

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ**

**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**MATHEUS YUDI MAKISHI**

**RICARDO ESTEVAM DA SILVA**

**VÍTOR QUEIROZ DE ARAÚJO**

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO EM UMA  
BANCADA DE SISTEMA DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO -  
GIGA DE TESTE**

Santo André - SP  
2018

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ**

**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**MATHEUS YUDI MAKISHI**

**RICARDO ESTEVAM DA SILVA**

**VÍTOR QUEIROZ DE ARAÚJO**

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO EM UMA  
BANCADA DE SISTEMA DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO -  
GIGA DE TESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Mr. Luiz Vasco Puglia  
Prof. Mr. Luís Roberto Kanashiro

Santo André - SP  
2018


**LISTA DE PRESENÇA**

SANTO ANDRÉ, 10 DE DEZEMBRO DE 2018.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA  
"Implantação de um sistema eletrônico em uma bancada de  
sistema de ar condicionado automotivo – Giga de teste" DOS  
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROF. LUIZ VASCO PUGLIA 

MEMBROS:

PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO PROF. ERIKI TAKARA **ALUNOS:**MATHEUS YUDI MAKISHI RICARDO ESTEVAM DA SILVA VITOR QUEIROZ DE ARAÚJO 

## FICHA CATALOGRÁFICA

M235i

Makishi, Matheus Yudi

Implantação de um sistema eletrônico em uma bancada de ar comprimido – giga de teste / Matheus Yudi Makishi, Ricardo Estevam da Silva, Vitor Queiroz de Araújo. - Santo André, 2018. – 61f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Msc. Luiz Vasco Puglia

1. Eletrônica. 2. Controle. 3. Motor. 4. Giga de teste. 5. Ar comprimido. 6. Sistema eletrônico. 7. Tecnologia. 8. Setor automotivo. I. Silva, Ricardo Estevam da II. Araújo, Vitor Queiroz de III. Implantação de um sistema eletrônico em uma bancada de ar comprimido – giga de teste.

621.389

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer a todos os nossos professores da FATEC Santo André, por cada ensinamento, aprendizado durante esses 3 anos de curso e aos nossos pais e familiares pelo apoio e compreensão que nos deram ao longo dessa jornada.

Ao nosso professor orientador Luiz Vasco Puglia, também ao co-orientador Luís Roberto Kanashiro, e ao professor da disciplina de trabalho de graduação, Fernando Garup Dalbo por todo suporte prestado, todas as dicas, sugestões, e ensinamentos em sala de aula que foram fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos nossos colegas da faculdade, pela união, cumplicidade e por toda a apoio para ficar diversas horas na faculdade, principalmente aos sábados à tarde, fazendo atividades e trabalhos, que com certeza, graças a estes fatores aumentou a união do grupo. E aos funcionários da FATEC Flavson, Álvaro, Maurício, Eduardo, ao pessoal da secretaria e a todos que de alguma forma nos ajudaram nesse projeto.

Também agradecemos especialmente a Natache Zafred, gerente de marketing da Metaltex Ltda, que atendeu ao nosso pedido, e firmando uma parceria, a empresa nos doou um Inversor de Frequência, que foi fundamental ao nosso projeto.

*“A todo corpo docente, corpo discente, familiares e amigos.”*

## RESUMO

Este trabalho mostra a implementação de um sistema eletrônico em uma bancada de ar condicionado. O projeto realizou a substituição dos controles mecânicos do ar condicionado por um controle eletrônico, elaborado com o software da National Instruments, o Labview. A bancada de ar condicionado, vulgo Giga de testes, foi desenvolvida pelos ex-alunos Jorge Henrique dos Santos Ferreira, e Henrique Gustavo Monteiro Corsi, apresentado como trabalho de conclusão de curso da FATEC Santo André, no segundo semestre de 2017. A giga tem como finalidade ser um instrumento didático para utilização na disciplina de ar condicionado. A finalidade do projeto foi desenvolvimento do controle eletrônico da Giga, através das novas tendências no setor automotivo e da evolução da tecnologia, foram implementadas melhorias do controle do sistema. Na bancada está instalado um motor elétrico com finalidade de simular um motor de um veículo, foi implantado um inversor de frequência, doado pela Metaltex Ltda, com a função de controlar a rotação do motor, afim de simular a operação de um motor veicular.

**PALAVRAS CHAVES:** Giga de Testes, Controle Eletrônico, Ar Condicionado.

## **ABSTRACT**

This work shows the implementation of an electronic system in an air conditioning stand. The project performed the replacement of the mechanical controls of the air conditioning by an electronic control, elaborated with the software of National Instruments, Labview. The air conditioning bench, commonly known as Giga, was developed by Jorge Henrique dos Santos Ferreira and Henrique Gustavo Monteiro Corsi, presented as a course completion work by FATEC Santo André in the second half of 2017. Giga has to be a teaching instrument for use in the subject of air conditioning. The purpose of the project was to develop electronic control of Giga, through the new trends in the automotive sector and the evolution of technology, improvements were implemented in the control of the system. In the workbench is installed an electric motor to simulate a motor of a vehicle, a frequency inverter, donated by Metaltex Ltda, was implemented with the function of controlling the rotation of the motor, in order to simulate the operation of a vehicular.

**KEYWORDS:** Giga Test, Electronic Control, Air Conditioning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Packard Town Car (1939) – O primeiro carro com o sistema de ar condicionado desenvolvido pela Packard Motor Car .....	14
Figura 2 - Ciclo de Carnot.....	21
Figura 3 - Ciclo de refrigeração do ar condicionado.....	22
Figura 4 - Linhas de alta pressão e baixa pressão.....	24
Figura 5 - Analogia entre o ciclo de refrigeração e o diagrama de Molier.....	25
Figura 6 - Diagrama de Molier - Ciclo de refrigeração.....	26
Figura 7 - Demonstração no hipotálamo no cérebro do ser humano.....	27
Figura 8 - Inversor de frequência doado pela Metaltex .....	31
Figura 9 - Giga de teste com a contatora.....	33
Figura 10 - Instalação do inversor de frequência a giga de teste .....	34
Figura 11 - Sistemas de Acionamento e Controle .....	35
Figura 12 - Caixa de ar do ar condicionado do Mercedes Benz Atego 1719 ..	36
Figura 13 - Front Painel do programa desenvolvido em Labview.....	37
Figura 14 - Block Diagram do Labview .....	38
Figura 15 - Inicialização das Variáveis.....	39
Figura 16 - Inicialização da comunicação .....	40
Figura 17 - Comparação dos valores.....	41
Figura 18 - Atuação dos Relês .....	41
Figura 19 - Parte Elétrica Anterior.....	47
Figura 20 - Parte Elétrica - Atual.....	47
Figura 21 - Giga de Testes sem os controles manuais de acionamento. ....	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -Dados de metabolismo de acordo com a norma ISO 7730 .....	29
Quadro 2 - Especificação do Motor Elétrico Eberle, Modelo B80 B2.....	42
Quadro 3 - Rotações do motor e compressor através da carga.....	44
Quadro 4 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 1 .....	50
Quadro 5 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 2 .....	50
Quadro 6 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 3 .....	51
Quadro 7 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 4 .....	51
Quadro 8 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 5 .....	52
Quadro 9 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 6 .....	52
Quadro 10 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 7 ...	53
Quadro 11 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 8 ...	53
Quadro 12 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 9 ...	54
Quadro 13 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 10 .	54
Quadro 14 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 11 .	55
Quadro 15 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 12 .	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ASHRAE</b>	<i>Associação americana de engenheiros de aquecimento, refrigeração e ar condicionado.</i>
<b>PMV</b>	<i>Voto Médio Estimado</i>
<b>PPD</b>	<i>Porcentagem estimada de insatisfeitos</i>
<b>MET</b>	<i>Metabolismo</i>
<b>CLO</b>	<i>Vestimenta</i>
<b>RPM</b>	<i>Rotação por Minuto</i>
<b>RPS</b>	<i>Rotação por segundo</i>
<b>Hz</b>	<i>Hertz – Unidade para frequência</i>
<b>ABNT</b>	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
<b>SNC</b>	<i>Sistema Nervoso Central</i>
<b>MB</b>	<i>Mercedes Benz</i>
<b>XXI</b>	<i>Número 21 em algarismos romanos.</i>

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	11
SUMÁRIO.....	12
1. INTRODUÇÃO .....	14
1.1. Motivação.....	16
1.2. Objetivos.....	16
2. CONFORTO TÉRMICO.....	17
2.1. ISO 7730.....	20
2.2. ASHRAE .....	20
3. CICLO DE REFRIGERAÇÃO .....	20
3.1. Ciclo de Carnot .....	20
3.2. Componentes do Ar Condicionado.....	22
3.3. Funcionamento dos Componentes no ciclo de refrigeração. ....	22
4. INTERAÇÃO TÉRMICA DO HOMEM E O MEIO AMBIENTE.....	26
4.1. Metabolismo.....	28
4.2. Carga Térmica .....	29
5. INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	30
6. BANCADA DE AR CONDICIONADO – GIGA DE TESTE .....	31
6.1. Teste com o Inversor de Frequência .....	32
6.2. Informações coletadas da giga de testes .....	34

6.1. Componentes da Giga de Testes .....	35
7. IMPLEMENTAÇÃO.....	36
7.1. Software.....	36
7.1.1. Labview .....	37
7.1.2. Arduino.....	42
7.2. Motor Elétrico EBERLE B 80 B2 .....	42
7.3. Relação de carga aplicada com a rotação do motor.....	43
7.4. Servo Motor .....	44
7.4.1. TOWERPRO MG995.....	45
7.4.2. Suporte de fixação do servo motor MG995 .....	45
7.4.3. Teste dos servos motores com fixados na giga. ....	46
7.5. Corrigindo problemas encontrados na giga de teste .....	46
7.6. Sensor de Temperatura .....	48
8. TESTE DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA COM UMA CARGA.....	49
8.1. Resultados obtidos pelo teste .....	49
8.1.1. Teste em velocidade mínima.....	49
8.1.2. Teste em velocidade máxima no sistema .....	52
8.1.3. Análise dos testes de eficiência.....	55
9. RESULTADO DO DESENVOLVIMENTO NA GIGA DE TESTES.....	57
9.1. Trabalhos Futuros .....	57
10. CONCLUSÃO .....	59
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

## 1. INTRODUÇÃO

No início dos anos 30 nos EUA, os primeiros sistemas de climatização eram encontrados nos veículos, porém as montadoras não ofereciam esse sistema, e sim, na época, outras empresas que equipavam os veículos, sendo eles os carros de luxo. Nessa mesma época, um sistema de climatização foi adaptado em um Cadillac pela empresa C&C Kelvinator Co. no estado do Texas, EUA. Esse sistema era alimentado por um motor a gasolina de 1,1kW, e possuía uma capacidade de refrigeração de 0,37kW. (MOURA, 2007 – p.14)

“Os primeiros sistemas por compressão de vapor começaram a ser desenvolvidos pela General Motors em 1933, que na época utilizavam como fluido refrigerante o R12.” (Bhatti, 1999)

“O primeiro sistema de climatização automotiva original de fábrica foi lançado pela Packard Motor Car, que além do sistema de refrigeração, possui um sistema de aquecimento. Quase 10 anos depois, em 1941, a General Motors introduziu o sistema de climatização original de fábrica na sua linha de veículos Cadillac.” (Bhatti, 1999)

Figura 1 – Packard Town Car (1939) – O primeiro carro com o sistema de ar condicionado desenvolvido pela Packard Motor Car



Fonte:[http://www.clubedocarroantigo.com.br/ccca\\_m01\\_noticias.asp?cod\\_cli=33&cat=&id=33&acao=detalhes&pagina=3](http://www.clubedocarroantigo.com.br/ccca_m01_noticias.asp?cod_cli=33&cat=&id=33&acao=detalhes&pagina=3) - Acesso em 20/05/2018

As necessidades de ventilação foram, durante séculos, básicas com origem nos fluxos através de aberturas não controladas (frinchas<sup>12</sup> de todo o tipo).” Os caudais de ar, para além de permitirem a renovação do ar, geram também desconforto devido às perdas térmicas, correntes de ar e ainda, no caso de a renovação do ar ser feita através das janelas ou portas, à entrada de pó, detritos ou chuva e diminuição da segurança. (Viegas, 2010)

Considerado um dos sistemas mais importante em veículos, o ar condicionado oferece conforto aos ocupantes do veículo, principalmente em regiões que atingem extremos de temperaturas. No Brasil, como exemplo, boa parte do território possui um clima tropical ou subtropical, ou seja, são regiões que apresentam altas amplitudes térmicas, nesse caso, aumentam o número de exigências para o uso de ar condicionado. Há quem pense que o ar condicionado só é utilizado em condições de temperatura externa altas, com o intuito de diminuir a temperatura interna do veículo. No entanto o sistema de climatização do carro, apresenta muitas utilidades que poucas pessoas conhecem, não só oferecendo conforto aos ocupantes dos veículos, também é um item de segurança, visto que existem utilidades do sistema que são para resguardar a vida, como oferecer melhoria na condição de visibilidade, evitando uma possível colisão.

Neste trabalho, iremos dar continuidade na bancada Giga de Testes, acrescentando melhorias com o objetivo melhorar seu funcionamento, assim tornando mais didática, aumentando sua compreensão, dando segmento no projeto desenvolvido pelos ex-alunos da FATEC Santo André.

Para o controle do motor do ar condicionado utilizaremos um inversor de frequência. Como o motor que está implantado na Giga de Teste gera 2 CV, adicionaremos um inversor de frequência trifásico de 220 V, 5 CV, possuindo uma folga de trabalho para proteger ambos os equipamentos.

O primeiro passo para realizar este trabalho, foi a busca do inversor de frequência. Conversamos com nossos orientadores sobre compra-lo, ao invés disso, foi sugerido entrar em contato com empresas, por conta dos poucos recursos financeiros. Entramos em contatos com empresas, fabricantes e fornecedoras, com a intenção de obter um desconto na compra ou até mesmo a doação de um inversor de frequência para a faculdade.

---

<sup>1</sup> Nos sistemas de ar condicionado, as frinchas são as aletas que saem o ar.

<sup>2</sup> s.f. Fresta, canal muito estreito. – Fonte: Dicionário Dicio - [www.dicio.com.br](http://www.dicio.com.br)

## **1.1. Motivação**

Em pleno século XXI, estamos vivendo a era da tecnologia. E em todos os setores, podemos verificar a presença dela, surgindo novas profissões, e deixando de existir profissões. E no setor automotivo, isso não é diferente. Hoje já possuímos veículos semiautônomos, sistemas Park Assist (Sistema que estaciona o carro sozinho), Veículos Híbridos (Elétrico + Combustão), e também com sistemas de multimídia, por exemplo, capaz de realizar diversas tarefas como reproduzir música, rádio, GPS, informar o status do veículo como: pressão dos pneus, informações sobre o óleo, e status de revisão, e até informações sobre o ar condicionado. Sendo isso, optamos em desenvolver algo eletrônico em um sistema de ar condicionado. Aproveitando a giga de teste de ar condicionado que foi construída por ex-alunos da faculdade, utilizamos para desenvolver o sistema eletrônico em cima dessa giga, tratando de uma ação de controle sobre este equipamento, aprofundado estudos em sistemas de refrigeração e a de condução de ofertar upgrade da giga de testes é o motivador deste trabalho, que poderá gerar muitas continuidades no campo da pesquisa.

## **1.2. Objetivos**

Visto a crescente evolução da tecnologia, e tendo uma maior participação nos veículos, esse trabalho irá mostrar como controlar um sistema de ar condicionado de forma eletrônica. Desde a popularização do sistema de ar condicionado nos veículos no Brasil, o sistema é controlado de forma mecânica, através das chaves rotativas que são controladas pelo motorista ou algum ocupante no veículo. Diferente dos veículos automotivos, os controles utilizados na giga de teste são controles de caminhão, visto que, o projeto inicial dessa giga de teste consiste em um sistema de ar condicionado para caminhões. Sendo assim, os controles dessa giga oferecem funcionalidades a mais do que um sistema de veículo convencional, porém, o funcionamento do sistema é o mesmo. Tratando-se disso, nosso objetivo foi realizar os acionamentos do sistema através de um software, substituindo os controles mecânicos do sistema. Para isso, utilizamos o Software da National Instruments, Labview, para acionar os controles do sistema. Utilizamos servo motores que controlam a abertura dos dampers do sistema. O servo será controlado através do



Labview, no computador, com uma interface com o Arduino. Com isso, estaremos realizando a substituição de acionamentos mecânicos para acionamentos eletrônicos, coisa que já vem sendo implantados nos veículos. O sistema irá controlar a temperatura através de uma carga, independente da variação de rotação do sistema.

## 2. CONFORTO TÉRMICO

Concomitantemente às transformações que sofre a sociedade humana, os ambientes onde o homem se insere também vêm sofrendo alterações, de modo a torná-los mais confortáveis, adaptando-os às necessidades dos seus ocupantes, sendo, para tanto, cada vez mais comum o desenvolvimento de sistemas eficientes, sustentáveis e de baixo custo que controlem tais ambientes (MOURA, 2007; PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

Quando se fala em sistema de ar condicionado, o termo conforto térmico está diretamente relacionado, pois ao usar o ar condicionado queremos automaticamente diminuir ou aumentar a temperatura do ambiente de forma a se sentir confortável, aumentando o nosso bem-estar dentro do automóvel.

De acordo com a norma ASHRAE (Norma 55 da Sociedade Americana dos Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado - 2004) a definição de conforto térmico é "o estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa".

O desconforto térmico é sentido através da discrepância da temperatura do corpo com a temperatura do ambiente, ou seja, tendo a temperatura produzida pelo corpo, havendo a não estabilidade térmica com a temperatura ambiente, sentimos o desconforto térmico.

"A zona de conforto representa aquele ponto no qual a pessoa necessita de consumir a menor quantidade de energia para se adaptar ao ambiente circunstante". (Olygay, 1973)

É bem simples analisar essa situação de desconforto térmico. Se sairmos na rua em um dia quente, típico de verão, e estar vestindo roupas de frio, obviamente sentiremos um desconforto térmico, a qual a sensação de calor ao estar vestindo essas roupas é muito grande. O mesmo acontecerá se em um dia frio, e estar vestindo roupas que normalmente são usadas no verão, no caso de shorts, regatas, etc., que ao invés da sensação de calor, iremos ter uma sensação de frio.

De acordo com Hosni et al. (2003b), “um modelo de conforto térmico completo deve incluir:

- I. Um modelo físico de troca de calor e um modelo de vestimenta.
- II. Um modelo de termorregulação fisiológica do corpo humano.
- III. Um modelo de sensação térmica psicológica para prever a resposta de ser humano ao ambiente baseado nas informações dos modelos anteriores.”

Dentro de um automóvel ocorrem gradientes de temperatura e velocidade do ar significativos, com grandes assimetrias de temperatura e transientes durante o processo de resfriamento e aquecimento. Em um automóvel as saídas de ar geralmente são pequenas e o espaço confinado prejudica a circulação do ar. Além disso, há uma grande incidência solar e uma isolação adicional devido aos bancos. Por essas razões, o uso dos índices PMV (ISO 7730:2005) ou de cartas da ASHRAE (ASHRAE 55:2004) não são os mais apropriados (Madsen et al, 1986; Hosni *et al*, 2003a; Nilsson, 2004).

Associado a problemas de saúde, ressalta-se o problema econômico com o gasto de energia e o ambiental (se tratando de sistemas de ar condicionados convencionais), já que qualquer forma de geração de energia disponibilizada pelas concessionárias sempre está associada à danos ao meio ambiente, seja a geração a partir da energia hidráulica, térmica ou nuclear.

Segundo Osvaldo Lopes (UNESP – 2009) “Nos projetos de ar condicionado observar as normas pertinentes e adotar soluções tecnológicas que minimizam o consumo de energia, destacando-se:

- Sistema de ar condicionado central com utilização de caixas VAV (volume variável de acordo com a variação da carga térmica) e não de VAC (volume constante).

- Controles que incorporem variadores de frequência atuando sobre motores de bombas e ventiladores. Desse modo o consumo será proporcional à carga térmica, que é variável ao longo do dia e dos meses.
- Análise da relação tonelada de refrigeração / consumo de energia elétrica na escolha dos equipamentos, principalmente compressores das centrais de água gelada.
- Atentar ao fator de potência da instalação, corrigindo com bancos de capacitores, se necessário.
- Utilizar tecnologias de termo acumulação e cogeração, onde aplicável.
- Projetar sistemas que garantam condições de temperatura, velocidade do ar e umidade relativa que satisfaçam o conforto térmico e não permitam proliferação de fungos, mofo, vírus e bactérias.”

## 2.1. ISO 7730

A ISO 7730 – Ergonomia do ambiente térmico, é uma norma responsável por avaliar os ambientes termicamente moderados. A primeira versão da norma foi criada em 1984 onde estabeleceu as especificações de condições térmicas, determinação de índices de PMV (*Predicted Mean Vote* – Voto Médio Estimado) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied* – Porcentagem Estimada de Insatisfeitos).

Essa norma, que teve sua última revisão lançada em 2005, tem em sua teoria criada uma associação com a norma ASHRAE (2004), sendo assim, encontram-se informações relacionadas sobre o desconforto térmico e métodos de avaliação de conforto, através de cálculos de índices de porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente (PPD), e índices de voto médio estimado (PMV).

De acordo com essa norma, entre os fatores que atuam sobre as trocas térmicas, encontram-se fatores ambientais e fatores pessoais (ISO 7730).

## 2.2. ASHRAE

A ASHRAE é uma Associação Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, fundada em 1984 que visam desenvolver conhecimentos científicos e tecnológicos na área de aquecimento, refrigeração e climatização.

Segundo a norma, define-se conforto térmico “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. Ou seja, muitas vezes mesmo estando em uma condição termicamente neutra, algumas pessoas ainda não estarão confortáveis termicamente.

Neste trabalho, muitas informações citadas são baseadas na norma ASHRAE, visto que é usada como referência em setores automotivos, e industriais.

## 3. CICLO DE REFRIGERAÇÃO

### 3.1. Ciclo de Carnot

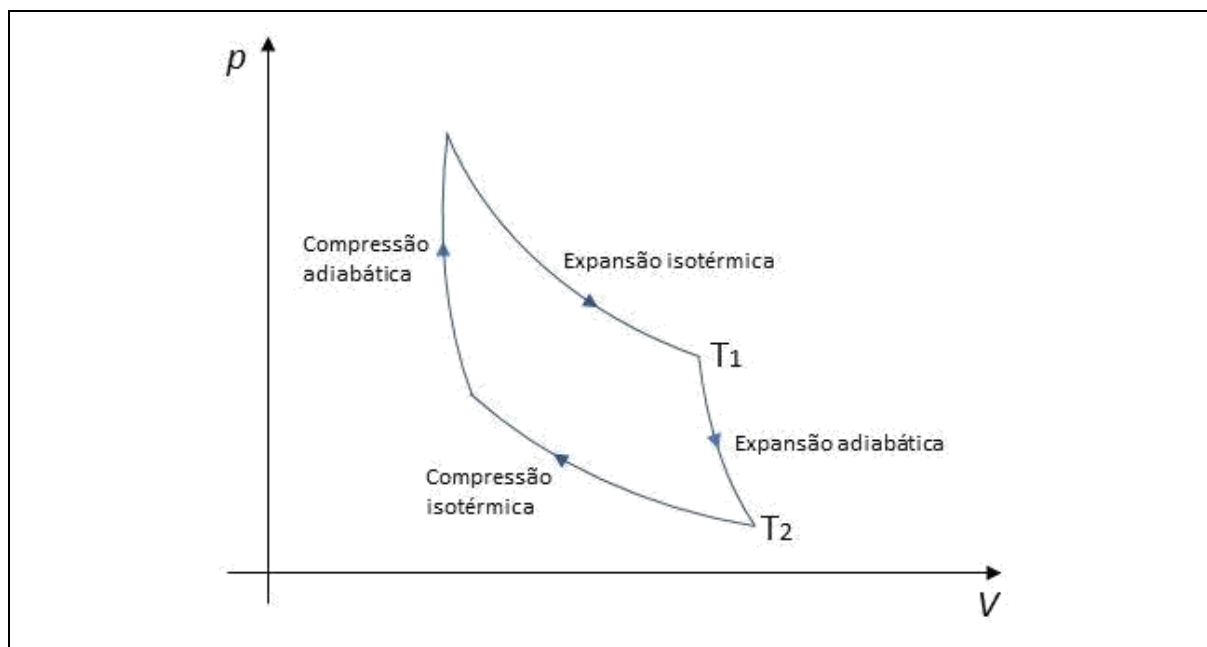
Físico francês, Sadi Carnot nasceu em Paris. Em 1824 publicou sua famosa tese *"Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance"*. Nela estabeleceu as características ideais de uma máquina térmica, que funciona num ciclo

térmico, conhecido com ciclo de Carnot. O ciclo de Carnot, que é reversível, desenvolve-se em quatro fases, duas isotérmicas à temperatura constante e duas adiabáticas, sem trocar de calor com o ambiente. (SAVI, Arlindo Antonio. COLUCCI, Cesar Canesin – Universidade Estadual de Maringá - 2012

Este ciclo utiliza-se do princípio de que todas as máquinas térmicas funcionando a partir do princípio estabelecido, ou seja, através segunda lei da termodinâmica.

Savi comenta que o ciclo de Carnot é de interesse especial por, pelo menos, duas razões. A primeira diz respeito ao Teorema de Carnot, que trata da eficiência de máquinas térmicas. A segunda é o fato que a eficiência do ciclo de Carnot é uma propriedade universal, independente da substância de trabalho utilizada na máquina térmica. Trata-se de uma série de processos reversíveis, consistindo de dois ramos adiabáticos e de dois ramos isotérmicos.

Figura 2 - Ciclo de Carnot



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/ciclo-de-carnot/> - acesso em 21/05/2018

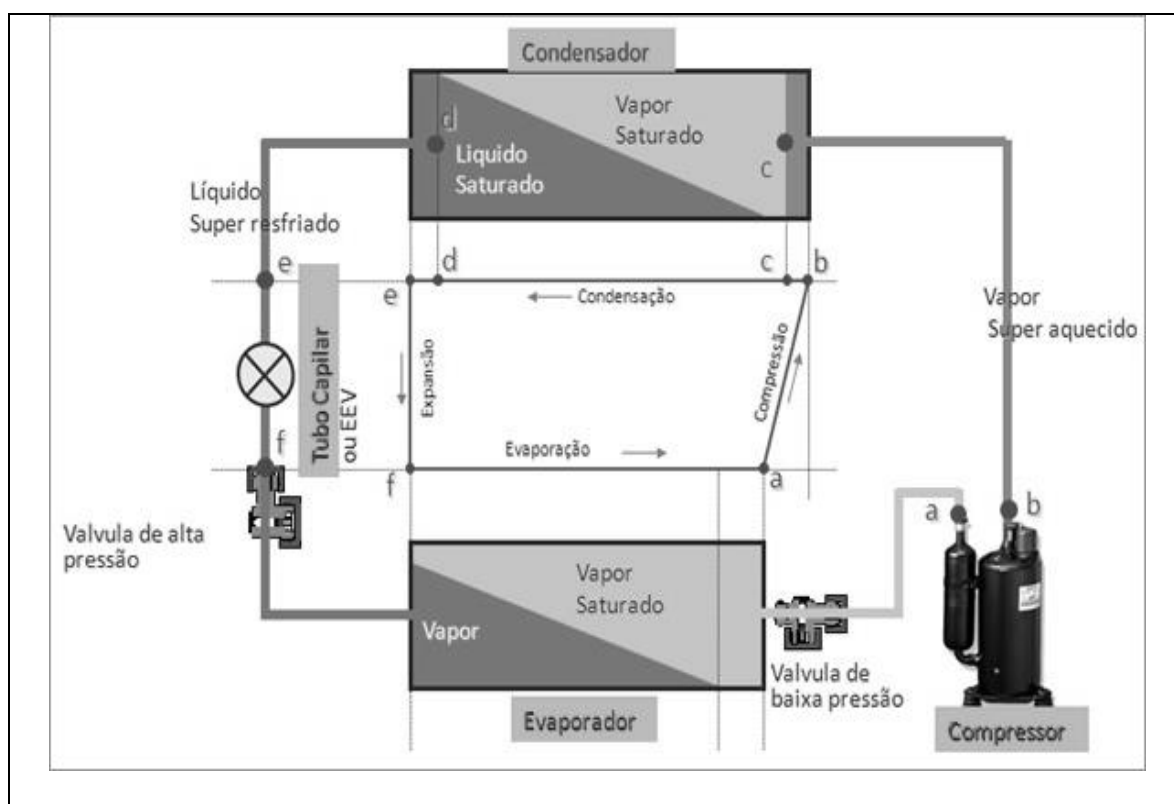
### 3.2. Componentes do Ar Condicionado

O ciclo de refrigeração dos sistemas de ar condicionado se dá através do ciclo de Carnot. É composto por quatro componentes: Compressor, condensador, válvula de expansão, e evaporador.

### 3.3. Funcionamento dos Componentes no ciclo de refrigeração.

A Figura 3 abaixo mostra o diagrama do ciclo de refrigeração do sistema de ar condicionado. Dentro do ciclo, ocorrem as passagens do fluido refrigerante através de tubulações transportando calor, e as mudanças de estado físico desse gás refrigerante, tendo como influência dessas mudanças as pressões alta e baixa no sistema. A explicação do ciclo abaixo refere-se à o ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

Figura 3 - Ciclo de refrigeração do ar condicionado



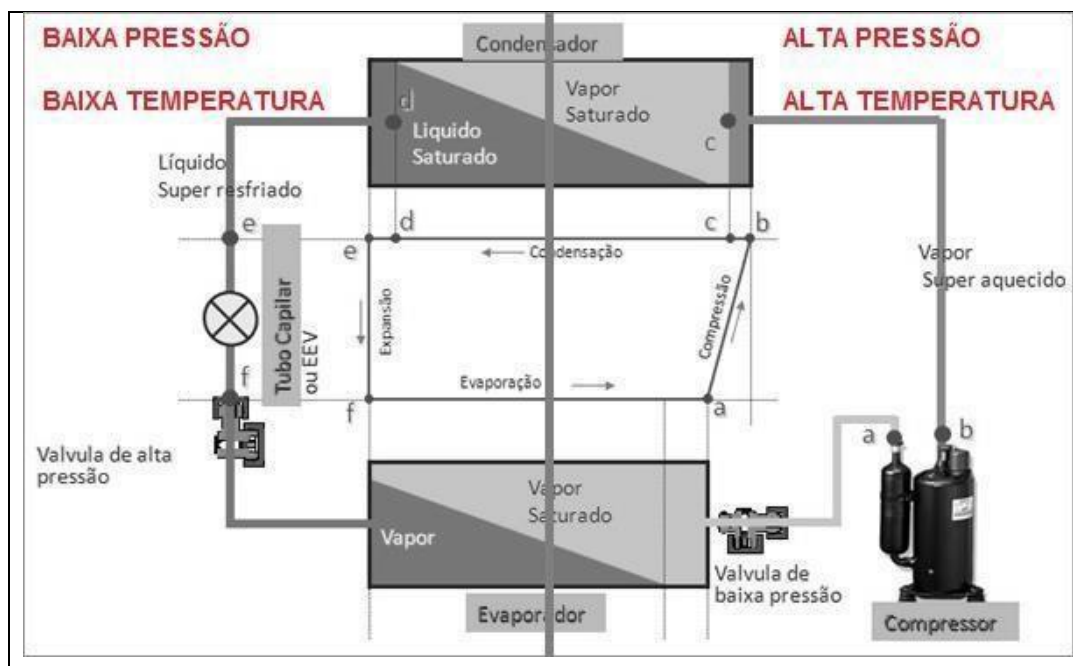
O compressor funciona como um motor constituído por polias que comprimi o vapor do gás refrigerante com a sua pressão e temperatura baixa, transformando na saída desse compressor, em vapor superaquecido, com alta pressão, sendo transportado até o condensador.

O condensador funciona como um trocador de calor que recebe o gás comprimido pelo compressor em uma temperatura alta (mais alta que a temperatura ambiente), que realiza o processo de condensação. Fazendo uma breve analogia, o condensador é bem semelhante à um radiador do carro, tanto no funcionamento quanto esteticamente. O gás comprimido em alta temperatura é dissipado para o ambiente através de aletas localizadas no condensador. O processo de condensação resulta o gás comprimido transformado em estado líquido em alta pressão. Após esse processo, o líquido gerado é transportado até a válvula de expansão.

Na válvula de expansão (também conhecida como tubo capilar), realiza-se a expansão do líquido, tendendo a transformar esse fluido em um gás novamente, ou seja, na saída dessa válvula, teremos uma mistura de estado líquido e estado gasoso. Essa mistura entrará no evaporador, que realizará a troca de calor do fluido. Ao entrar no evaporador, a temperatura do fluido que vem da válvula de expansão é baixa. Esse processo do evaporador resultará na evaporação do líquido da mistura líquido + gás que veio da válvula de expansão, e sequentemente resultará o fluido apenas no estado gasoso, e novamente esse gás entrará no compressor, fechando o ciclo de refrigeração.

De uma forma mais simples, pode-se entender o funcionamento desse diagrama do ciclo de refrigeração dividindo a imagem em duas partes. Sendo assim, o lado esquerdo da imagem, a saída do fluido do condensador até a entrada do /fluido na entrada do evaporador mostra o mesmo em temperaturas baixas e baixa pressão, como foi explicado acima. No lado direito da imagem, a saída do evaporador até a entrada do condensador, o fluido encontra-se em alta pressão e também com a sua temperatura elevada. Assim mostra a Figura 4.

Figura 4 - Linhas de alta pressão e baixa pressão



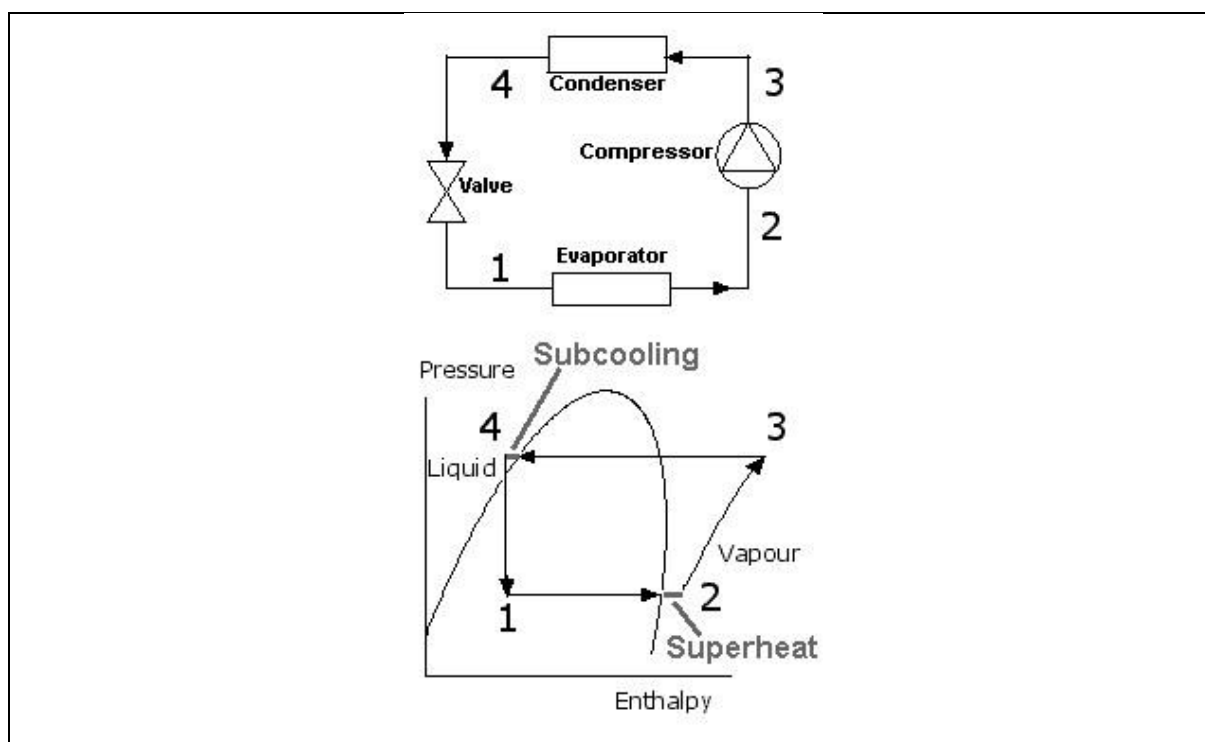
Fonte: <https://www.adias.com.br/duvidas-de-ar-condicionado> - Editado pelo próprio autor.

O ciclo de refrigeração, é adequadamente representado pelo diagrama  $P \times h$  (pressão-entalpia, diagrama de Mollier) e pelo diagrama  $T \times S$  (temperatura-entropia). A *Figura 5* abaixo temos uma relação que define bem o conceito do ciclo de refrigeração explicado acima. Na primeira imagem da *Figura 4*, a representação mostra claramente o ciclo de refrigeração como mostrado na *Figura 5*.

De acordo com Nuno Mesquita (FEUP,2009), “O diagrama de Mollier (Pressão x Entalpia / *Pressure x Enthalpy*), também conhecido como diagrama PH, nos mostra graficamente o ciclo de refrigeração através da área do arco formado entre os eixos x (Entalpia) e y (Pressão) do gráfico. Nessa área, mostram todos os processos físicos que ocorrem no ciclo de refrigeração, que foram abordados acima, no caso o compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador”.



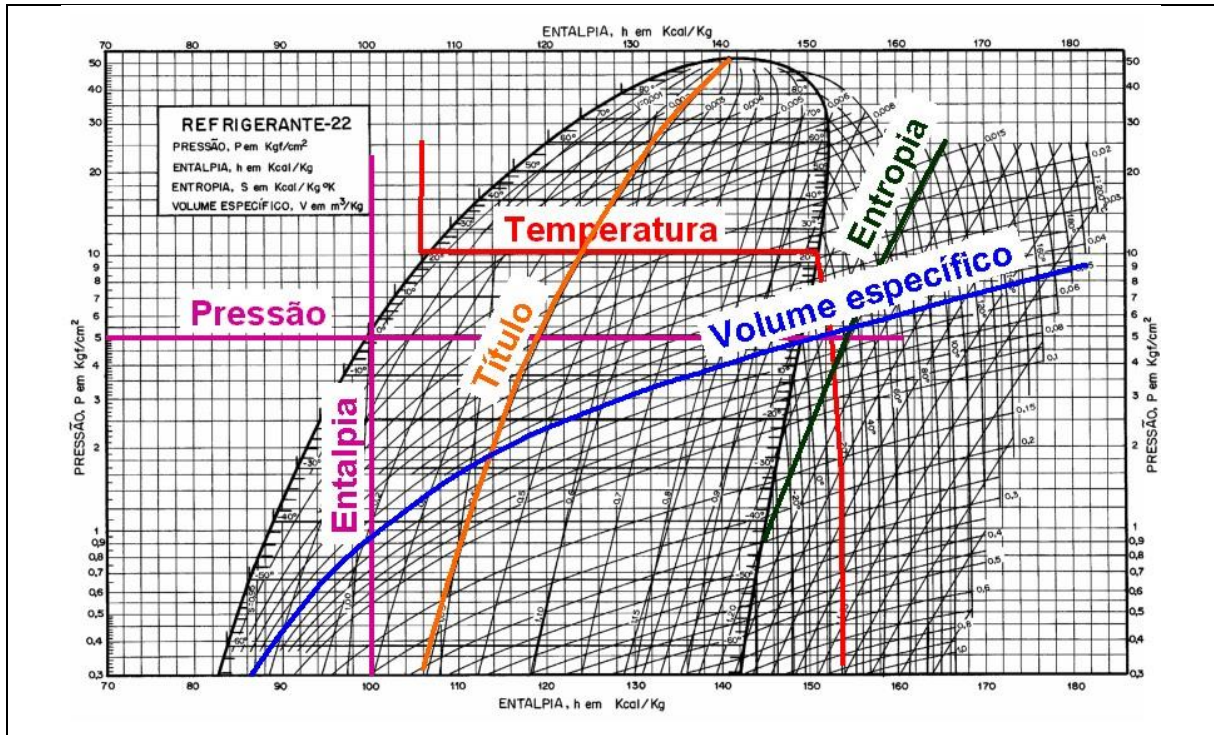
Figura 5 - Analogia entre o ciclo de refrigeração e o diagrama de Molier



Fonte: <http://www.alephzero.co.uk/ref/practcyc.htm> - Acesso em 10/05/2018

Observando o diagrama, a abcissa é a entalpia e a ordenada é a pressão.” Este diagrama é mais conhecido na área da refrigeração, visto que é uma ótima forma de representar o ciclo de refrigeração, permitindo visualizar as diferentes fases dos processos que ocorrem nos vários componentes do sistema.” (MESQUITA, Nuno – FEUP, 2009)

Figura 6 - Diagrama de Molier - Ciclo de refrigeração



Fonte: Controle Térmico de Ambientes, por Fernando França, DE – FEM Unicamp – Acesso em 10/05/2018

#### 4. INTERAÇÃO TÉRMICA DO HOMEM E O MEIO AMBIENTE

Se tratando sobre o conforto térmico, existe um termo também muito importante que está ligado ao conforto térmico: o equilíbrio térmico.

O equilíbrio térmico trata-se na autorregulação da temperatura do corpo com a temperatura sobre o ambiente em que ele está, de uma forma geral, tenta igualar a temperatura de corpo com o ambiente, que antes possuíam temperaturas diferentes.

De acordo com a ISO 7730, “o ambiente é considerado de transição quando há uma brusca alteração na temperatura operativa e isso é percebido instantaneamente, ou quando após o aumento da temperatura operativa e a nova sensação térmica é experimentada imediatamente ou quando a temperatura operativa diminui e a sensação térmica diminui uma unidade de PMV.

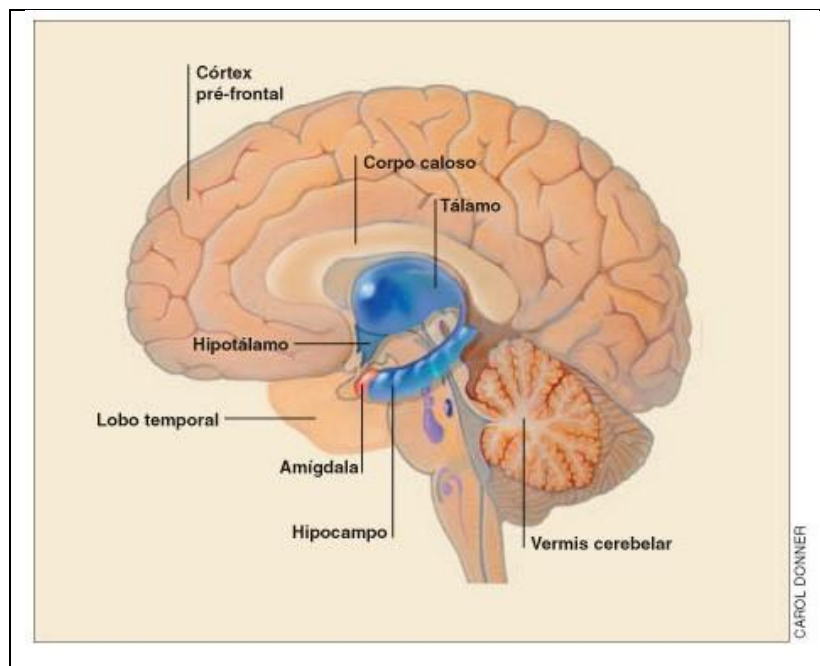
Essa troca de calor entre os corpos pode ser das seguintes formas:

- I. Convecção
- II. Radiação
- III. Evaporação

E para que isso ocorra, temos o processo de transferência de calor de um corpo para outro quando estão em contatos. Tendo esse assunto físico sobre a temperatura no corpo humano, na biologia, quem define a regulação da temperatura no nosso corpo é o “Hipotálamo”

O hipotálamo constitui-se de uma área do nosso cérebro, que possui uma substância cinzenta, que coordena as atividades do nosso sistema nervoso, que regula a homeostase do nosso corpo, mantendo em um estado constante e estável, e através da liberação de hormônios, regula os estados de humor, temperatura do corpo e apetite.

Figura 7 - Demonstração no hipotálamo no cérebro do ser humano



O funcionamento do hipotálamo se dá através do sistema nervoso e sistema endócrino, que são interligados, e a glândula pituitária, que recebe sinais do hipotálamo. Os hormônios produzidos pelo hipotálamo são liberados pelas nossas correntes sanguíneas, e assim resumidamente, teremos os controles no nosso corpo.

Tendo em vista todas essas definições referentes ao conforto térmico, de acordo com o Professor Roberto Lamberts (UFSC, p.15) analisando um sistema de ar condicionado, podemos calcular esse conforto térmico através de fatores humanos, ambientais e complementares.

Fatores Humanos:

- I. Metabolismo - MET
- II. Vestimentas - CLO

Fatores Ambientais:

- I. Velocidade do Ar
- II. Umidade do ar
- III. Temperatura do Ar
- IV. Temperatura relativa

#### **4.1. Metabolismo**

Falando ainda sobre conforto térmico, um outro fator que devemos considerar sobre o conforto térmico é o metabolismo. Essa talvez seja uma palavra em que todos já tenhamos escutado no mundo da saúde, ou do esporte, ou até mesmo escutado a seguinte expressão: “meu metabolismo está lento” ou “meu metabolismo é muito rápido”. Isso porque o metabolismo, de acordo com Marcio Santos Aleixo (UNITAL,2012) “é um conjunto de reações e processos químicos que acontecem dentro dos nossos organismos. Esse processo, basicamente consiste em transformar os nutrientes adquiridos pela nossa alimentação em energia para o nosso corpo, já está, será gasta por nós seres vivos em forma de trabalho, através

da sintetização de substâncias, degradações das moléculas no nosso corpo, atividades físicas, e impulsos nervosos causados pelos nossos neurônios.”

O metabolismo do corpo humano converte continuamente a energia dos alimentos em trabalho e calor, e o calor deve ser dissipado pelo corpo para que a sua temperatura interna permaneça dentro de limites estreitos para evitar o desconforto e o stress térmico. (LI, Fernando – UNESP - 2011)

Na ideia sobre o metabolismo existe a taxa metabólica que consiste em mostrar os valores de metabolismo para cada atividade que o ser humano realiza, sendo <sup>3</sup>MET a unidade dessa taxa metabólica. De acordo com a ISO 7730, na Figura 7 abaixo, mostram alguns valores metabólicos em determinadas atividades.

Quadro 1 -Dados de metabolismo de acordo com a norma ISO 7730

Atividade	Metabolismo	
	W/m <sup>2</sup>	ME T
Reclinado	46	0,8
Sentado relaxado	58	1
Atividade Sedentária (escritório, escola, etc.)	70	1,2
Fazer compras, atividades laboratoriais	93	1,6
Trabalhos domésticos	116	2
Caminhando em local plano a 2km/h	110	1,9
Caminhando em local plano a 3km/h	140	2,4
Caminhando em local plano a 4km/h	165	2,8
Caminhando em local plano a 5km/h	200	3,4

Taxa metabólica para diferentes atividades. Referência: ISO 7730 (2005)

Fonte: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Conforto%20termico.pdf> – Acesso em 28/04/2018

## 4.2. Carga Térmica

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser removida de um ambiente com a finalidade de proporcionar aos ocupantes condições de conforto térmico. O bem-estar de uma pessoa no seu ambiente de trabalho ou em algum lugar público implica na produtividade e na satisfação do indivíduo, logo um correto cálculo de carga térmica é extremamente necessário. (LOPES, Cícero – UFRJ -2013)

<sup>3</sup> 1 MET= 58,2 W/m<sup>2</sup>

Nos veículos, a carga térmica pode variar dependendo de diversos fatores. A utilização do cálculo de carga térmica serve para dimensionar o sistema de refrigeração, onde retire-se cargas que são maiores que as cargas que foram calculadas.

O cálculo de Carga Térmica consiste em determinar a quantidade de calor que deverá ser retirada de um ambiente, dando-lhe condições climáticas ideais para o conforto humano. Este cálculo é realizado conforme a norma ABNT-NB-158, a qual prevê uma forma simplificada e com constantes já definidas para os valores a serem considerados. Para cálculos dos sistemas de ar condicionado, devemos considerar: área de uma pele de uma pessoa em contato com o meio e o MET (que varia conforme a atividade que a pessoa esteja exercendo).

Exemplo:

Considerando a tabela da figura X, consideramos uma pessoa exercendo uma atividade sedentária igual a 1,2 MET e área corporal igual a 1,75m<sup>2</sup>;

$$1,2 \text{ MET} * 58,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1,75\text{m}^2 = 122\text{W}$$

Obs: nesse cálculo deve – se transformar MET em  $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ .

## 5. INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência utilizado em nosso trabalho foi obtido através de uma doação da empresa Metaltex Brasil LTDA, localizada em São Paulo - SP, firmando uma parceria com a empresa e a faculdade, que foi gerada por nós alunos, que entramos em contato com ela e outras empresas a fim de conseguir uma parceria com a faculdade, e em troca uma doação do equipamento. E obtivemos sucesso com a Metaltex Brasil que nos doou o inversor de frequência modelo IF20-205-1 atendendo nossas necessidades.

Figura 8 - Inversor de frequência doado pela Metaltex



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018

O inversor de frequência utilizado em nosso trabalho é um inversor vetorial com capacidade de controle de um motor de 5 CV, com a instalação do inversor é possível variar a rotação do motor, assim alterando a rotação que chega no compressor, simulando uma situação real de funcionamento. Como o compressor é acoplado a polia do motor no automóvel, a rotação não é constante, e o funcionamento do sistema de refrigeração deve se manter estável mesmo com essa variação. Com a instalação do inversor esperamos que seja possível melhorar o funcionamento do projeto e assim aumentar a compreensão do sistema de refrigeração e seu controle para o funcionamento mais próximo do real.

## 6. BANCADA DE AR CONDICIONADO – GIGA DE TESTE

A giga de teste foi desenvolvida pelos alunos Jorge Henrique e Henrique com orientação do professor Luís Roberto Kanashiro, tendo como objetivo simular o funcionamento de um sistema de refrigeração veicular (ar condicionado), feita de forma que seja visível e de fácil entendimento o funcionamento mecânico e também dos fluidos do sistema de climatização, podendo assim detectar as possíveis falhas e criar respectivas soluções, possibilitando aumento do conhecimento em sistemas

de refrigeração veicular, conseguindo até criar outros métodos para aumentar a eficiência do mesmo.

A giga de teste constitui-se de uma estrutura metálica com componentes de um sistema de refrigeração instalados nela, como por exemplo um compressor, evaporador, filtro, válvulas, condensador, sensores de temperatura e painel de controle. O sistema de ar condicionado aplicado na giga foi cedido pela Mercedes-Benz, onde para funcionamento é utilizado o gás refrigerante R134A, e para o gerar a força para compressão do gás e funcionamento do sistema aplicou-se um motor elétrico trifásico de 220 V, 2 CV onde sua rotação máxima é de 3445 RPM @ 60 Hz. Para variar essa rotação foi adicionado o inversor de frequência da Metaltex.

A intenção deste projeto foi melhorar o funcionamento da giga de teste, e aprofundar mais o conhecimento de sistemas de climatização veicular que pode ser passado da faculdade com relação a inovações tecnológicas, visto o que foi abordado no início desse trabalho.

### **6.1. Teste com o Inversor de Frequência**

Com a doação do inversor, foi realizado o primeiro teste com a giga de teste. Esse foi o primeiro contato experimental, a qual foi instalado o inversor de frequência e realizado o primeiro funcionamento do ar condicionado.



Figura 9 - Giga de teste com a contatora



Fonte: Elaborado pelo próprio autor -2018

A giga de teste estava montada com uma contatora, que foi substituída pelo inversor de frequência. Essa contatora foi implantada pelos antigos alunos na giga de teste. Substituindo-a, foi feito testes de controle da rotação do motor controlados pelo inversor.

Após a substituição do equipamento, foi realizado o teste de rotação do motor utilizando o inversor de frequência. O primeiro teste de funcionamento do inversor consistiu em alteração de valores frequência do inversor, que conseqüentemente para cada valor de frequência era resultante em um valor de rotação do motor. A *Figura 10* abaixo mostra o inversor de frequência doado pela Metaltex Ltda. No centro do aparelho, está o display e controles responsáveis por controlar a frequência no motor.

Figura 10 - Instalação do inversor de frequência a giga de teste



Fonte: Elaborado pelo próprio autor - 2018

## 6.2. Informações coletadas da giga de testes

Após a análise de funcionamento do sistema, e instalado o inversor de frequência, foi coletado informações provenientes para a elaboração do controle do ar condicionado. Essas informações de especificações foram retiradas dos equipamentos contidos na giga de testes, como exemplo: Motor Elétrico Eberle, compressor, sensores de temperatura, controles de acionamentos disponíveis. Rotação máxima do compressor: 4478 RPM;

- I. Relação de polias: 1:1,3.
- II. Rotação máxima do Motor Elétrico: 3445 RPM;
- III. 2 sensores de temperatura, do tipo termopar;
- IV. Controles Disponíveis: Controle de direção de ar, temperatura, ventilador para resfriamento do motor, e acionamento do compressor;

Figura 11 - Sistemas de Acionamento e Controle



Fonte: Elaborado pelo próprio autor - 2018

### 6.1. Componentes da Giga de Testes

A giga de testes, com o intuito de mostrar o funcionamento de um sistema de ar condicionado, utiliza peças de um sistema de ar condicionado de um veículo comercial, um caminhão Mercedes Benz.

A caixa de ar do sistema de refrigeração mostrada na *Figura 12* é de um veículo comercial Mercedes Benz Atego 1719.

O condensador utilizado na giga é o mesmo utilizado no Mercedes Benz Accelo 1016.

Figura 12 - Caixa de ar do ar condicionado do Mercedes Benz Atego 1719



Fonte: Elaborado pelo próprio autor - 2018

## 7. IMPLEMENTAÇÃO

Partindo de todo o embasamento teórico, decidimos as implementações e alterações para o controle da giga de teste.

A ideia principal desse trabalho de graduação, é de forma eletrônica gerir todos os controles existentes na giga testes de sistemas de ar condicionado, substituindo o sistema atual, mecânico e analógico.

Será feito o controle do ar condicionado eletronicamente, para isso, foi utilizado o Arduino como interface da giga com o *software*, que foi desenvolvido em Labview. Para o controle da temperatura, foi incluído mais sensores de temperatura para obtenção e comparação de dados. Para o controle de posicionamento das aletas de direcionamento de ar funciona com auxílio de servos motores.

### 7.1. Software

Para realizar o controle eletrônico do sistema de ar condicionado, foi desenvolvido um programa utilizando o software Labview, que é uma plataforma

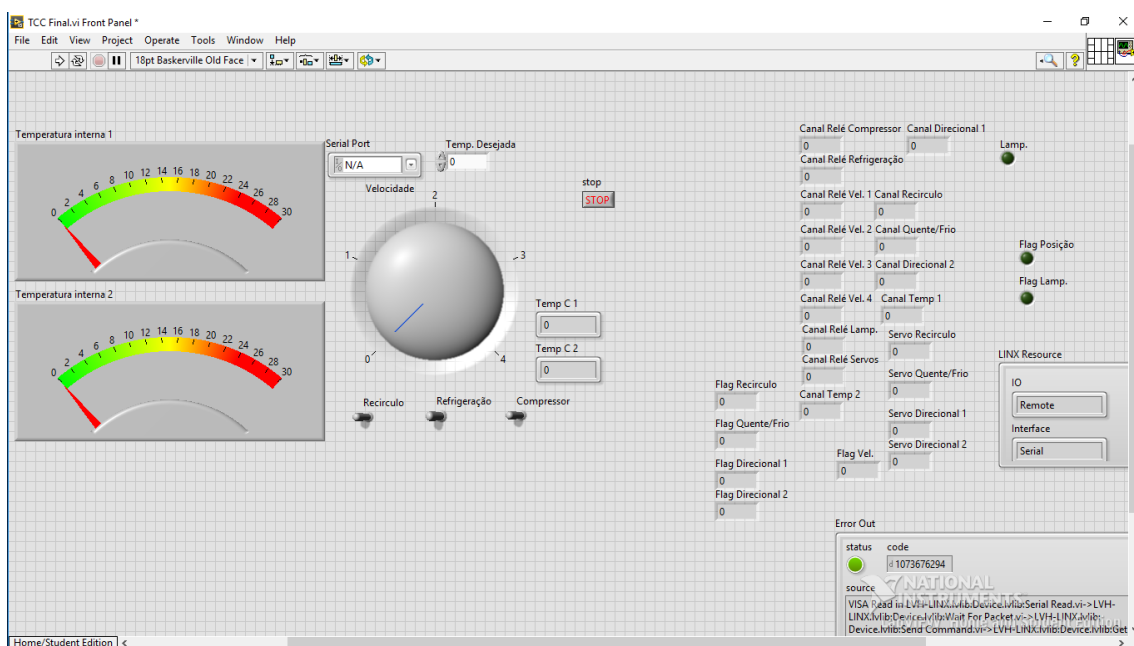
desenvolvida pela National Instruments, juntamente com o Arduino, que realizou a interface com o Labview, gerenciando os comandos dos controles da giga de testes junto com a obtenção dos parâmetros de controle da malha fechada do sistema.

### 7.1.1. Labview

Utilizou-se o Labview pela sua facilidade e compreensão comparado a linguagem C. Visto que poderia ser utilizado quaisquer outras plataformas e linguagens, porém, se tratando de um sistema de ar condicionado, as ferramentas de execução contidas no Labview, que são visuais, de forma que facilita-se o entendimento do usuário, com intuito de se torne mais didático, sendo possível abranger conhecimentos nas disciplinas de Sistemas de Climatização Veicular e Ferramentas Computacionais – Labview.

A versão utilizada desse software é o Labview 2015. Como esse software necessita de comunicação do Arduino, necessitou-se a utilização do *VI Package Manager*, também um software da National Instruments, que possui bibliotecas que permitem o Labview se comunicar com meios externos, como o Arduino.

Figura 13 - Front Painel do programa desenvolvido em Labview

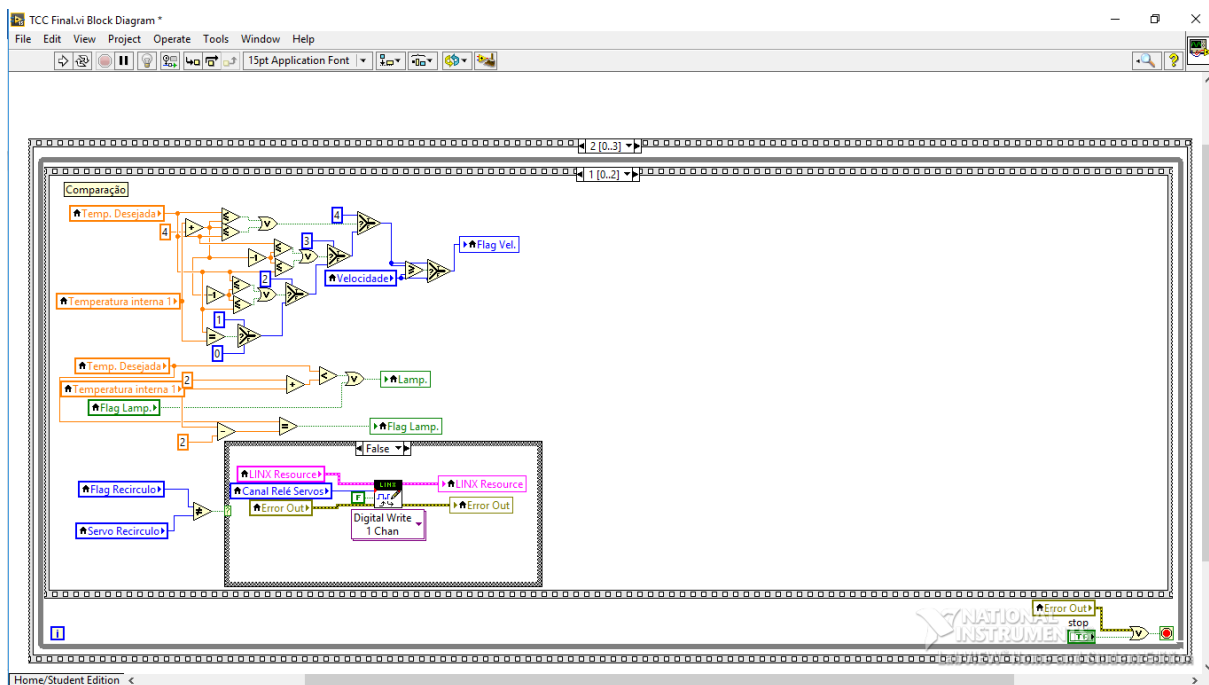


Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.



A Figura 13, mostra o Front Painel do programa desenvolvido no Labview. O *Front Painel* (painel frontal), é o ambiente do Labview onde é possível visualizar o funcionamento do programa que foi desenvolvido, enquanto o *Block Diagram*, é o ambiente do Labview que concentra a programação gráfica desenvolvida no Labview, como mostra parte do programa na Figura 14.

Figura 14 - Block Diagram do Labview



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

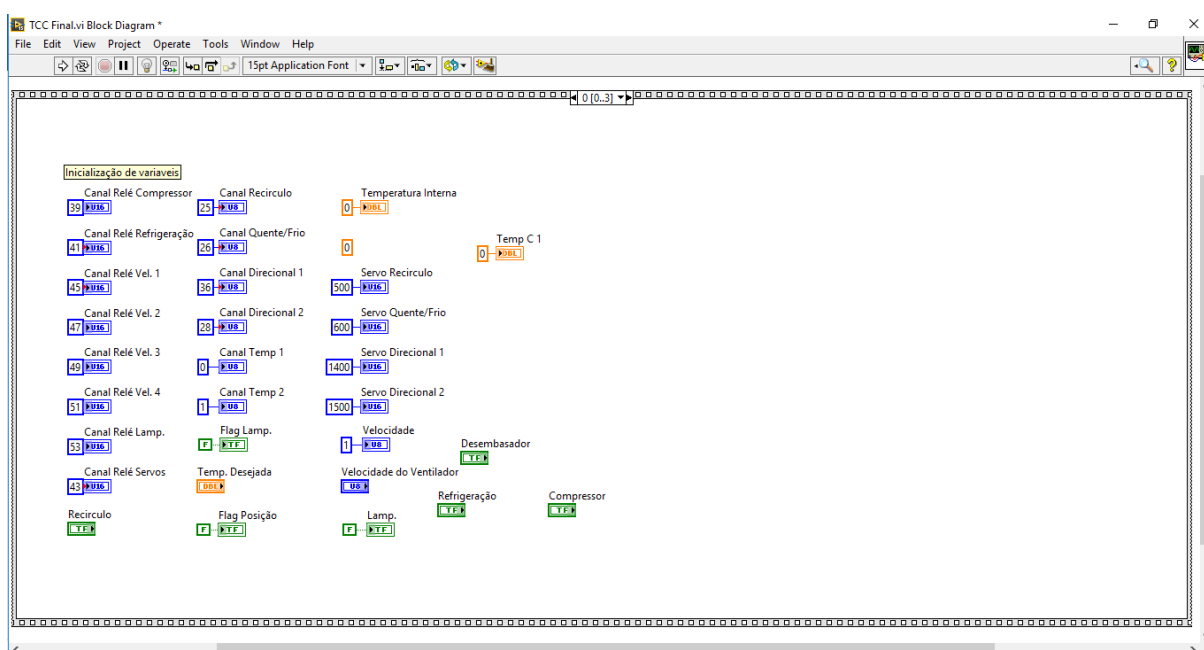
#### 7.1.1.1. O PROGRAMA DESENVOLVIDO EM LABVIEW

O programa desenvolvido possui um fluxo de dados, esse único fluxo contempla o controle do ar condicionado de forma digital.

Todo o controle antes feito de forma analógica, e ou manual, era responsável por controlar: sistema de recirculo, acionamento do heater, controle de velocidade de circulação do ar e temperatura do ar. Com a substituição para o sistema digital controlado via Labview, o funcionamento do controle de temperatura está em um sistema estabelecido em malha fechada. Assim o usuário pode escolher a temperatura desejada e o programa fica encarregado de realizar o controle. O direcionamento da circulação do ar é controlado automaticamente pelo software juntamente com os servos motores.

Abaixo, na figura 15, no block diagram, estabelecemos as declarações das variáveis de cada controle da giga. Os canais de relê referem-se a placa de relê que são responsáveis por controlar as cargas elétricas que consomem muita corrente, onde o Arduino por si só não conseguiria alimentá-los. Através disso, temos uma alimentação auxiliar para suprir o funcionamento do sistema. São utilizados sensores de temperatura, modelo LM35, para obtenção da temperatura ambiente interno da giga. Os canais direcionais serão responsáveis por atuarem os servos motores para abrir e fechar os dampers.

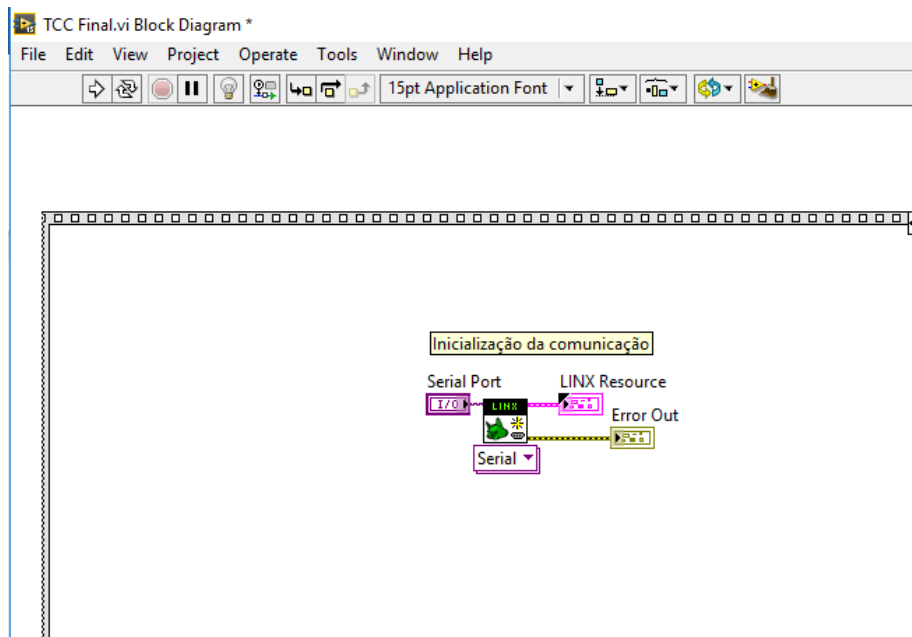
Figura 15 - Inicialização das Variáveis



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

O sequeencie flat mostrado no block diagram abaixo, tem-se a comunicação do labview com o Arduino. Para isso, foi necessário a utilização da ferramenta Maker Hub da National Instruments, um complemento utilizado no Labview que permite a comunicação externa do Labview com outras plataformas, como Raspberry, BeagleBone Black, e o Arduino.

Figura 16 - Inicialização da comunicação

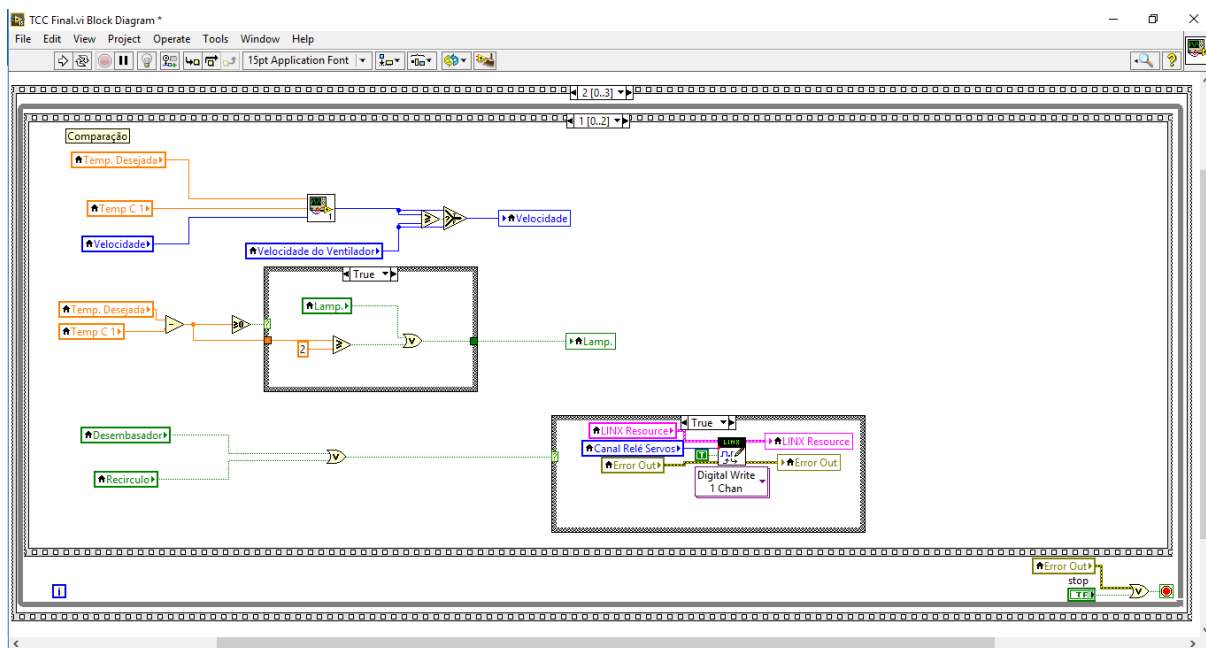


Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

Na figura 17 abaixo, o sequence flat irá ler os valores de temperaturas, sendo eles os valores lidos e os valores desejados, e o software desenvolvido calcula e compara os valores, e a partir de seu valor resultante, estabelece a velocidade de circulação do ar, sendo ela de 1 a 4 (Mínimo à Máximo). Além disso, implantado uma chave seletora disponível no front painel sendo possível ligar e desligar o sistema de recírculo, refrigeração e compressor.



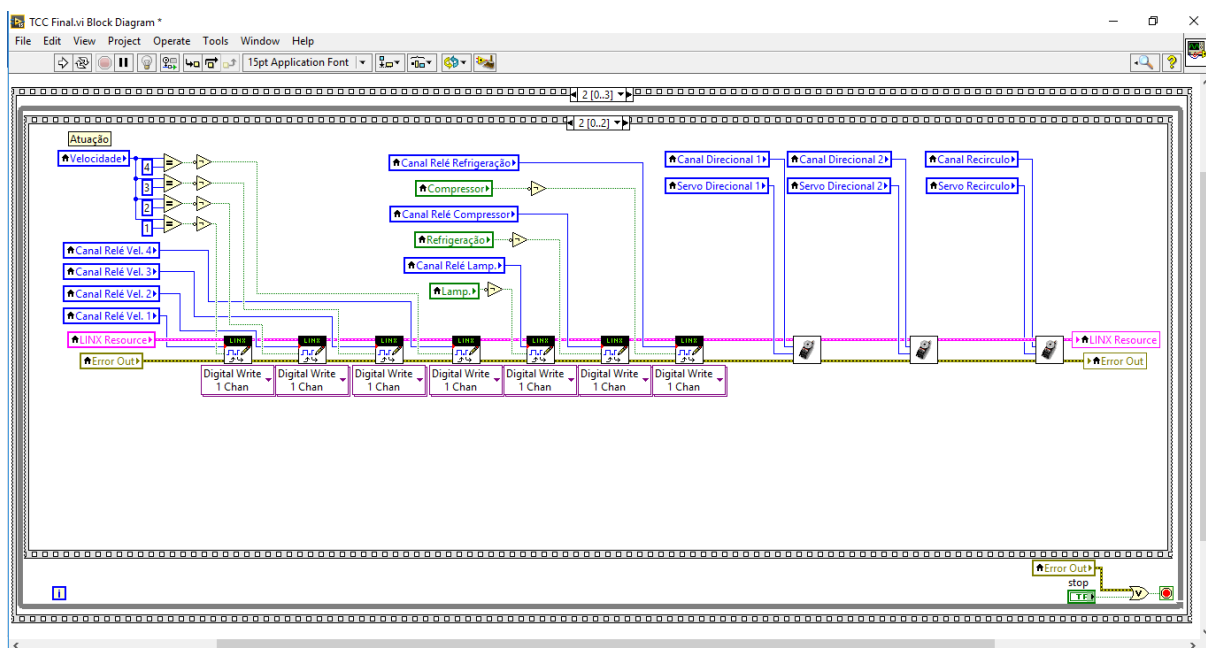
Figura 17 - Comparação dos valores



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

A atuação dos reles, como já dito, controlará as cargas elétricas. No labview, cada canal do rele é responsável por um circuito do programa.

Figura 18 - Atuação dos Relês



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

### 7.1.2. Arduino

O Arduino é uma plataforma Hardware/Software que foi utilizado nesse trabalho para fazer a interface do Labview com o Servo Motor. A parte de hardware do Arduino consiste na placa, que utilizamos para interligar o servo, e o software, o Arduino (IDE). Sendo possível encontrar no mercado, diversos modelos do Arduino. O modelo utilizado nesse trabalho é o Arduino Mega. O software do Arduino irá fazer a comunicação com o Labview, sendo assim, os comandos realizados pelo Labview, serão “transmitidos” para o Arduino, e conseqüentemente, será realizar o controle no controle no servo motor.

### 7.2. Motor Elétrico EBERLE B 80 B2

O motor instalado na giga de teste foi doado pela Mercedes Benz para os alunos Jorge Henrique e Henrique, para o desenvolvimento da giga de testes, que atendeu à solicitação do Jorge que trabalhava na empresa. Trata-se de um motor elétrico, de indução, trifásico, da marca EBERLE.

Esse motor apresenta as características conforme quadro 2, o motor pode ser alimentado com o fechamento estrela ou fechamento triângulo, alimentados à 380 V e 220 V respectivamente.

Quadro 2 - Especificação do Motor Elétrico Eberle, Modelo B80 B2

<b>EBERLE</b>			
<b>Motor de indução trifásico</b>			
<b>Modelo:</b>	B 80 B2	<b>RPM</b>	3445
<b>Nº</b>	804	<b>ISOL.</b>	B
<b>CV</b>	2	<b>Rendimento</b>	81%
<b>KW</b>	1.5	<b>Frequência</b>	60Hz

Fonte: Elaborado pelo próprio autor - 2018

Com os primeiros testes da giga, foi notado um problema com o acoplamento do compressor ao motor, o que afetava a funcionalidade do sistema, ao tentar acoplar o compressor ao motor, este não tinha força o suficiente causando um travamento do motor.

Notado o problema, a primeira suposição foi a de o motor estar mal dimensionado para o compressor, como solução sugerimos a substituição do motor elétrico por outro com maior potência. Porém após, realizado uma análise crítica do motor, foi constatado que a ligação estava incorreta, sendo assim, após corrigida para ligação adequada, para atender a rede elétrica da FATEC, e fazer novos testes, onde foi constatado que havia o acoplamento do compressor sem perdas e ou travamento como antes, descartamos a ideia de substituição do motor.

O modo de fechamento instalado no motor quando foi trago para FATEC estava de forma incorreta para a configuração que é necessária para o funcionamento na faculdade. Na Mercedes Benz, onde foi feito testes antes de trazer o motor para a faculdade, foi utilizada um conector para redes elétricas trifásicas com alimentação de 380 V, logo o motor estava com o fechamento adequado para o funcionamento no local, modo estrela 380 V. No entanto a rede elétrica da FATEC no conector compatível é de 220 V, onde a ligação do motor deve ser triângulo 220 V. Essa diferença de rede entre os dois locais fez com que o motor apresentasse o mal funcionamento, quando foi instalando na giga, e na hora do teste não funcionasse corretamente.

### **7.3. Relação de carga aplicada com a rotação do motor**

Conforme dito anteriormente, a relação do motor para o compressor é de 1:1,3. Com o inversor de frequência, foi gerado as relações de rotações para cada frequência aplicada no motor, sendo com carga e também sem carga. O quadro abaixo, mostra os resultados obtidos das rotações do Motor e do compressor. Para isso, foi utilizado um Tacômetro Minipa Digital modelo MDT-2238 para medir a rotação do motor. E para a rotação do compressor, multiplicamos o valor obtido da rotação do motor por 1,3.

Quadro 3 - Rotações do motor e compressor através da carga

<b>Relação de rotação do sistema controlado pelo inversor de frequência com carga e sem carga aplicada</b>			
<b>Motor</b>			<b>Compressor</b>
<b>Frequência Inversor</b>	<b>Rotação (RPM) Sem Carga</b>	<b>Rotação (RPM) Com carga</b>	<b>Rotação (RPM)</b>
<b>5 Hz</b>	266	42,8	55.64
<b>10 Hz</b>	557	78	101.4
<b>15 Hz</b>	856,5	124,5	161.85
<b>20 Hz</b>	1155	169	219.7
<b>25 Hz</b>	1453	1133	1472.9
<b>30 Hz</b>	1758	1531	1990.3
<b>35 Hz</b>	2059	1870	2431
<b>40 Hz</b>	2355	2183	2837.9
<b>45 Hz</b>	2658	2499	3248.7
<b>50 Hz</b>	2959	2780	3614
<b>55 Hz</b>	3251	3028	3936.4
<b>60 Hz</b>	3541	3250	4225

Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

#### **7.4. Servo Motor**

O servo motor, é um dispositivo eletromecânico, que através de um sinal em sua entrada, pode ter seu eixo posicionado em uma determinada posição angular. Por serem pequenos e compactos, além de permitir um posicionamento preciso de seu eixo. Possui um sistema eletrônico de controle e um potenciômetro que está ligado ao eixo de saída Este potenciômetro possibilita ao circuito de controle monitorar o ângulo do eixo do Servo motor (Santos, André. Sumo Robos – Porto Alegre – 2007)

O programa realizado em Labview mostra os parâmetros de entrada e saída do sistema a serem controlados, sendo eles o controle de abertura dos dampers do ar condicionado.

O objetivo do servo motor neste trabalho é realizar o abertura e fechamento das aletas (dampers) dos controles do ar condicionado de forma eletrônica. Antes, era instalado controles originais de um veículo, que realizavam o movimento de forma mecânica através de cabos de aços.

#### 7.4.1. TOWERPRO MG995

Figura 19 - Servo Motor MG995



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

O modelo escolhido foi o MG995, que possui suas engrenagens em metal, garantindo para nosso sistema um torque maior para movimentar o eixo das aletas do ar condicionado.

Substituindo o acionamento mecânico através de cabos de aço dos controles do ar condicionado, os servos motores, mais especificamente o MG995 que utilizamos, que realizou os movimentos de abertura e fechamento das aletas do ar condicionado.

#### 7.4.2. Suporte de fixação do servo motor MG995

Foi necessário elaborar um suporte de fixação dos Servo motores para a bancada, de modo que seu funcionamento não afetasse a abertura das aletas.

Para a fixação dos servos motores a primeira ideia foi de construir uma estrutura de madeira, a qual iria fixar o servo, de forma que ele fique suspenso, e consiga realizar o movimento rotativo, abrindo e fechando as aletas da caixa de ar condicionado.

Com o andamento dos projetos e após os primeiros testes, foi alterada a ideia de suportes feitos de madeira para impressos com impressora 3D.

Os suportes para os servos foram desenvolvidos no *software* Fusion da Autodesk. Foram feitos 4 modelos diferentes de suportes.

Figura 20 - Suportes para os servos motores feitos com impressora 3D



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

#### **7.4.3. Teste dos servos motores com fixados na giga.**

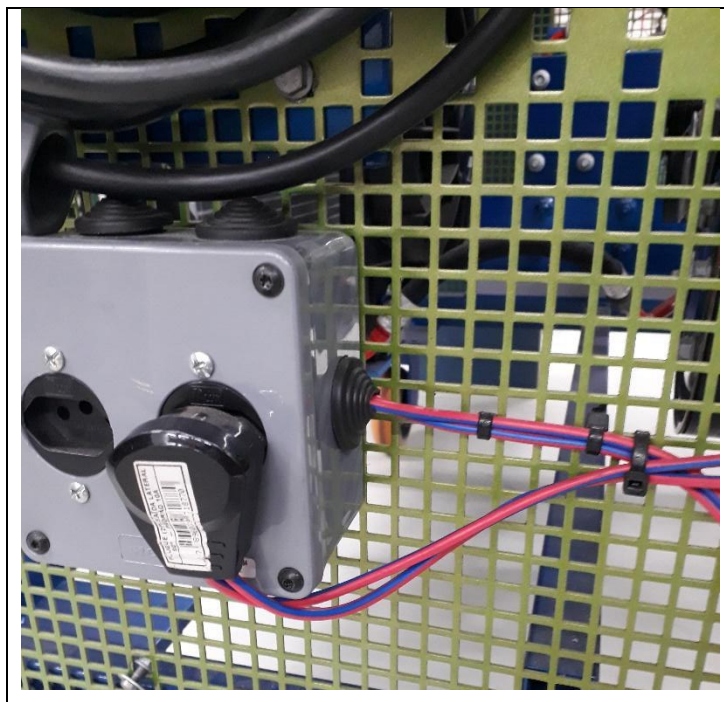
Após a fixação dos servos motores na giga de teste, foi realizado o teste de funcionamento de abertura dos dampers da giga. O programa desenvolvido em Labview com interface com o Arduino, transmitiu os movimentos aos servos motores, e conseqüentemente abrindo e fechando os dampers.

#### **7.5. Corrigindo problemas encontrados na giga de teste**

Antes de iniciar os trabalhos na giga de testes, algumas melhorias e problemas foram implantadas. Com relação a instalação do inversor de frequência, foi refeito a parte elétrica da giga, colocando tomadas próprias para cada componente da giga, deixando de forma eficiente e segura. A correção da ligação do

motor elétrico trouxe um grande avanço nos trabalhos, pois assim, houve o funcionamento correto do sistema de ar condicionado.

Figura 191 - Parte Elétrica Anterior



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 202 - Parte Elétrica - Atual

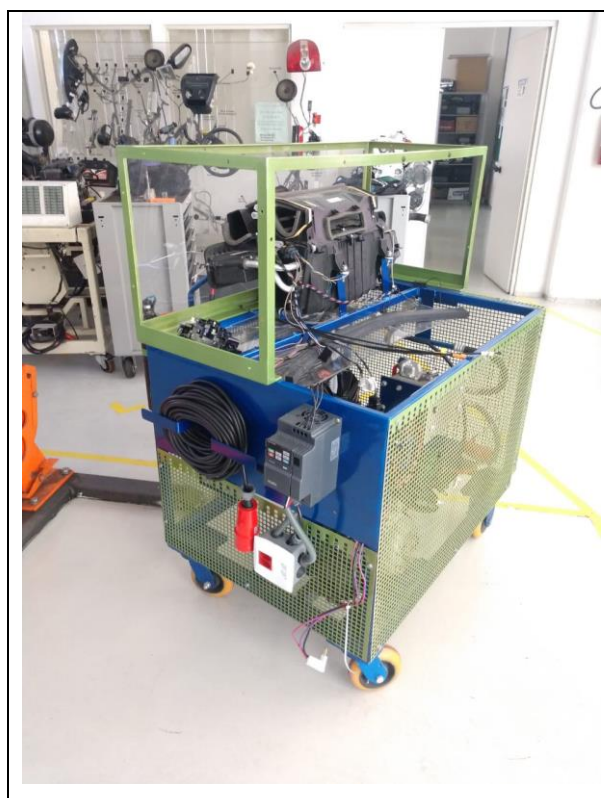


Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018



Com a retirada dos controles do ar condicionado, realizou-se a troca do acrílico frontal da giga. O mesmo, anterior, já não atenderia mais ao propósito devido estar com espaços vazados no acrílico onde estavam alocados os controles. Sendo assim, substituído por um novo acrílico sem aberturas, garantindo a eficiência do sistema de ar condicionado da giga.

Figura 21 - Giga de Testes sem os controles manuais de acionamento.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor – 2018.

## 7.6. Sensor de Temperatura

Para medir a temperatura do sistema foi utilizado o sensor LM35, cujo seu funcionamento deve-se pela variação da tensão de saída de acordo com a variação de temperatura. Na giga, foi colocado dois sensores, que irão medir a temperatura do sistema. Além disso, foi mantido os sensores de temperatura com display, adotados como referências para comparar os valores lidos pelos LM35 e demonstrados no software.



## **8. TESTE DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA COM UMA CARGA.**

A análise de eficiência do sistema de ar condicionado da giga de teste foi realizada através de uma carga, uma lâmpada halógena de 40W, que ao aquecer, foi analisado o funcionamento do sistema resfriando a temperatura da lâmpada. Para isso, utilizou-se um termômetro digital infravermelho para medir a temperatura da lâmpada antes de ligar o ar condicionado e depois de ligar o ar condicionado. Visto que o teste foi duas vezes, verificado com várias rotações no motor, que foi controlado através do inversor de frequência, e sendo analisado o ar condicionado da condição de velocidade de saída do ar mínima e máxima. Resumidamente, o teste funcionou como um teste de compensação.

As condições para os testes foram os seguintes:

- i. Medir a temperatura da lâmpada antes de ligar o ar condicionado.
- ii. Medir a temperatura do ar
- iii. Fechamento das aletas de saída do ar, sendo elas abertas ou fechadas
- iv. Medir a temperatura da Lâmpada após o funcionamento do ar.

Com a retirada de alguns controles manuais, que estavam sendo substituídos pelo sistema eletrônico controlados pelo Labview, o teste em si foi baseado em uma temperatura do ar em condição de equilíbrio entre ar quente e ar frio. A cada teste, foi colocado um valor de frequência no inversor, simulando uma rotação no motor, sendo assim possível, verificar a eficiência do ar condicionado em certas rotações.

### **8.1. Resultados obtidos pelo teste**

Abaixo na tabela, mostra os resultados obtidos pelo teste:

#### **8.1.1. Teste em velocidade mínima**

Primeira bateria de testes: Velocidade 1 (Mínima) de ar.

Quadro 4 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 1

<b>Teste 1</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	0Hz (Desligado)
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	42°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper fechado
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	25°C (Temperatura Ambiente do Local)
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	42°C

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 1 consiste no sistema desligado, nesse caso, apenas considerado a temperatura da lâmpada ainda em aquecimento

Quadro 5 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 2

<b>Teste 2</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	60Hz (máximo)
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	49°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper fechado
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	24°C (Temperatura com o ventilador Ligado)
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	38°C

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 2 foi aplicado a frequência máxima no inversor, significando a rotação máxima no sistema. Com a lâmpada em aquecimento (49°C no momento medido) e mantendo a saída de ar fechada, pode-se notar uma queda de 11°C na Lâmpada com o sistema em funcionamento, visto que, a condição para esse teste era de velocidade do ar mínima.

Quadro 6 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 3

<b>Teste 3</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	30Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	49°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper aberto
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	23°C
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	42,5°C

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018

O teste 3 diminuiu-se pela metade a rotação do motor, comparado com o teste 2, e alterando a condição de abertura da saída de ar, mantendo-a aberta, pode-se observar que a queda de temperatura da lâmpada é de aproximadamente 7°C.

Quadro 7 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 4

<b>Teste 4</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	50Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	52,5°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper fechado
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	22°C
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	46°C

Fonte: Elaborado pelo Autor - 2018

O teste 4, aumenta a rotação do motor, de forma que não chega no valor máximo, e volta-se a fechar a saída de ar. A queda de temperatura da lâmpada baixa, de aproximadamente 6°C.

Quadro 8 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 5

<b>Teste 5</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	40Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	56°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper fechado
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	25°C
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	52°C

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 5, com 40Hz no motor e mantendo a saída de ar fechada, a eficiência do sistema é baixa, visto que a temperatura da lâmpada diminuiu apenas 4°C, sendo considerado o pior teste em ambas as condições (velocidade máxima e mínima)

Quadro 9 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 6

<b>Teste 6</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	20Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	60°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper aberto
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	23°C
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	50°C

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 6, utilizou-se da menor frequência que o inversor consegue realizar movimento ao motor, porém, mesmo nessa condição, o sistema conseguiu reduzir a temperatura da lâmpada em 10°C, em um período de 10 min ligado.

### **8.1.2. Teste em velocidade máxima no sistema**

Segunda Bateria de Testes: Velocidade 4 (Máxima) de ar.

Quadro 10 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 7

<b>Teste 7</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	0Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	42,5°C (Lâmpada ainda em aquecimento)
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper fechado
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	23°
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	42,5°C (Sistema Ainda desligado)

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 7 foi verificado o estado da lâmpada com o sistema desligado. Como a lâmpada ainda estava em aquecimento de temperatura, logo, a temperatura aferida foi de 42,5°C.

Quadro 11 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 8

<b>Teste 8</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	60Hz (Máximo)
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	42.5°
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper fechado
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	21°
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	30°

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 8, consiste basicamente em um teste semelhante ao teste 2, em rotação máxima, porém, com velocidade máxima de saída do ar. Sendo a lâmpada ainda em aquecimento (O sistema foi retirado da tomada no primeiro teste e com isso a lâmpada foi desligada), foi possível reduzir aproximadamente 12°C da lâmpada.

Quadro 12 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 9

<b>Teste 9</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	30Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	65°C (passados 5 min do teste 8)
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper aberto
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	22°
<b>Temperatura da lâmpada depois</b>	36°

Fonte: Elaborado pelo Autor - 2018

O teste 9, utilizando uma frequência de 30Hz, o sistema apresentou um comportamento surpreendente. Mantendo o a velocidade do ventilador no máximo (Velocidade 4), o sistema reduziu a temperatura da lâmpada em 29°C, durante um período de 8 minutos. Levando em consideração também a temperatura da lâmpada, que já estava aumentando desde o primeiro teste da segunda bateria de testes, o teste 7.

Quadro 13 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 10

<b>Teste 10</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	50Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	69°C
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper aberto
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	21°C
<b>Temperatura da lâmpada depois</b>	34,5°C

Fonte: Elaborado pelo Autor - 2018

O teste 10, utilizou-se uma frequência de 50Hz no inversor, aonde a temperatura da lâmpada aferida antes do teste era de 69°C, e durante a execução de 5 min do sistema, conseguiu reduzir a temperatura da lâmpada em 34,5°C.

Quadro 14 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 11

<b>Teste 11</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	40Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	97°C (passados 10 min após o teste anterior)
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper aberto
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	23°C
<b>Temperatura da lâmpada depois</b>	56°C

Fonte: Elaborado pelo Autor – 2018.

O teste 11 foi considerado o teste de melhor eficiência do sistema. A lâmpada já em sua temperatura de pico, em 97°C, conseguiu ser reduzida para 56°C após a aplicação do sistema de ar condicionado com uma frequência usada no inversor de 40Hz e mantendo o sistema ligado durante 10 minutos com a abertura das aletas do sistema.

Quadro 15 - Teste de Eficiência do Ar Condicionado usando uma carga 12

<b>Teste 12</b>	
<b>Frequência no Inversor</b>	20Hz
<b>Temperatura na lâmpada antes</b>	77°
<b>Condições de abertura do sistema</b>	Damper aberto
<b>Lâmpada (Ligada ou Desligada)</b>	Ligada
<b>Temperatura na saída de AR</b>	23°
<b>Temperatura da Lâmpada Depois</b>	76°

Fonte: Elaborado pelo Autor - 2018

O teste 12, considera-se eficiência quase zero, pois nessa condição, em velocidade máxima de saída do ar o motor começa apresentar problemas em rodar, de forma que não há o acoplamento no compressor, sendo assim, o motor não gera força o suficiente para seu funcionamento.

### **8.1.3. Análise dos testes de eficiência**

Feito todos os testes de eficiência com uma carga na giga, o sistema mostrou-se eficiente em algumas condições particulares. Considerando apenas que os testes foram analisados com velocidades mínima e máxima do ventilador, o melhor resultado dos testes foi o teste 11, mantendo no inversor uma frequência de 40Hz. Pôde-se concluir então que utilizar o sistema em velocidade máxima no

ventilador (velocidade 4) e frequência máxima no inversor de frequência (60Hz) não significa que o sistema de ar condicionado é mais eficiente, de forma que irá gelar mais rápido.



## **9. RESULTADO DO DESENVOLVIMENTO NA GIGA DE TESTES**

Com a giga em funcionamento, foi concluído os objetivos desse trabalho que consistiu em transformar o controle mecânico do ar condicionado em controle eletrônico. A tecnologia presente nos veículos mostra a evolução dos sistemas embarcados e o grande crescimento da eletrônica nesse segmento. Sendo assim, esse trabalho, a “nova giga de testes de ar condicionado” é possível através do Labview: controlar os dampers utilizando servo motor, controlar o sistema do ar condicionado incluindo velocidade do ar, ligar e desligar o sistema, acionamento das cargas (no caso, as lâmpadas), e leitura de temperatura.

### **9.1. Trabalhos Futuros**

A giga de testes poderá muito bem ser aplicadas nas disciplinas dos cursos da FATEC, sendo um dos principais objetivos desse trabalho deixar a giga mais didática. Como trabalhos futuros a serem implementados na giga, poderão ser implementados: Análise gráfica de desempenho do ar condicionado, controlar a rotação do motor com inversor de frequência via software, e criar um aplicativo de celular que controle o sistema do ar condicionado, podendo até incrementar os acionamentos dos comandos do Labview com o celular.

Com isso, o que foi feito nesse trabalho trata-se de uma evolução da eletrônica nos veículos, como é visto atualmente. A automação desses sistemas, com a utilização dos softwares presentes no mercado (ou até mesmo a criação dos softwares) mostrou a eficácia e o benefício de poder transformar um sistema que era acionado mecanicamente em algo eletrônico. As tendências do mercado visam um crescimento de automação dos sistemas embarcados, e em um futuro muito próximo, a chegada dos veículos autônomos mostra claramente que a tecnologia está aqui para fazer grandes mudanças, e sendo estudado, a busca por atualizações sobre as informações tecnológicas serão frequentes, visto que a tecnologia está mudando constantemente. O que foi mostrado nesse trabalho é o que a tecnologia é capaz de fazer, visto que o que é mostrado no mercado, nas indústrias, o sistema elaborado na giga é relativamente simples, porém, trabalhoso considerando o seu desenvolvimento, porém, o que motivou nesse trabalho é que o pequeno passo dado nesse desenvolvimento desencadeia motivação para continuar a trabalhar com

o desenvolvimento da tecnologia e cabe ao esforço de cada um a buscar conhecimento para continuar a evoluir com essa tecnologia.

De alguma forma, espera-se que esse trabalho possa trazer motivação para outros alunos, e que possam dar continuidade, pois como já dito, não é apenas um trabalho acadêmico, mas um trabalho que pode ser usado em aula, abrangendo conhecimento e novas ideias para implementar na giga de testes.

## **10. CONCLUSÃO**

Esse trabalho teve como intenção evoluir a giga de teste, trazendo a utilização do programa desenvolvido em Labview para o controle do ar condicionado. O programa desenvolvido permitiu substituir os acionamentos mecânicos do sistema, e através dos sensores de temperatura e dos servos motores, foram utilizados para os novos controles da giga. Através desse trabalho, mostrou-se uma das evoluções possíveis da tecnologia, o crescimento da eletrônica nos meios automotivos, mesmo se tratando de uma giga de testes, os sistemas atuais estão se tornando mais eletrônicos e autônomos do que mecânicos. Ainda que a tendência dos veículos sejam autônomos futuramente, a ideia de implementar um sistema eletrônico em um sistema dos veículos já é algo presente na nossa sociedade, mas que, ideias novas possam surgir e evoluir esses sistemas, e a escolha desse trabalho, trata-se de um dos sistemas mais utilizados dos veículos, tratando-se de um sistema de segurança e de conforto.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORSI, Henrique Gustavo Monteiro; FERREIRA, Jorge Henrique dos Santos. GIGA DE TESTE PARA SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO VEICULAR. 2017. 65 p. Dissertação (Graduação de Tecnologia em Eletrônica Automotiva) - FATEC Santo André, Santo André -SP, 2017. 1.

LAMBERTS, Roberto. Desempenho Térmico de Edificações - Conforto Térmico. Disponível: <<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV%205161%20Aula%202%20-%20Conforto%20termico.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

LI, Fernando Liang. ESTUDO E SELEÇÃO DE UM APARELHO DE AR-CONDICIONADO PARA ÔNIBUS. 2011. 46 p. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica (Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, SP, 2011. Disponível: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119617/li\\_fl\\_tcc\\_guara.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119617/li_fl_tcc_guara.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 07 abr. 2018.

LOPES, Cícero Furtado de Mendonça. ANÁLISE COMPARATIVA DE CARGA TÉRMICA ENTRE DOIS MÉTODOS DE CÁLCULO PARA UM AUDITÓRIO. 2013. 53 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2013. 1. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007830.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.

PIMENTA, Ana Isabel et al. Conceito de conforto térmico humano. 2015. 26 p. Projeto FEUP 2014/2015 -- Engenharia Química (Conceito de conforto térmico humano) - Faculdade de Engenharia, Universidade do porto, Porto, 2015. 1. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit\\_14\\_15/uploads/relat\\_Q1FQI04\\_1.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_14_15/uploads/relat_Q1FQI04_1.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

TEIXEIRA. Mariana Mendes. Ciclo de Carnot, Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>> Acesso em: 21 maio 18.

SERVO Motor - Este pequeno tutorial tem como finalidade auxiliar no entendimento de um dos componentes básicos utilizados na construção de robôs móveis.[S.l.:s.n.],2007.Disponível em: <<http://www.pictronics.com.br/downloads/apostilas/servomotores.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2018.