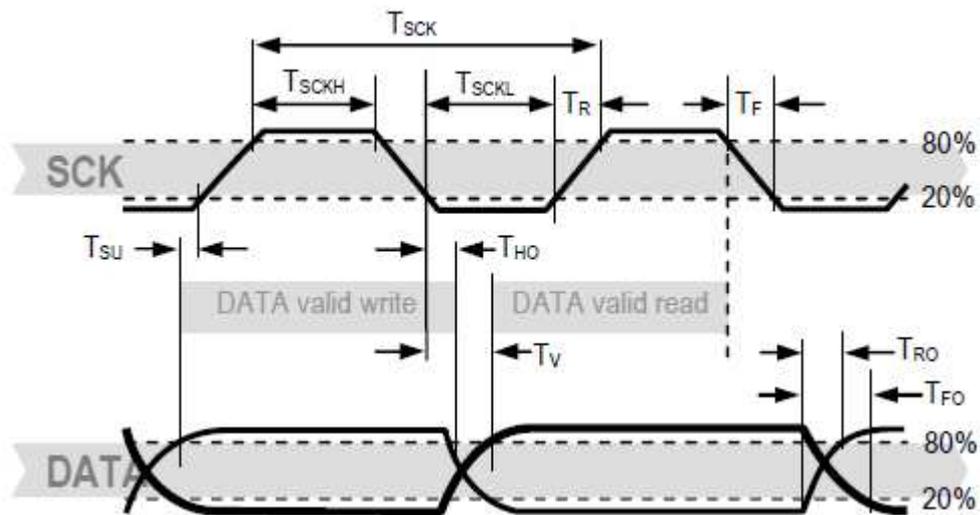


Figura 3.15-Instante de leitura e escrita de dados,[21].

Para medir a temperatura e a umidade relativa é necessário utilizar a tabela de comandos.

Tabela 3.6 - Comandos do SHT71.

Command	Code
Reserved	0000x
<b>Measure Temperature</b>	<b>00011</b>
<b>Measure Relative Humidity</b>	<b>00101</b>
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
<b>Soft reset</b> , resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	<b>11110</b>

Para medir a temperatura tem-se que enviar o comando “00011” para o SHT71 através do pino DATA. De forma análoga, para se medir a umidade relativa tem-se que enviar o comando “00101” para o SHT71.

Abaixo segue um exemplo de leitura da umidade relativa para o valor de “0000010000110001” = 1023 = 35,50% RH. Os dados válidos estão referenciados na linha DATA através de blocos. A linha simples indica controle do microcontrolador, enquanto que a linha negritada indica o controle do SHT71.

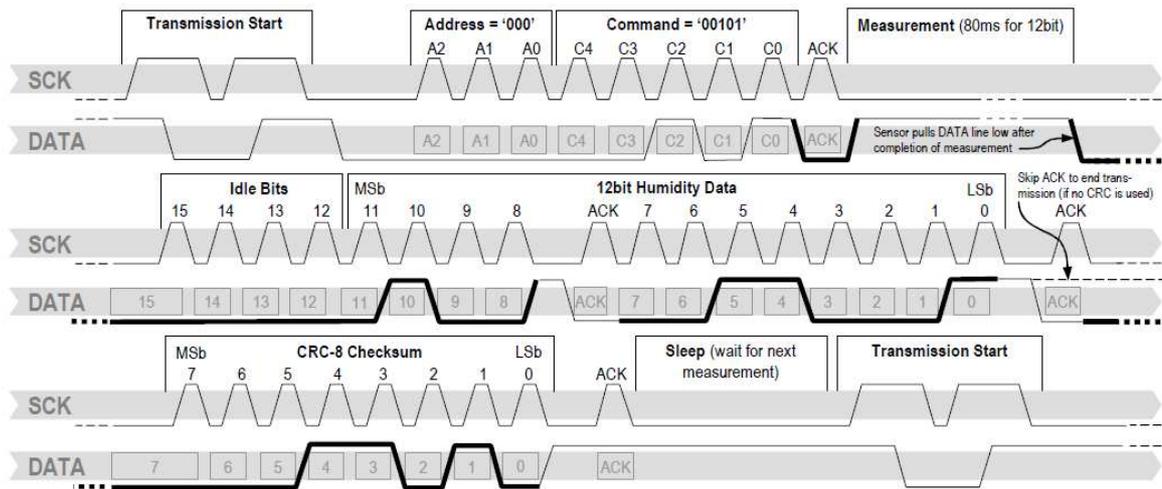


Figura 3.16 – Exemplo de leitura umidade relativa,[21].

### 3.3.2 SENSOR DE VELOCIDADE DO AR MODEL 641-12-LED

O sensor 641-12-LED é um sensor de velocidade do ar. A medição é realizada através de fio quente. O sensor tem precisão de 3% de FS para temperaturas entre 0°C e 50°C. O tempo de resposta é de 1.5s para 95% do valor final. O sinal de saída é de 4-20 mA, a resolução de 0,01m/s e o range de 75m/s.



Figura 3.17 – Sensor de velocidade do ar 641-12-LED, [22].

A figura 3.18 mostra o esquema de ligação do sensor 641-12-LED, o qual mostra a disposição da alimentação e do sinal de saída.

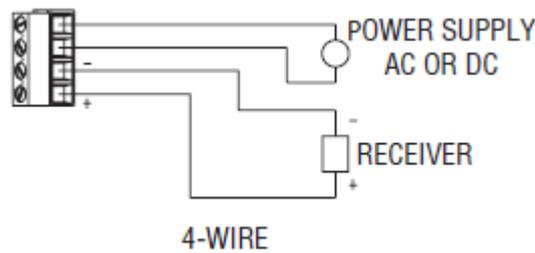


Figura 3.18 – Esquema de ligação do sensor 641-12-LED.

### 3.3.3 POSICIONAMENTO DOS SENSORES

Diversos sensores foram dispostos no ambiente para fazer aquisição de dados e controle, como também, para uma análise posterior do comportamento do sistema.

Sensor de umidade e temperatura:

- Externo (aferir condições / ar ambiente);
- Após painel evaporativo;
- Interno (sensor na sala);
- Conforto;

Sensor externo

O sensor externo é fundamental para o correto acionamento do sistema evaporativo, haja vista que esse método de refrigeração tem uma forte dependência da umidade relativa do ar de entrada. O uso do sensor externo propicia melhores condições para traçar estratégias de controle para manutenção do conforto térmico e economia de energia, pois nos intervalos de tempo onde o ar externo estiver com uma baixa umidade relativa o sistema evaporativo torna-se vantajoso, aumentando a eficiência energética do sistema de climatização do ambiente.

Sensor Evaporativo (antes/depois)

Os sensores antes (externo) e após o painel evaporativo têm um grande significado quando é realizada a análise conjunta, haja vista que com a operação dos dois sensores existe dados suficientes para calcular a eficiência do processo evaporativo e obter o tempo ideal para a umidificação do painel.

Sensor Duto

O sensor posicionado na grelha faz a aquisição dos dados referentes as condições do ar de insuflamento no ambiente.

Sensor de Controle (Conforto)

Os sensores dispostos sobre a mesa de computadores obtêm informações para verificar o nível de conforto térmico do ambiente. Os sensores foram distribuídos conforme a figura 3.19.

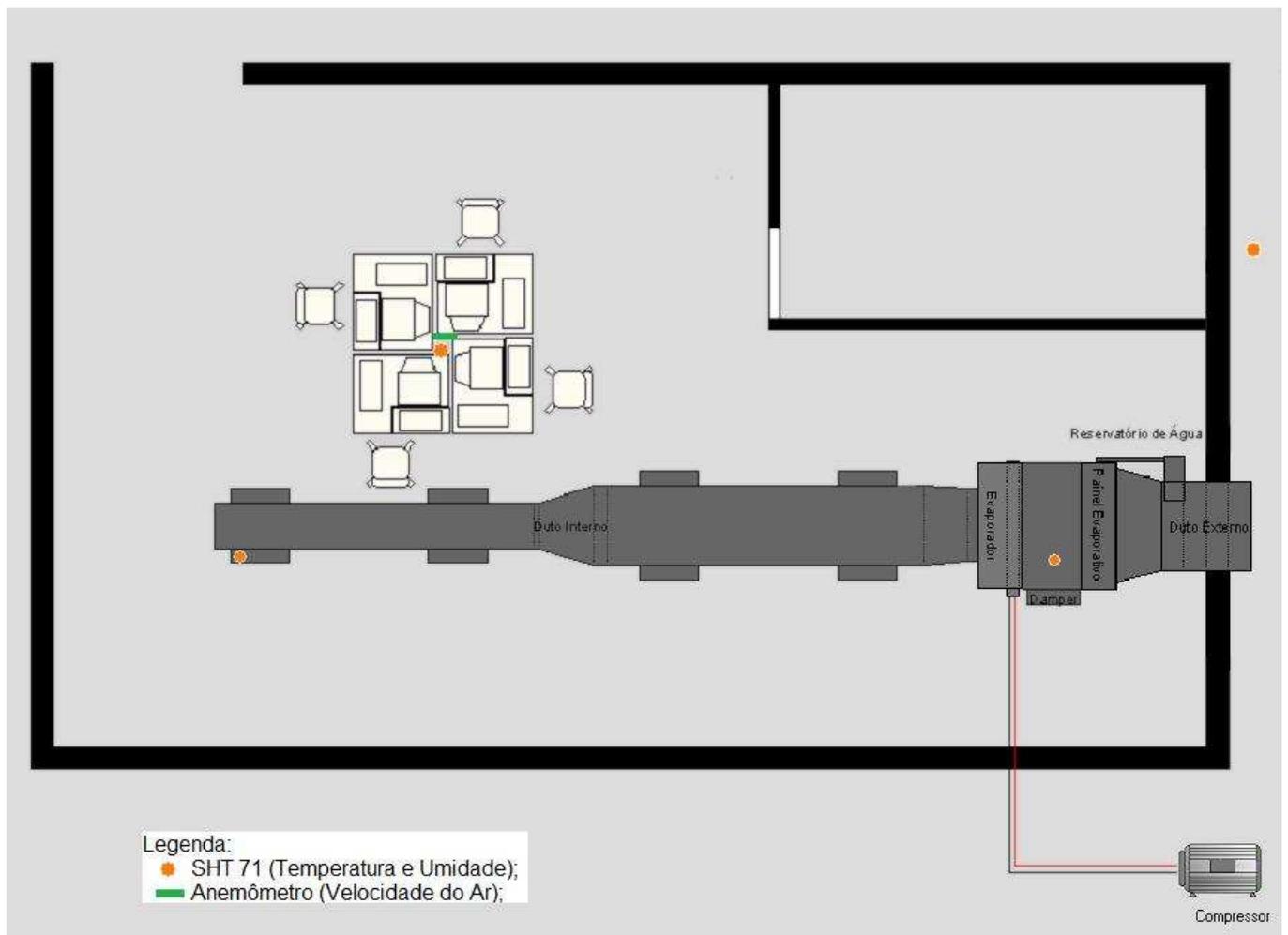


Figura 3.19 – Localização dos sensores.

Para analisar as condições de conforto será usado um sensor de globo modelo QUESTemp<sup>®</sup>36, que fornece todas as temperaturas necessárias para o cálculo do PMV, o qual será calculado e será analisado a sua qualificação como confortável ou não segundo as normas vigentes.

### 3.3.4 BREAKOUT

O *Breakout* foi desenvolvido com o propósito de facilitar a utilização dos pinos do ZigBit.

Consiste de uma placa SMD que aumenta o espaçamento dos pinos do ZigBit, transformando-os do padrão de 1 mm entre pinos para o 2.54 mm entre pinos. Isso facilita bastante a montagem de circuitos utilizando o módulo ZigBit.

Possui um LED para indicar que o módulo está recebendo alimentação, além de um circuito RC para controle do sinal a ser aplicado no LED. Um *Breakout* com um ZigBit é mostrado na figura 4.2.

Nosso Sistema é composto de 3(três) módulos sensores e 1(um) módulo atuador.

### 3.3.5 MÓDULO SENSOR DO DUTO

Esse módulo é essencial para estudar o processo de refrigeração e eficiência do mesmo. É composto de dois sensores de temperatura e umidade SHT71. Um colocado após o painel evaporativo, e um na última grelha de insuflamento. Com os dados desses sensores e com o auxílio da carta psicrométrica é possível elaborar conclusões importantes sobre o processo de refrigeração;

Esse módulo é composto de um regulador de tensão para garantir a alimentação de 3,3 V para o ZigBit. O módulo possui uma placa central à qual é conectada o cabo telefônico de dois pares os Sensores SHT 71. Utilizou-se cabos de 5 m de comprimento.

A princípio tais comprimentos poderiam comprometer as informações enviadas pelos sensores, que utilizam um protocolo muito parecido com o I2C. Porém devido à especificação do problema e a baixa taxa de transmissão das informações os cabos não representaram problemas.

O circuito feito está apresentado na figura 3.20.

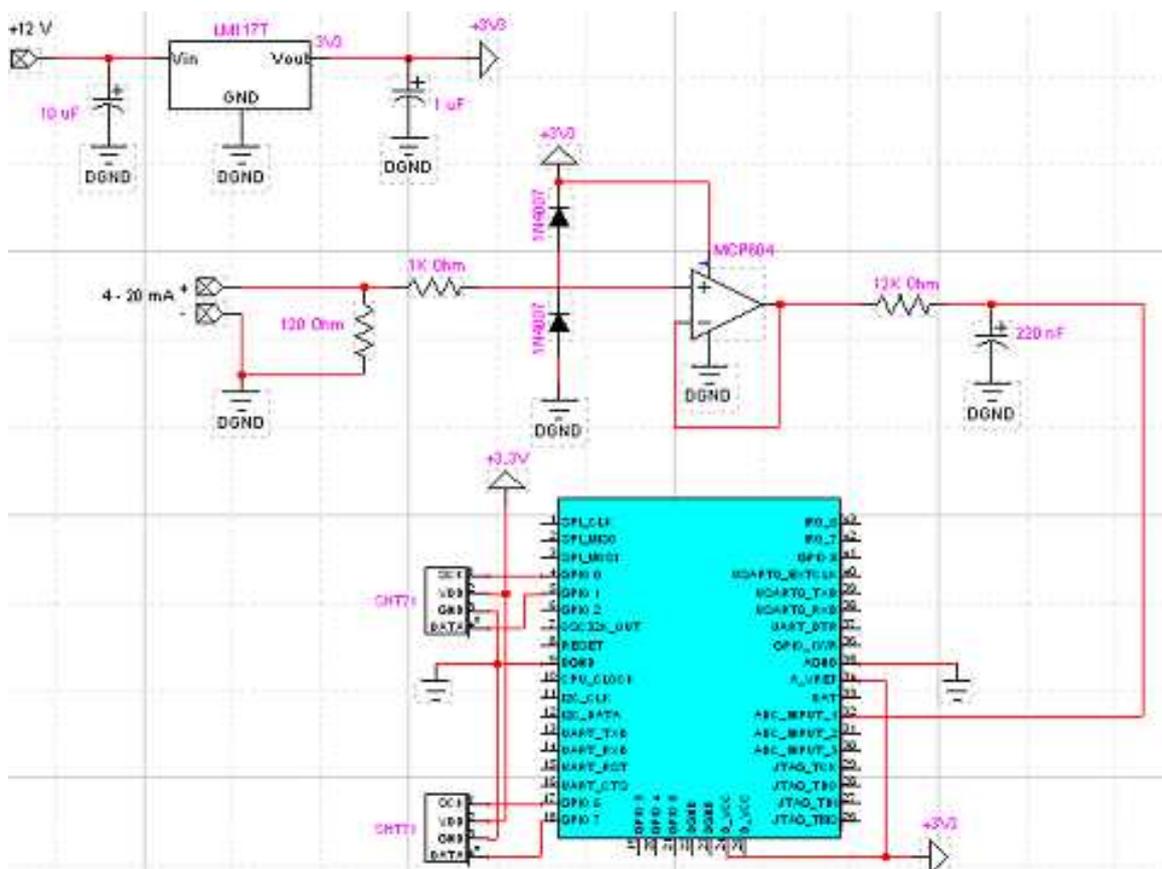


Figura 3.20 - Esquema elétrico Módulo sensor do Duto,[23].

A alimentação é feita com 12 V (DC) que é transformado em 3,3 V pelo regulador de tensão LM 1117. Essa tensão de 3,3V pode então ser usada pelo zigbit. Pode-se observar na figura 3.20 duas entradas para SHT. Nessas entradas será conectado o cabo telefônico de par-trançado, que irá se conectar ao SHT na outra extremidade.

### 3.3.6 MÓDULO SENSOR DE CONFORTO

Esse módulo é composto de um sensor SHT71 e de um anemômetro de fio quente (DWYER 641) e será posto no meio do laboratório e gerará dados a serem utilizados pelo controlador para execução de estratégias de controle de maneira a garantir o conforto térmico na região sensoriada.

O circuito feito está apresentado na figura 3.21:

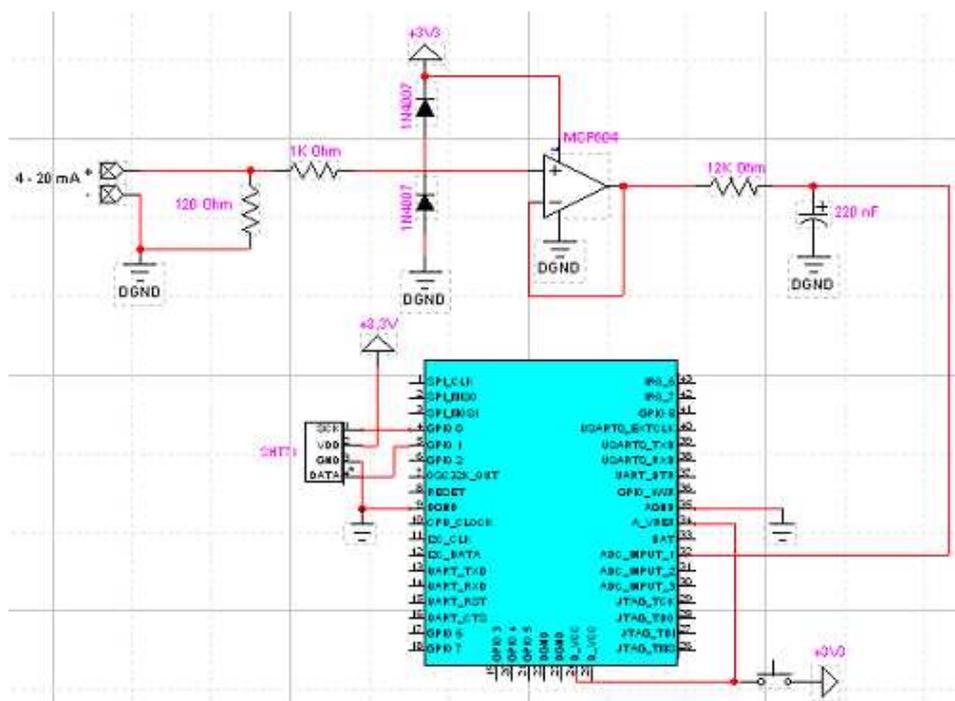


Figura 3.21 – Esquema elétrico do Módulo sensor de conforto, [23].

A entrada de 4-20 mA funciona para receber o sinal do anemômetro de fio quente.

### 3.3.7 MÓDULO SENSOR EXTERNO

Esse módulo também é composto de um sensor SHT71 ficará no ambiente externo ao laboratório. Ele fornecerá as condições de entrada do ar externo a ser condicionado pelo sistema evaporativo. Com esse dado e com o do sensor posicionado após o painel evaporativo, será possível estimar a eficiência do sistema evaporativo que é dado pela seguinte relação:

$$\varepsilon = \frac{T_e - T_{bs}}{T_e - T_{bu}}$$

Será implementada uma estratégia de controle da bomba d'água baseada na efetividade que será constantemente calculada pelo *Software Action View* Sendo que quando ela estiver baixa a bomba d'água será ligada para garantir a efetividade do processo, o conforto térmico e a economia energética.

No gráfico da figura 3.22 são mostradas de forma esquemática as temperaturas de bulbo seco de entrada e de saída e a temperatura de bulbo úmido.

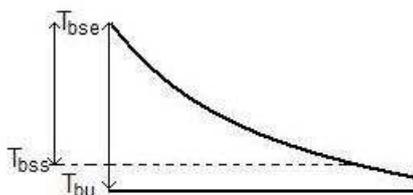


Figura 3.22 - Eficiência de resfriamento evaporativo.

### 3.3.8 MÓDULO ATUADOR

Esse módulo será o responsável por receber informações do coordenador e atuar no sistema de climatização híbrido em quatro variáveis: Ventilador, Bomba d'água, Compressor.e *Damper*, de forma a garantir o conforto térmico com consumo racional de energia.

Primeiramente tentou-se utilizar relé de estado sólido opto acoplado T2405Z-M com acionamento tiristorizado da Teletronic para fazer o acionamento das contactoras do ar-condicionado. Porém uma série de problemas foram encontrados:

O nível de tensão do Zig Bit (3,3 V) não garantia que o relé de estado sólido iria funcionar adequadamente.

O sistema *zero crossing* não funcionou conforme esperado. O relé e o sistema foram ligados corretamente quando o nível DC era alto (10 V), porém, quando o nível de controle DC passava para 0 V o LED do relé era desligado e o sistema não era desligado.

Pelo fato de o relé de estado sólido apresentar as complicações acima citadas, optou-se pela utilização de acionamento com relé mecânico. Para tal utilizou-se para cada contactora um circuito conforme o apresentado na figura 3.23. Para indicação de ligado ou desligado utilizou-se um LED conforme a figura 3.23. O resistor de 680  $\Omega$  foi escolhido por garantir uma queda de tensão de 1,5V a uma corrente de 10 mA.

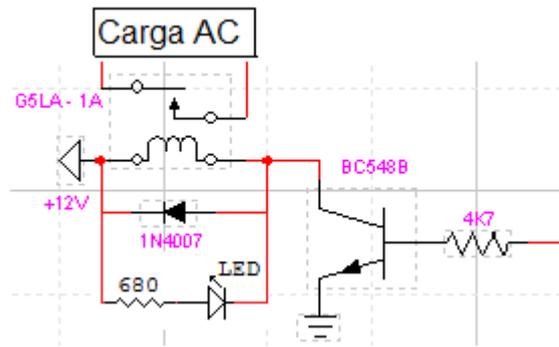


Figura 3.23 - Esquema elétrico do acionamento por relé mecânico.

Essa solução funcionou muito bem. Para cada contactora a ser atuada usou-se um relé. Ou seja, utilizou-se 3 relés sendo um para o compressor, outro para a bomba d'água e outro para o ventilador.

No final confeccionou-se uma placa do módulo atuador com a estrutura da figura 3.24.

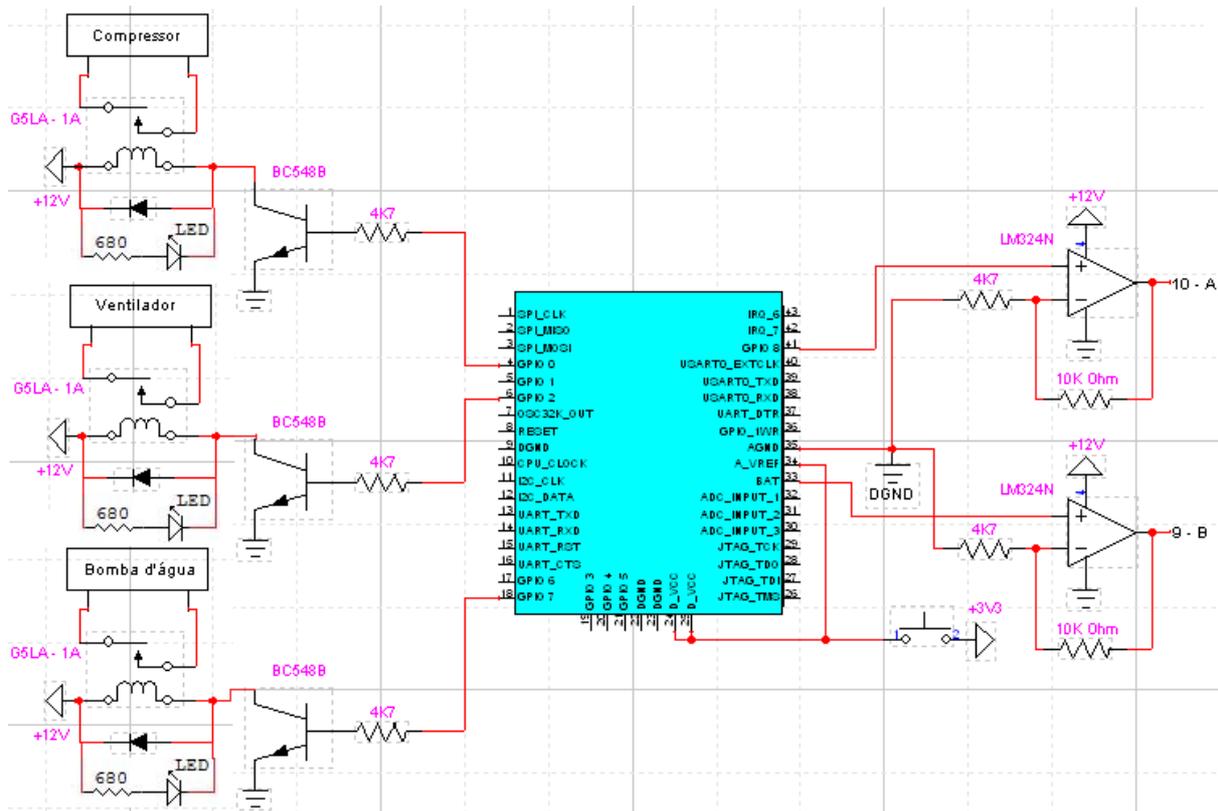


Figura 3.24- Esquema elétrico do Módulo atuador.

Os sinais 10-A e 9-B correspondem aos bits que selecionarão o estado do *damper*. Cada um dos sinais é passado por um circuito amplificador com ganho  $(1 + 10k/4k7) = 3$ . Esse ganho funciona para aumentar o nível de tensão do zigbit de 3.3 v para em torno de 10 V e assim poder sensibilizar o multiplexador do controle do *damper*.

### 3.3.9 CONTROLE DAMPER

O atuador utilizado para controlar o *damper* é o LMB24 -SR-T. Tal atuador tem três pinos de entrada sendo dois para alimentação e um para o controle. O sinal de controle é um sinal DC entre 2 e 10 Volts. O controle é realizado de forma proporcional à tensão de entrada no pino de controle, ou seja, para 2 V o atuador responde com 0° e para 10 V o atuador responde com 90°.

Para fazer a atuação no *damper* usa-se um esquema de atuação proporcional que permite ao usuário a escolha de quatro diferentes estágios para o *damper*.

O atuador proposto é constituído de quatro divisores resistivos de tensão, os quais entram em um multiplexador BC4056, que possui sua saída ligada na entrada de controle do *damper*.

O projeto dos divisores de tensão é apresentado na figura 3.25.

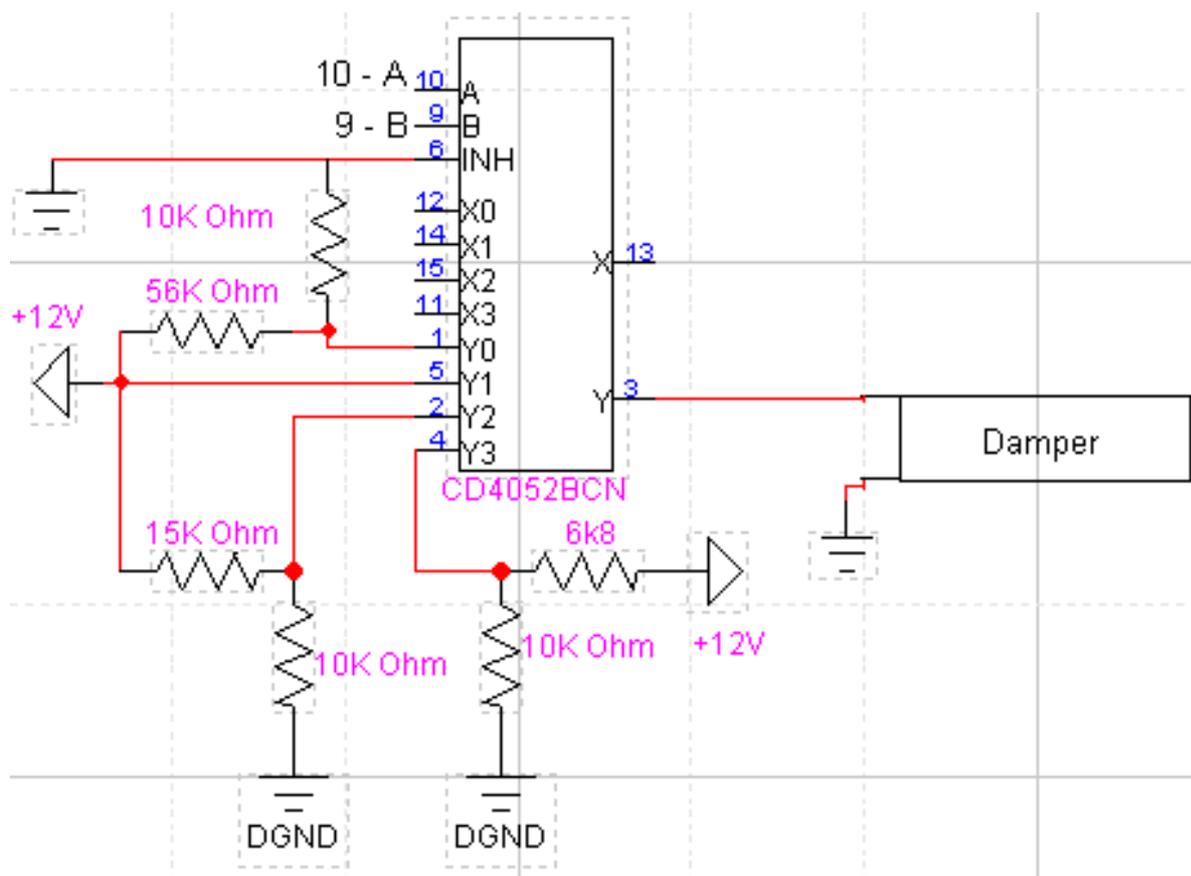


Figura 3.25– Esquema elétrico dos divisores resistivos do atuador proporcional do damper [23].

O multiplexador tem sua saída selecionada com base no estado dos pinos 30 (B) e 31 (A) do ZigBit. Assim, através do supervisor é possível obter os valores de saídas da tabela 3.5 abaixo, obtidos na própria placa confeccionada para o ar-condicionado.

Tabela 3.5 – bits A e B, canal do multiplexador escolhido e as tensões de saída para o *damper*.

<b>B</b>	<b>A</b>	<b>CANAL ON</b>	<b>TENSÃO PARA ATUAÇÃO</b>
0	0	0	1,79 V
0	1	1	11,9 V
1	0	2	4,79 V
1	1	3	7,09 V

De acordo com o nível de tensão o *damper* ficará em um estado, sendo que 2V corresponde a fechado e 10 V a aberto. A placa como foi implementada é apresentada na figura 3.25.

### **3.3.10 DIAGRAMA DE COMANDO E DIAGRAMA ELÉTRICO**

Os diagramas abaixo mostram de forma esquemática as ligações elétricas do sistema de ar-condicionado proposto. Foi implementada uma chave seletora de três estágios que permitiram uma flexibilidade na operação do ar-condicionado sendo que um dos estados é o desligado, um corresponde ao controlador FullGauge (instalado pelo montador do ar-condicionado) e um último estágio que corresponde à seleção do sistema de controle desenvolvido ao longo desse trabalho.

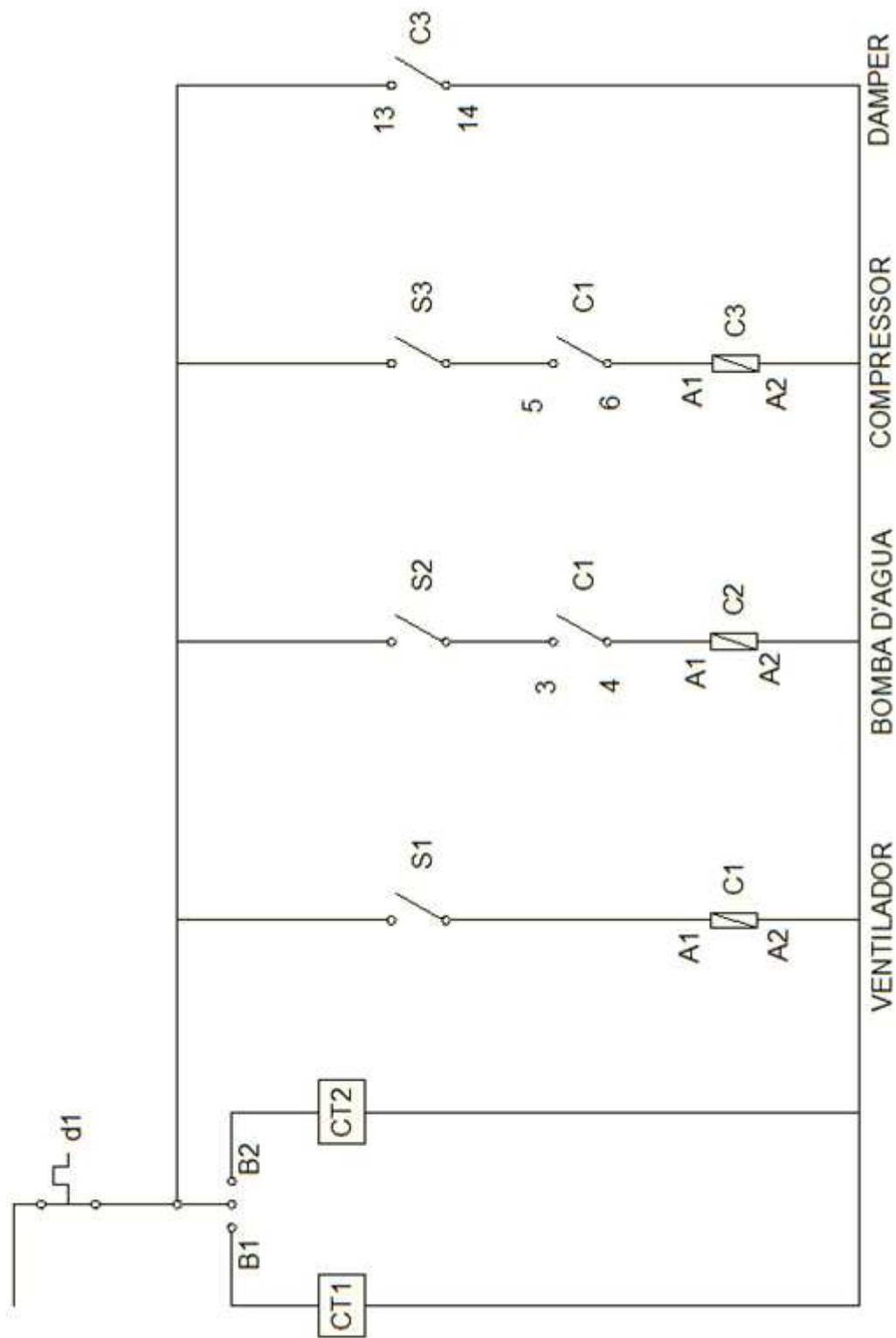


Figura 3.26 - Diagrama de comando.

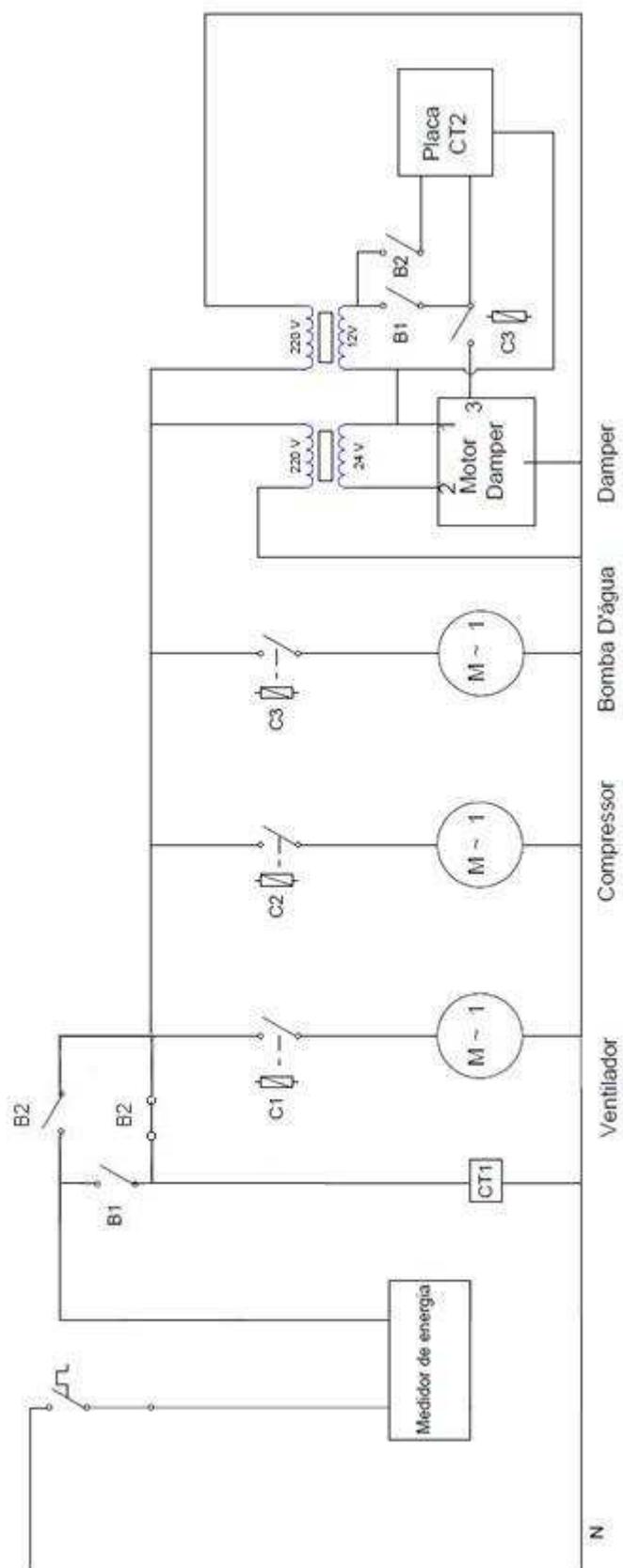


Figura 3.27 - Diagrama elétrico.

## 4. RESULTADOS

*Neste capítulo são apresentadas as placas do hardware, a estratégias de controle e análise dos dados obtidos.*

### 4.1 HARDWARE

Como o módulo de atuação obteve-se a placa mostrada na figura 4.1.



Figura 4.1 – Placa do módulo atuador e controle do *damper*.

O soquete ao centro serve para conectar o *breakout* com o ZigBit, o qual é mostrado na figura 4.2.



Figura 4.2 – *Breakout*.

A seguir é apresentado a Figura 4.3 do módulo de controle com o sensor de velocidade do ar acoplado. Esse módulo ficará no centro do laboratório e coletará dados para o supervisor implementar as estratégias de controle.



Figura 4.3 – Módulo de Controle

Abaixo pode-se ver as conexões para o anemômetro que está na lateral esquerda da imagem.

## 4.2 ESTRATÉGIA DE CONTROLE

### Comportamento da umidade durante o dia

A umidade relativa do ar, em geral, possui comportamento característico. A umidade relativa varia de forma contrária a temperatura, ou seja, durante as horas de maior temperatura do dia há uma redução na umidade relativa do ar. Em dias normais de verão, tipicamente, as maiores temperaturas encontram-se entre as 10 e 16 horas, e nesse mesmo horário tem-se as menores medidas diárias de umidade relativa do ar. Após esse intervalo a umidade relativa volta a subir, devido à redução da temperatura ao longo do dia. O processo acima descrito pode ser observado no gráfico abaixo que representa este comportamento no mês de agosto na cidade de Brasília com dados históricos coletados por estações meteorológicas referentes aos últimos 30 anos,[19].

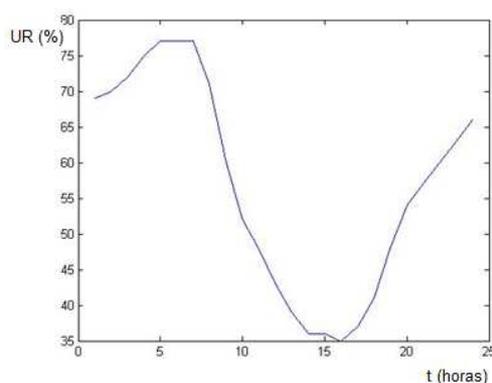


Figura 4.4 – Temperatura de dia típico do mês de agosto.

Levando em consideração o comportamento descrito acima se elaborou diferentes estratégias de controle, com o intuito de economizar energia e obter conforto térmico.

#### 4.2.1 ESTRATÉGIA 1

O fluxograma abaixo representa uma estratégia de controle implementada. As variáveis B,C,D e V correspondem, respectivamente, a bomba d'água, compressor, damper e ventilador. O Setpoint1 é o setpoint de temperatura, enquanto que o Setpoint2 é o de umidade. As variáveis t, T e UR correspondem, respectivamente, ao tempo em segundos, a temperatura em °C e a umidade relativa.

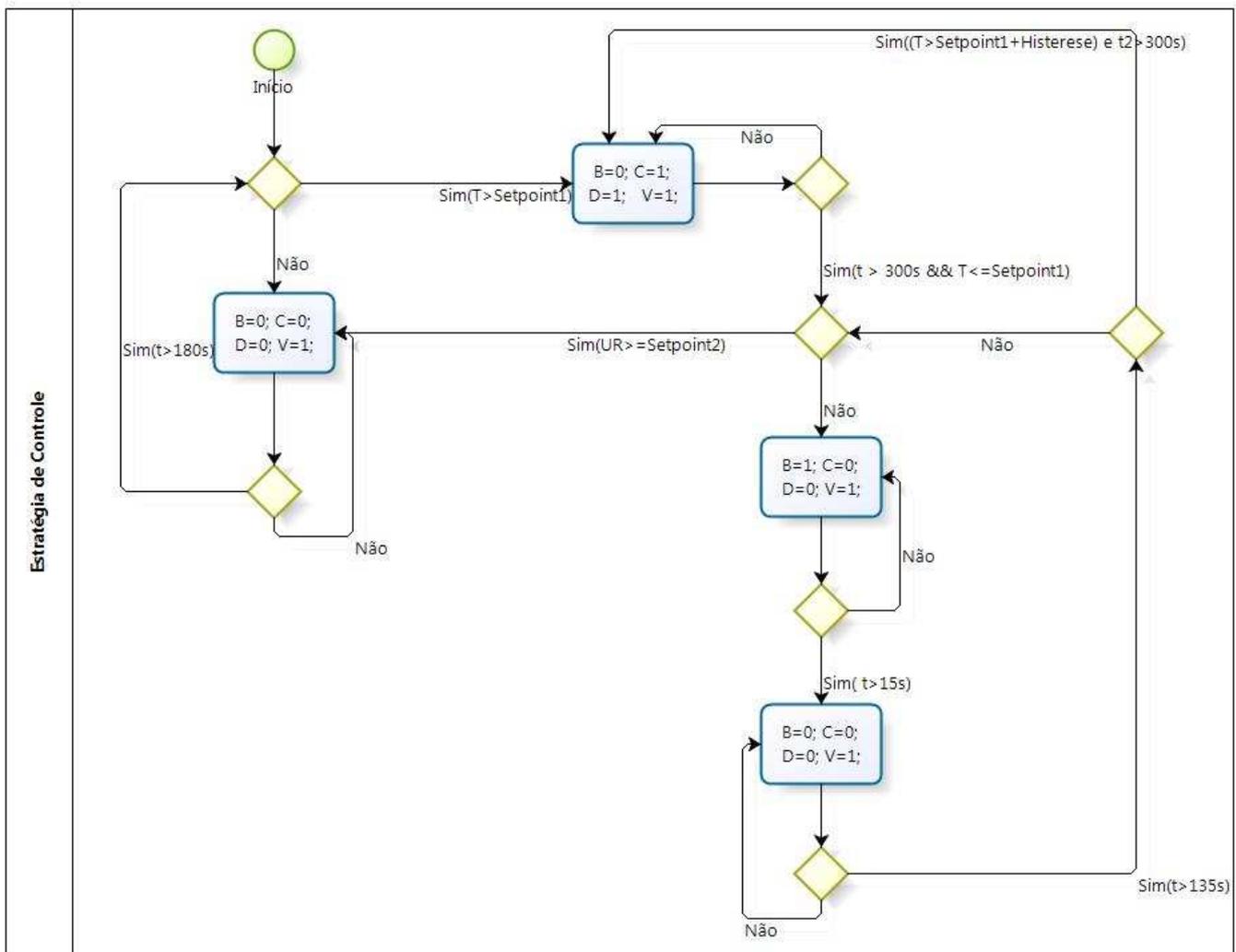


Figura 4.5 – Fluxograma da estratégia de controle

Ao iniciar o controlador ele verifica a temperatura do ambiente. Caso a temperatura esteja abaixo do Setpoint1 o sistema abre o *damper* e liga o ventilador recirculando o ar no ambiente e permanece, assim, durante 180 segundos, após esse tempo faz uma nova verificação. No caso contrário, temperatura acima do Setpoint1, o sistema abre o *damper*, liga o ventilador e o compressor. A fim de evitar chaveamentos rápidos no compressor, o que reduziria a sua vida útil o controle restringe o acionamento em um tempo mínimo de 5

minutos. Com o compressor ligado o sistema verifica se a temperatura está abaixo do Setpoint1, caso não esteja o sistema permanece no mesmo estado. Porém, caso esteja acima do Setpoint1, o controle verifica a umidade. Se estiver acima do Setpoint2 de umidade o damper é aberto e o ventilador ligado, retornando ao estado inicial. Caso a umidade esteja abaixo do Setpoint2, a bomba d'água e o ventilador são acionados durante 15 segundos, após esse tempo permanece apenas o ventilador. O sistema fica nesse estado durante 135 segundos. Após esse tempo o sistema verifica a temperatura, caso esteja acima do Setpoint1+Histerese e o compressor tenha sido desligado a mais de 300 segundos o sistema retorna ao estado de compressor ligado, em caso contrário volta a verificar se a umidade está abaixo do Setpoint2 fechando o ciclo.

#### **4.2.2 ESTRATÉGIA 2**

Essa estratégia é um controle liga/desliga com histerese. Basicamente o sistema receberá o SPT (*Set Point* de Temperatura) e o SPU (*Set Point* de Umidade), tentará fazer com que o sistema atue de forma a permanecer próximo aos *setpoints*.

Nessa estratégia, a primeira coisa que o sistema faz é ligar o ventilador. Depois disso, o sistema analisa a temperatura e a umidade do ambiente. Então, sem a temperatura for maior do que o SPT + 0,7 o sistema liga o compressor para refrigerar o ambiente. Se a temperatura for menor que SPT-0,5 o compressor é desligado. Pode-se verificar uma histerese de 1,3 °C. Tal fato é utilizado para se evitar excesso de chaveamento no compressor, o que limitaria a vida deste dispositivo consideravelmente.

Ao mesmo tempo realiza-se o controle de umidade que é feito através de rotina de umidificação. A pergunta que o sistema faz é se a umidade está abaixo do SPU-7, se a resposta for positiva, então a rotina de umidificação é ativada. A rotina consiste em um ciclo no qual a bomba d'água é acionada por 15 s em um período de 150 s. A rotina de umidificação é encerrada se a U chegar a SPU+3. Dessa forma trabalha-se com uma histerese de 10 % na Umidade Relativa do ar.

### **4.3 DADOS E ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS**

#### **4.3.1 DADOS DO SUPERVISÓRIO**

O *Action View* foi usado para controle do ambiente e para aquisição de dados. O controlador foi carregado às 11:26 da manhã. Abaixo tem-se o gráfico informativo do valor das variáveis ao longo de um dia com intensa movimentação no LARA.



Figura 4.6 – Dados fornecidos pelo supervisório, com o ambiente submetido a estratégia 1.

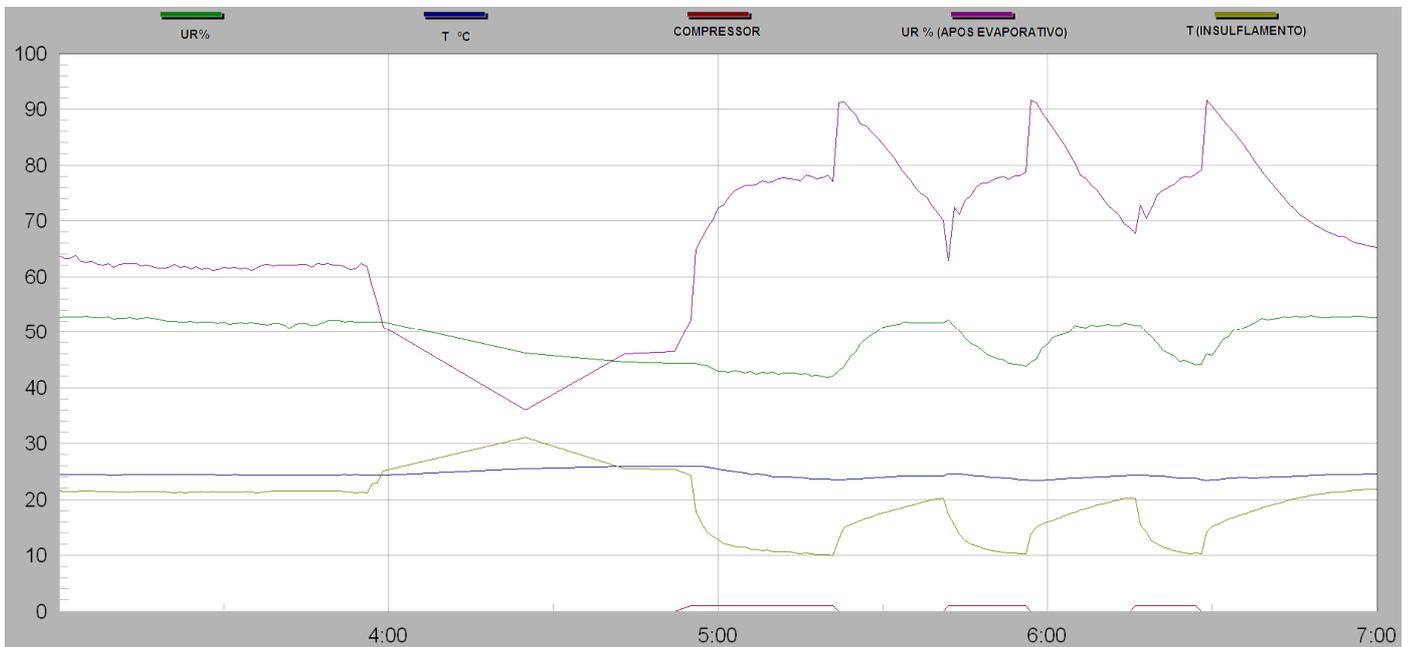


Figura 4.7 – Dados fornecidos pelo supervisório, com o ambiente submetido a estratégia 2.

Esses dados estão disponíveis em formato de tabela.

### 4.3.2 ANÁLISE DOS DADOS

De acordo com o controlador projetado, a estratégia consistiu em usar o sistema de compressão para se chegar a um patamar de temperatura de conforto de 23,6°C e, logo em seguida, tentar manter o nível de temperatura e umidade dentro do padrão de conforto através da utilização do resfriamento evaporativo no maior tempo possível de forma a promover economia de energia.

Através do gráfico pode-se observar o perfeito funcionamento do controlador. No dia do teste verificou-se uma intensa movimentação de pessoas no laboratório, com expressivo

número de computadores e dispositivos ligados. Tudo isso colaborou para um aumento da carga térmica do ambiente, principalmente no período da tarde em que se tem temperaturas externas altas além da incidência do sol em uma das paredes do ambiente. Como descrito, anteriormente, o sistema não atende sozinho aos picos de carga térmica do ambiente. Contudo o sistema conseguiu manter a temperatura dentro dos padrões de conforto com a intensa utilização do sistema convencional de compressão, confirmando uma correta escolha do controlador entre o sistema de compressão e evaporativo.

Nos momentos em que o compressor é desligado a rotina de umidificação que é caracterizada pelo acionamento da bomba d'água por 15s e pelo desligamento da mesma por 135s é ativada. Tais períodos de umidificação mostraram-se bastante eficientes, tendo em vista a umidade após o painel evaporativo que ficou flutuando entre 85 % e 95 %.

No início do controle com a estratégia 2 pode-se verificar que o sistema está desligado. Próximo as 4 horas o controlador foi acionado. Nesse momento, o sistema permite a entrada de ar externo, como a umidade da sala está maior do que set SPU+3. O ar-externo é insuflado para a sala sem sofrer resfriamento evaporativo, ou seja, a rotina de umidificação está desativada. Como o ar-externo está seco verifica-se uma diminuição da umidade relativa da sala até o momento em que o compressor é ligado (próximo das 5). Devido ao fato de a umidade estar abaixo do SPU-7 a rotina de umidificação é ligada.

Pode-se verificar que a rotina de umidificação funciona corretamente, uma vez que a umidade sempre está dentro do intervalo do setpoint +- histereses.

Com relação ao controle da temperatura, pode-se verificar que o sistema se comportou de forma satisfatória, tendo ligado o compressor quando a temperatura da sala estava no seu limite máximo e sempre obedecendo os intervalos de SPT +-histereses.

Pode-se fazer considerações sobre a eficiência do resfriamento evaporativo. Considerando que a temperatura do ar externo é baixa e que o ar está seco, verifica-se que no princípio, a entrada de ar externo provoca uma diminuição na umidade relativa após o painel, e como a umidade ambiente é alta a rotina de umidificação está desativada, tem-se portanto a secagem do painel que passa a perder eficiência de resfriamento. Quando a umidade relativa da sala diminui tem-se a ativação da rotina de umidificação. A rotina de umidificação molha o painel e isso faz com que a refrigeração evaporativa volte a ter eficiência.

### **4.3.3 ANÁLISE DE PMV**

Para análise de PMV usou-se o sensor de globo QUESTemp 36, esse sensor faz a gravação de dados em sua memória. Em seguida, o dispositivo pode ser conectado a um computador para realizar o download dos dados. O software fornecido pelo fabricante

possibilita a criação de gráficos com os dados, tais gráficos serão usados na análise de conforto.



Figura 4.8 –QUESTemp 36.

Esse sensor fornece todos os dados ambientais necessários para o cálculo do PMV. Tais dados são apresentados no gráfico da figura 4.9.



Figura 4.9 – Dados fornecidos pelo QUESTemp36, com o ambiente submetido a estratégia de controle 1.

Para verificar a adequação do projeto às normas, calculou-se o PMV para as situações de máxima, mínima e média.

Com os dados acima e assumindo nível de atividade  $70 \text{ W/m}^2$ , fator de vestimenta de 1 clo e velocidade do ar nula. Utiliza-se o software Analysis desenvolvido pelo LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da UFSC.

Foram encontrados os seguintes valores:

Tabela 4.1 – Análise do PMV para o estratégia 1.

	Mínimo	Médio	Máximo
$T_{bs}$ (° C)	22,6	23	23,5
$T_{rm}$ (° C)	22,4	22,5	23,6
UR (%)	40	45	54
PMV	0,1	0,3	0,4
PPD (%)	5,4	6,9	9,5

Para o ambiente submetido à estratégia de controle 1 obteve-se os dados do gráfico abaixo:

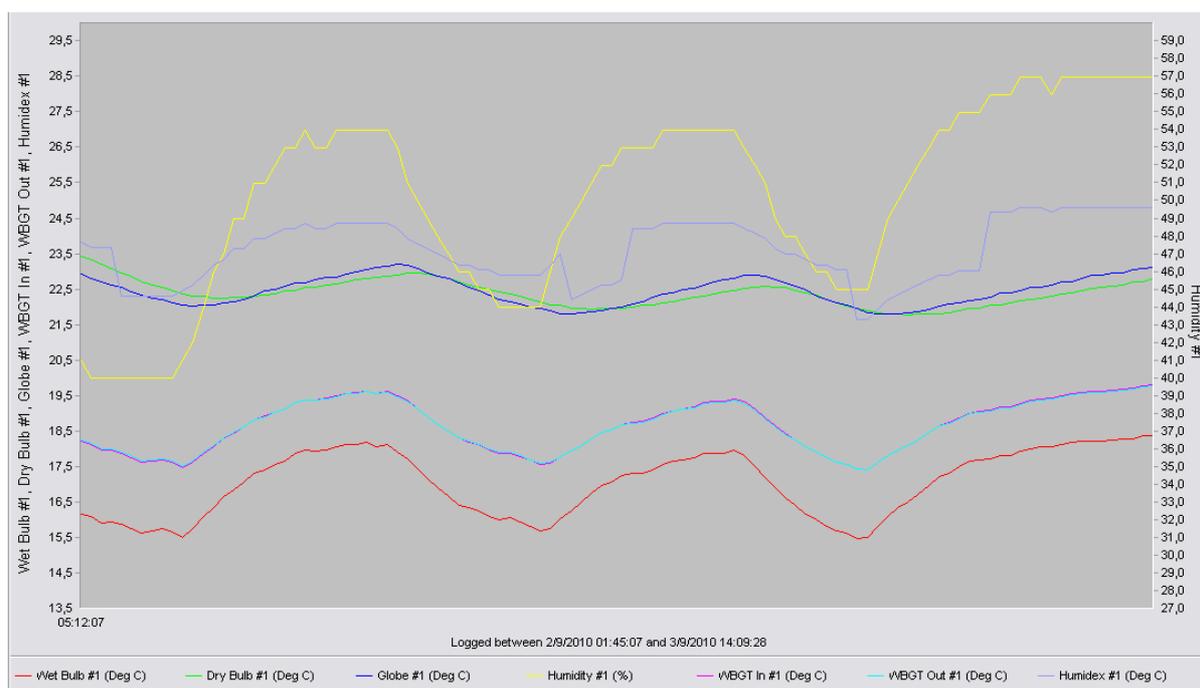


Figura 4.10 – Dados fornecidos pelo QUESTemp36, com o ambiente submetido a estratégia de controle 2.

Com os dados acima e assumindo nível de atividade  $70 \text{ W/m}^2$ , fator de vestimenta de 1 clo e velocidade do ar nula, calculou-se o PMV usando o software Aalisy, obtendo os dados abaixo:

Tabela 4.2 – Análise do PMV para estratégia 2.

	Mínimo	Médio	Máximo
$T_{bs}$ (° C)	22	22,5	23,2
$T_{rm}$ (° C)	21,8	22,3	22,7
UR (%)	49	45	40
PMV	0	0,1	0,2
PPD (%)	5,2	5,7	6,6

Para as duas estratégias verificou-se a adequação das condições às normas brasileiras que permitem um percentual de insatisfeitos (PPD) de no máximo 10%.

Durante uma tarde, foram coletados os dados pelo sensor de globo sem o sistema de ar-condicionado, nessa situação obteve-se os dados da figura 4.11.

Tabela 4.3 – Análise do PMV para sistema desligado.

$T_{bs}$ (° C)	27
$T_{rm}$ (° C)	27,5
UR (%)	37,5
PMV	1,2
PPD (%)	35,7

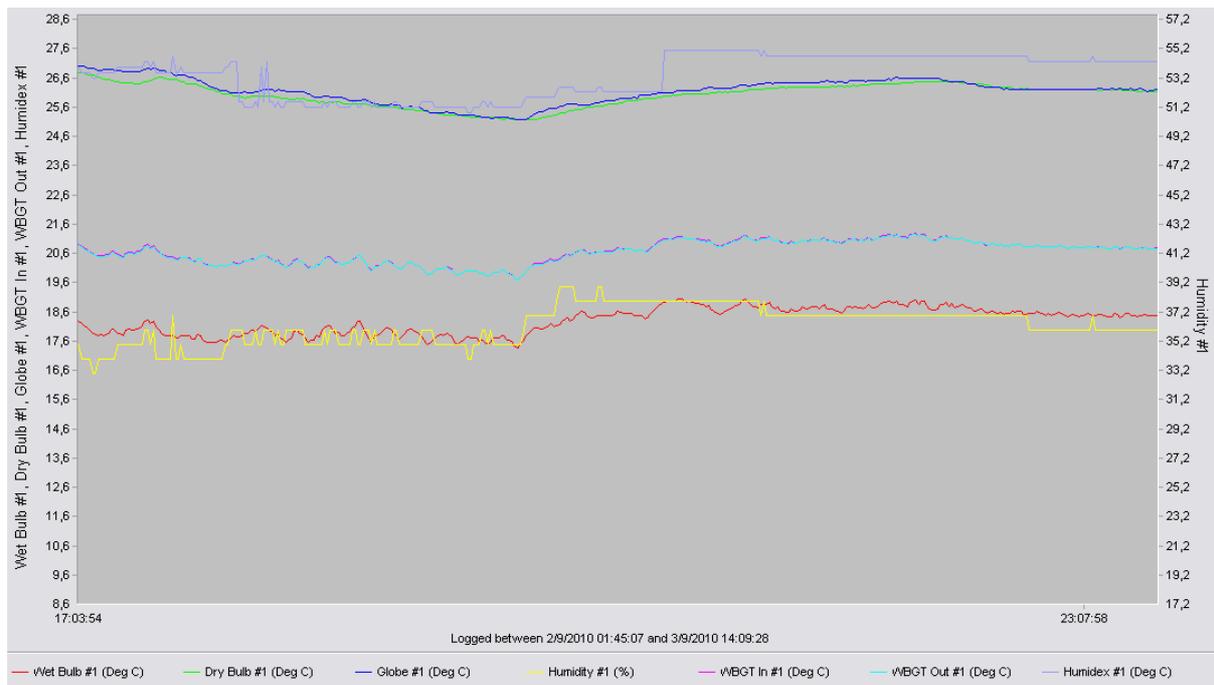


Figura 4.11 – Dados fornecidos pelo QUESTemp36, para o ambiente com o sistema desligado.

Através da tabela 4.3 pode-se verificar que quando o sistema está desligado há uma situação de desconforto, a qual é caracterizada por um PMV de 1,2 e por um PPD de 35,7%.

Tal fato mostra que a situação de sistema desligado não atende as normas brasileiras de projeto de sistemas de ar-condicionado uma vez que o percentual de insatisfeitos (PPD) é maior do que 10%.

## 5. CONCLUSÃO

*Neste capítulo é apresentado o fechamento do trabalho, bem como perspectivas para trabalhos futuros.*

Dois estágios de resfriamento ampliam as possibilidades de atender às condições de conforto térmico conhecidas, como também reduz o consumo de energia. A utilização de dois estágios de resfriamento possibilita temperaturas de insuflamento menores o que reduz o fluxo de ar necessário.

As possibilidades de atender às condições de conforto térmico foram ampliadas com o sistema híbrido. A utilização desse sistema possibilitou tanto o controle de temperatura como o de umidade.

O hardware desenvolvido mostrou-se robusto. Durante as várias horas de teste não foi observado nenhuma falha de acionamento. Também, a rede ZigBee mostrou-se eficiente na transmissão de dados dos sensores e atuadores do sistema, havendo raríssimas interrupções da rede.

As estratégias de controle obtiveram conforto térmico. Verificou-se pela análise do PMV que as duas estratégias atenderam às normas vigentes para conforto em sistemas HVAC, mesmo nos momentos onde há uma maior atividade, como também, nos horários mais quentes do dia.

O resfriamento evaporativo apresentou bom funcionamento, principalmente, em períodos secos, uma vez que tal sistema aumenta a umidade relativa, renova e promove o resfriamento do ar.

Nesse sentido, a utilização do sistema híbrido apresentou benefícios significativos para a climatização e condicionamento de ar.

Como perspectivas para trabalhos futuros sugere-se implementar controles mais robustos, levando em consideração variáveis como eficiência do processo evaporativo, PMV. Adicionar a tecnologia RFID aos próximos controles. Interligar toda a rede *wireless* do LARA, concentrando o controle em um único módulo coordenador. Refazer e melhorar o hardware utilizando tecnologia de circuito impresso e smd. Utilizar conjunto de sensores para calcular o PMV instantâneo e sem aproximações. Obter função de transferência do sistema híbrido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CASTRO, Wagner Pereira. **Projeto de Sistemas de Climatização por Resfriamento Evaporativo**. 2003. 74 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.
- [2] FLORES, José Luís Olmos. **Sistema Híbrido de Climatização Visando Conforto Térmico e Eficiência Energética**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- [3] PIMENTA, João M. D. **Ar condicionado: Psicrometria**. Agosto a Dezembro de 2009. 123 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.
- [4] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook fundamentals**. 3 ed. 2006.
- [5] PIMENTA, João. **Refrigeração: O Ciclo de Refrigeração por Compressão a Vapor**. Maio a Setembro de 2010. 86 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.
- [6] JAYAMAHA, Lal. **Energy-efficient building systems: green strategies for operation and maintenance**. 1 ed. McGrawHill, 2007. 288 p.
- [7] MCQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. **Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design**. 6 ed. Willey, 2005. 608 p.
- [8] PIMENTA, João M. D. **Ar condicionado: Conforto térmico**. Agosto a Dezembro de 2009. 100 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.
- [9] FARAHANI, Shahin. **ZigBee wireless networks and transceivers**. 3 ed. Newnes, 2008. 360 p.
- [10] < [http://www.specifications.nl/zigbee/zigbeeimages/zigbee\\_spectrum.jpg](http://www.specifications.nl/zigbee/zigbeeimages/zigbee_spectrum.jpg) > Acesso em: 30/08/2010.
- [12] WILSON, Jon S. **Sensor technology handbook**. 1 ed. Elsevier, 2005. 704 p.
- [11] MECATRÔNICA ATUAL. **Escolhendo sensores de temperatura**. São Paulo. 2008. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/182>>. Acesso em: 15/07/2010.
- [13] BENARD, C.J. **Handbook of Fluid Flowmetering, Trade & Technical Press Limited** 1ª Ed. 1989. 422 pag.
- [14] OTIMOAR LTDA. **Planilha para cálculo simplificado da carga térmica segundo NBR5410**, 2009, Brasil.
- [15] KARASHIMA, M. Thiago. **Avaliação de Diferentes Ferramentas para o Cálculo de Carga Térmica e sua Aplicação na Análise Energética de Edifícios**. 2006. 82 f. Trabalho

de Graduação em Engenharia Mecânica – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

[16] ENERGY PLUS REFERENCE. *Engineering Reference*. Documentação que acompanha o software Energy Plus(E+). Software e Documentação Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg\\_form.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg_form.cfm)>

[17]GOOGLE EARTH. Disponível em: <[earth.google.com](http://earth.google.com)> Acesso em: 31/08/2010.

[18]INTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Base de Dados Meteorologicos. <[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)>.

[19]ENERGY PLUS. *Weather Data Brasília*. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/BRA\\_Brasilia.833780\\_SWERA.epw](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/3_south_america_wmo_region_3/BRA_Brasilia.833780_SWERA.epw)> Acesso em: 03/10/2009.

[20]ORDENES, Martín, et al. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visual-DOE-3.1**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

[21] SENSIRION. Datasheet do sensor de temperatura e umidade SHT71. <[www.sensirion.com/en/download/humiditysensor/SHT71x\\_SHTx.htm](http://www.sensirion.com/en/download/humiditysensor/SHT71x_SHTx.htm)>

[22] DWYER INSTRUMENTS. **Manual Series 641 Air Velocity Transmitter**. Disponível em:<[http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group\\_ID=519](http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group_ID=519)> Acesso em: 31/08/2010.

[23] DUARTE, J. U. J. & NOVAIS, M. C. C., (2010). Implementação e controle de um sistema de ar condicionado hibrido utilizando bacnet sobre zigbee. Trabalho de graduação em engenharia mecatrônica, Publicação FT.TG-xx, Faculdade de Tecnologia, UnB, Brasília, DF, 130 P.

## A.1 FOTOS DO SISTEMA



Figura A.1.1 – Fotos do Sistema.

## A.2 CÓDIGOS DO SISTEMA DE CONTROLE EM VISUAL BASIC SCRIPT

```
if opcao = 4 then

    temperatura = Var.Value("MODULO2","AI01")
    PMVC = Var.Value("CONTROLE","PMVM")
    URC = Var.Value("CONTROLE","UCRM")
    Var.Value("CONTROLE","COUNT2") =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT2") + 5)

    select case Var.Value("CONTROLE","STATE1")

    case 0
        'msgbox "case 0"

        if ( temperatura >= 23.6 ) then
't01
            Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 1
            Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
            breakout = 1
        end if

        if ( temperatura < 23.6 ) then
't04
            Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 4
            Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
            breakout = 1
        end if

    case 1
        'msgbox "case 1"

        Var.Value("CONTROLE","COUNT") =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT") + 5)
```

```

        if(Var.Value("MODULO3","BO03") <> 1 and getout <> 1) then
'ligar ventilador
            Call Command("MODULO3","BO03_L",6,,1,,false,false)
            getout = 1
        end if

        if(Var.Value("MODULO3","BO02") <> 1 and getout <> 1) then
'ligar compressor
            Call Command("MODULO3","BO02_L",6,,1,,false,false)

            getout = 1
        end if

        if(Var.Value("MODULO3","BO01") <> 0) then
            Call Command("MODULO3","BO01_D",6,,0,,false,false)
'desligar bomba dagua
            getout = 1
        end if

        if ( (URC<70) and (temperatura <= 23.6) and
(Var.Value("CONTROLE","COUNT")>300) ) then 't12
            Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 2
            Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
            Var.Value("CONTROLE","COUNT2") = 0
            breakout = 1
        end if

        if ( (URC>=70) and (temperatura <= 23.6) and
(Var.Value("CONTROLE","COUNT")>300) ) then 't14
            Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 4
            Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
            Var.Value("CONTROLE","COUNT2") = 0
            breakout = 1

```

```

end if

case 2
  'msgbox "case 2"

  Var.Value("CONTROLE","COUNT") =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT") + 5)

  if(Var.Value("MODULO3","BO03") <> 1 and getout <> 1) then
'ligar ventilador
    Call Command("MODULO3","BO03_L",6,,1,,false,false)
    getout = 1
  end if

  if(Var.Value("MODULO3","BO02") <> 0 and getout <> 1) then
'desligar compressor
    Call Command("MODULO3","BO02_D",6,,0,,false,false)

    getout = 1
  end if

  if( (Var.Value("MODULO3","BO01") = 0) and (getout <> 1) ) then
'ligar bomba dagua
    getout = 1
    Call Command("MODULO3","BO01_L",6,,1,,false,false)
    Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0

  end if

  if ( (Var.Value("CONTROLE","COUNT") > 12) ) then
    Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 3
't23
    Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
    breakout = 1

```

```

end if

case 3
  'msgbox "case 3"

  Var.Value("CONTROLE","COUNT") =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT") + 5)

  if(Var.Value("MODULO3","BO03") <> 1 and getout <> 1) then
'ligar ventilador
    Call Command("MODULO3","BO03_L",6,,1,,false,false)
    getout = 1
  end if

  if(Var.Value("MODULO3","BO02") <> 0 and getout <> 1) then
'desligar compressor
    Call Command("MODULO3","BO02_D",6,,0,,false,false)

    getout = 1
  end if

  if(Var.Value("MODULO3","BO01") <> 0 and getout <> 1 ) then
    Call Command("MODULO3","BO01_D",6,,0,,false,false)
'desligar bomba dagua
    getout = 1
  end if

  if ( (temperatura > 24.6) and (URC<70) and
(Var.Value("CONTROLE","COUNT2")>300) ) then 't31
    Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 1
    Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
    breakout = 1
  end if

```

```

        if ( (temperatura <= 24.6) and (URC<70) and
(Var.Value("CONTROLE","COUNT")>135) ) then          't32
            Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 2
            Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
            breakout = 1
        end if

        if ( (URC>=70) and (Var.Value("CONTROLE","COUNT")>135) )
then
            't34
            Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 4
            Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
            breakout = 1
        end if

    case 4
        'msgbox "case 4"

        Var.Value("CONTROLE","COUNT")                =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT") + 5)

        if(Var.Value("MODULO3","BO03") <> 1 and getout <> 1) then
'ligar ventilador
            Call Command("MODULO3","BO03_L",6,,1,,false,false)
            getout = 1
        end if

        if(Var.Value("MODULO3","BO02") <> 0 and getout <> 1) then
'desligar compressor
            Call Command("MODULO3","BO02_D",6,,0,,false,false)

            getout = 1
        end if

        if(Var.Value("MODULO3","BO01") <> 0) then

```

```

        Call      Command("MODULO3","BO01_D",6,,0,,false,false)
'desligar bomba dagua
        getout = 1
    end if

    if ( (Var.Value("CONTROLE","COUNT")>180) ) then
't40
        Var.Value("CONTROLE","STATE1") = 0
        Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
        breakout = 1
    end if

    end Select
end if

if opcao = 5 then

        Var.Value("CONTROLE","COUNT") =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT") + 5)
        Var.Value("CONTROLE","COUNT2") =
(Var.Value("CONTROLE","COUNT2") + 5)

        temperatura = Var.Value("MODULO2","AI01")
        PMVC = Var.Value("CONTROLE","PMVM")
        URC = Var.Value("CONTROLE","UCRM")

    if (temperatura > 24.3) then

        if(Var.Value("MODULO3","BO03") <> 1 and getout <> 1) then      'ligar
ventilador

            Call Command("MODULO3","BO03_L",6,,1,,false,false)
            getout = 1

```

```

end if

if(Var.Value("MODULO3","BO02") <> 1 and getout <> 1) then      'ligar
compressor
    Call Command("MODULO3","BO02_L",6,,1,,false,false)

    getout = 1
end if

end if

if (temperatura < 23.5) then

    if(Var.Value("MODULO3","BO02") <> 0 and getout <> 1) then
'desligar compressor
        Call    Command("MODULO3","BO02_D",6,,0,,false,false)

        getout = 1
    end if

    if (temperatura < 23) then
        if(Var.Value("MODULO3","BO03") <> 1 and getout <> 1) then
'desligar ventilador
            Call
Command("MODULO3","BO03_D",6,,0,,false,false)
            getout = 1
        end if
    end if
end if

if (URC<55) then

```

```
if( (Var.Value("MODULO3","BO01") = 0) and
(Var.Value("CONTROLE","ESPERA") = 0) and (getout <> 1) ) then
```

```
    getout = 1
```

```
    Call Command("MODULO3","BO01_L",6,,1,,false,false)
```

```
    Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
```

```
end if
```

```
if( (Var.Value("CONTROLE","COUNT") > 9) and
(Var.Value("CONTROLE","ESPERA") = 0) and (getout <> 1) ) then
```

```
    if(Var.Value("MODULO3","BO01") <> 0) then
```

```
        Call
```

```
Command("MODULO3","BO01_D",6,,0,,false,false)
```

```
        getout = 1
```

```
        Var.Value("CONTROLE","COUNT2") = 0
```

```
        Var.Value("CONTROLE","ESPERA") = 1
```

```
    end if
```

```
end if
```

```
if ( (Var.Value("CONTROLE","ESPERA") = 1) and (getout <> 1) )
then
```

```
    if(Var.Value("MODULO3","BO01") = 1) then
```

```
        Call
```

```
Command("MODULO3","BO01_D",6,,0,,false,false)
```

```
    end if
```

```
end if
```

```
if ( Var.Value("CONTROLE","COUNT2") > 90 and (getout <> 1) )
then
```

```
    getout = 1
```

```
Var.Value("CONTROLE","COUNT2") = 0
Var.Value("CONTROLE","COUNT") = 0
Var.Value("CONTROLE","ESPERA") = 0

end if

else

if(Var.Value("MODULO3","BO01") <> 0) then
    Call Command("MODULO3","BO01_D",6,,0,false,false)
'desligar bomba dagua
    getout = 1
end if

end if
```