

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

CAMPUS JOINVILLE

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

AMARO DA SILVA

JACKSON KARNOPP

**DISPOSITIVO PARA SIMULAR CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA NORMA IEC 62552,
BUSCANDO REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA DURANTE O TESTE**

JOINVILLE, DEZEMBRO.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

CAMPUS JOINVILLE

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

AMARO DA SILVA

JACKSON KARNOPP

**DISPOSITIVO PARA SIMULAR CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA NORMA IEC 62552,
BUSCANDO REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA DURANTE O TESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Professor orientador: José Adriano Damacena Diesel, Eng.

JOINVILLE, DEZEMBRO DE 2015.

Silva, Amaro da.

Dispositivo IEC 62552. Silva, Amaro da. Karnopp, Jackson – Joinville Instituto Federal de Santa Catarina, 2015. XX f.

Trabalho de Conclusão de Curso-Instituto Federal de Santa Catarina, 2015.
Graduação: Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Modalidade: Presencial. Orientador: José Adriano Damacena Diesel, Eng.

1. Dispositivo, 2. Norma IEC 62552, 3. LabVIEW, 4. Controle 5 Temperatura

I. Dispositivo para simular condições climáticas da norma IEC 62552, buscando redução no consumo de energia durante o teste

**DISPOSITIVO PARA SIMULAR CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA
NORMA IEC 62552, BUSCANDO REDUÇÃO NO CONSUMO
DE ENERGIA DURANTE O TESTE**

**AMARO DA SILVA
JACKSON KARNOPP**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Joinville, 11 de Dezembro, 2015.

Banca Examinadora:

José Adriano Damacena Diesel, Eng.

Marcos Vinicius Piccinin, Tecnólogo.

Evandro Rodrigo Dario. Dr. Eng.

DEDICATÓRIA

A todos que acreditam que DEUS
nos capacita, nos dá sabedoria,
mas não faz o trabalho por nós.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus e ao Espírito Santo por nos iluminarem para o caminho do aprendizado, dedicação e persistência.

Aos nossos pais pelo amor, exemplo e educação.

Um agradecimento especial as nossas esposas, que souberam nos compreender nas horas difíceis dedicadas ao estudo, sempre com incentivo e apoio incondicional.

Agradecemos o professor Michel Klug por sua disponibilidade, colaboração, orientação e auxílio na parte de controle.

Aos nossos amigos Gustavo Jamir da Silva e Murilo Zittel que tiveram uma participação construtiva nessa etapa de nossa formação.

Ao nosso orientador, professor José Adriano Damacena Diesel, pelas horas de dedicação, esforço, pelas palavras de incentivo, com certeza além de um mestre, um amigo para o resto da vida.

"Foco, força e fé"
Autor desconhecido

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso (TCC) consiste no desenvolvimento de um dispositivo para simular as condições de temperatura requeridas na norma IEC 62552, esta define métodos e características de testes em refrigeradores de aplicação doméstica, sendo o objetivo principal do projeto, provar através de testes, que a variação da capacidade de refrigeração da câmara resulta em uma redução no consumo de energia, servindo os resultados obtidos como fundamentação para a utilização desta melhoria em equipamentos industriais, que necessitam de um

ambiente termicamente controlado e que não permitem variações acima de $0,5^{\circ}\text{C}$.

Para atingir a meta citada acima, se desenvolveu um gabinete de madeira, para reproduzir um ambiente com temperatura interna controlada, fixando sete termistores que ligados a um sistema de aquisição de dados e com o auxílio do *software* Labview, possibilitou a leitura da temperatura interna do mesmo.

Como atuadores de controle foram instalados uma unidade de refrigeração composta por, evaporador, condensador, compressor, dispositivo de expansão e uma unidade de aquecimento composta por duas resistências elétricas.

Na unidade de refrigeração foi acoplado um inversor ao motor do compressor com o objetivo de variar a rotação do mesmo. No banco de resistências foi instalado um relé de estado sólido para auxiliar no controle da potência.

Foi desenvolvido um controle de malha fechada para os dois atuadores, através do bloco PID do *software* Labview, conseguindo desta maneira reduzir o consumo de energia e atender a variação de temperatura requerida.

Palavras chaves: Labview, refrigeração, aquecimento, controle, temperatura.

ABSTRACT

This course conclusion work (TCC), consists to develop a device to simulate the temperature conditions required in IEC 62552, that define methods and characteristics for household refrigerator tests and the main objective to prove through testing, that the variation of the compressor motor speed results in a reduction in consumption energy, serving the results as basis for the use of this improvement in industrial equipment that require a temperature-controlled

environment and that does not allow variations above $0,5^{\circ}\text{C}$.

To reach the above mentioned goal it was developed a wooden cabinet, fixing seven thermistors connected to a signal acquisition system with the aid Labview software becomes able to read the internal temperature thereof.

For control actuators has been installed one refrigeration unit that is composed by a condenser, an evaporator, a compressor, and an expansion device and a heating unit is composed for two electrical resistances.

In the refrigeration unit has an inverter coupled to the compressor motor in order to vary the rotation. The electrical resistences were installed through a solid state relay to helps the power control.

It was developed a closed-loop control for the two actuators via the PID block Labview software, achieving in this way to reduce energy consumption and meet the required temperature variation.

Key words: Labview, cooling, heating, control, temperature.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. JUSTIFICATIVA.....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. SENSOR DE TEMPERATURA.....	18
2.2. RELE DE ESTADO SOLIDO.....	20
2.2.1. Vantagens e aplicações.....	20
2.3. PWM.....	21
2.4. MODELO TÉRMICO.....	22
2.5. SISTEMA DE MALHA FECHADA.....	23
2.6. SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA.....	24
2.7. SISTEMA DE CONTROLE PID.....	25
2.7.1. Introdução.....	25
2.7.2. Terminologia.....	26
2.8. TEORIA PID.....	28
2.8.1. Resposta proporcional.....	28
2.8.2. Resposta Integral.....	28
2.8.3. Derivada da Resposta.....	28
2.8.4. Ajustes.....	28
2.9. LABVIEW.....	29
2.10. DISPOSITIVO DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	31
2.11. INVERSORES DE FREQUENCIA.....	33
2.11.1. Tipos de inversores.....	33
2.11.2. Dimensionamento de inversor de frequência.....	33
2.12. COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	34
2.12.1. Compressor.....	34
2.12.2. Evaporador.....	35

2.12.3.	Condensadores.....	35
2.12.4.	Dispositivo de expansão.....	36
2.12.5.	Ciclo de refrigeração.....	36
3.	DESENVOLVIMENTO.....	38
3.1.	DISCIPLINAS EMPREGADAS.....	38
3.2.	MATERIAIS UTILIZADOS.....	39
3.3.	REFRIGERAÇÃO.....	40
3.3.1.	Condensador.....	40
3.3.2.	Evaporador.....	40
3.3.3.	Dispositivo de expansão.....	41
3.3.4.	Compressor.....	42
3.3.5.	Fluido refrigerante.....	42
3.3.6.	Inversor de frequência.....	43
3.4.	ACIONAMENTOS ELÉTRICOS.....	44
3.5.	RESISTÊNCIAS.....	45
3.6.	RELÉ DE ESTADO SÓLIDO.....	46
3.7.	CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO.....	47
3.7.1.	Posicionamento dos termistores.....	48
3.8.	INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS.....	49
3.8.1.	Aferição dos termistores.....	51
3.9.	CONTROLE.....	54
3.10.	PROGRAMAÇÃO.....	59
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
5.	CONCLUSÃO.....	69
6.	REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a qualidade e o rendimento dos produtos são requisitos cada vez mais determinantes para um bom ingresso no mercado. Essa é uma preocupação geral nas indústrias, sendo que o investimento em testes para estudo das condições de funcionamento é grande (Paladini, 2011).

Dependendo da aplicação as empresas utilizam câmaras de teste para realização de ensaios, principalmente nos produtos que utilizam eletricidade como fonte de energia. Cabe citar como exemplo a EMBRACO (Empresa Brasileira de Compressores), líder mundial na fabricação de compressores herméticos que no seu laboratório de aplicação utiliza câmaras de teste com climatização controlada, realizando testes de desempenho em refrigeradores como: *pull down*, consumo de energia, capacidade de congelamento, determinação de carga de gás, mínima tensão de partida, curva característica, etc.

Estes testes citados acima seguem recomendações da norma IEC 62552 que definem métodos e características de testes em refrigeradores de aplicação doméstica. A tolerância estipulada para variação de temperatura nestes testes é +/- 0,5 °C, este fator é determinante para validação do teste.

O laboratório de aplicação, membro do departamento de pesquisa e desenvolvimento da EMBRACO, conta com cinco câmaras de testes e seis postos de ensaio, que para controle de climatização possuem basicamente dois circuitos: aquecimento e refrigeração, compostos por banco de resistências e circuito de refrigeração a base de compressor.

1.1. JUSTIFICATIVA

Cada câmara de testes pode consumir uma potência instantânea de 12 KW, resultando num consumo mensal de 8640 KW, gerando um custo de R\$ 1980,80 por câmara. O total do conjunto de câmaras gera um gasto com energia elétrica de R\$ 114.048,00 por ano.

Observando os valores gastos com energia elétrica para manutenção das câmaras em funcionamento e visualizando o cenário atual do equipamento, verificou-se uma oportunidade de melhoria.

Atualmente os compressores utilizados nestas câmaras possuem a configuração convencional, a qual velocidade do motor do compressor é máxima e constante independente da necessidade.

Surge como hipótese, à possibilidade de redução no consumo de energia do equipamento, através da variação da capacidade de refrigeração que está diretamente ligada à rotação do compressor, logo, neste trabalho será desenvolvido um dispositivo para simular as condições de temperatura estipuladas pela norma IEC62552, buscando a comprovação da hipótese levantada.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Executar o projeto e construção do dispositivo para simular condições de temperatura dos testes.

Desenvolver um controle independente para os atuadores: banco de resistências e circuito de refrigeração.

Atender os requisitos da norma IEC 62552, quanto à variação de temperatura +/- 0,5°C.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em três capítulos além da introdução e conclusão. No capítulo 2 está a revisão bibliográfica, no qual descreve o funcionamento e as vantagens dos componentes utilizados.

No capítulo 3 apresenta-se o desenvolvimento, onde foram relatados os materiais, os custos e a fabricação do dispositivo.

Finalmente no capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos e a análise dos mesmos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SENSOR DE TEMPERATURA

São mecanismos elétricos que sob ação térmica sofrem alterações em sua resistência elétrica, as medidas de resistências são resultantes da temperatura absoluta (THOMAZINI, 2012).

Os principais sensores de temperatura são os termopares e os termistores.

Os termopares são os sensores mais aplicados nas indústrias devido a sua confiabilidade, baixo custo e padronização, aliados a precisão estabilidade e repetitividade satisfatória, além de sua utilização cobrir uma grande faixa de temperaturas, que define sua classificação (BEGA, 2006).

As operações dos termopares são baseadas nos efeitos Seebeck, Peltier e Thomson. O primeiro citado baseia-se em um circuito formado por dois fios condutores de metais diferentes, este circuito pode possuir circulação de corrente, sendo esta proporcional à diferença de temperatura entre os materiais. (BEGA, 2006)

O efeito Peltier, complementa o primeiro efeito citado, sendo que neste caso o circuito contém dois materiais inicialmente condicionados a mesma temperatura e com o auxílio de uma fonte externa ocorre o aquecimento de uma junção e o resfriamento da outra. Finalizando o efeito Thomson baseia-se na determinação de temperatura através de equações regidas pela natureza dos materiais e não justificadas pelo efeito Joule (BEGA, 2006).

No caso dos termistores os valores de resistência elétrica podem variar de forma direta ou inversamente proporcional com o aumento da temperatura (BEGA, 2006).

Os termistores mais utilizados são de coeficiente térmico negativo (*NTC-Negative Thermal Coeficient*), portanto a resistência decresce com o acréscimo da temperatura. Possuem como vantagens: a robustez e o baixo custo, entretanto, possuem menor precisão quando comparados aos termistores do tipo P.T.C, sendo mais indicados em medições que exigem uma precisão menor que 0,05°C e na proteção térmica. Como exemplos de aplicação pode-se citar: a indicação e o

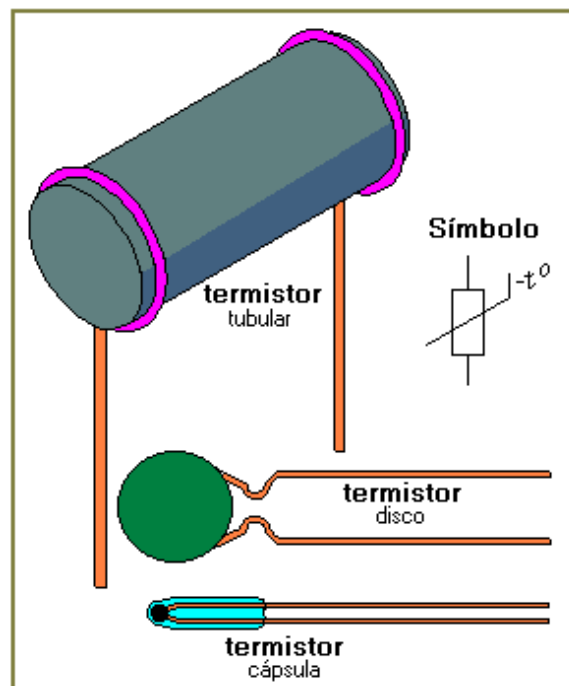
alarme de temperatura em veículos e a proteção de motores e semicondutores de potência em circuitos eletrônicos (BEGA, 2006).

Em contrapartida são fabricados os termistores P.T.C (*Positive Thermal Coeficient*), onde ocorre um acréscimo em conjunto da temperatura com a resistência elétrica. Os custos de fabricação destes termistores são bem mais altos, porém com uma alta precisão ($0,05^{\circ}\text{C}$), sendo utilizados principalmente em laboratório e como sensores auxiliares de compensação de temperatura (BEGA, 2006).

Onde houver a necessidade de elevada sensibilidade com as alterações de temperatura, os termistores são os sensores mais indicados para este tipo de aplicação (THOMAZINI, 2012).

Sua composição é formada por materiais semicondutores, onde se destacam os óxidos de níquel, manganês, cobalto e outros, que possuem como característica uma grande variação da resistência elétrica com a temperatura, variando aproximadamente entre -100°C a $+300^{\circ}\text{C}$. Na abaixo na Figura 1 verificam-se exemplos de termistores (THOMAZINI, 2012).

Figura 1 Exemplo de termistores



Fonte: BEGA,2006

2.2. RELE DE ESTADO SOLIDO

São componentes eletrônicos que possuem na sua configuração apenas componentes sólidos, portanto não possuem elementos mecânicos ou qualquer peça móvel, na figura 2 Figura 2 visualiza-se um exemplo de relé de estado sólido (NOVUS, 2015).

Sua principal função é o chaveamento dos contatos para passagem da corrente elétrica, desempenhando a mesma tarefa de um contator, entretanto, no caso de relés de estado sólido o trabalho é executado por tiristores e nos contadores por contatos mecânicos (BRAGA,2015).

Figura 2 Exemplo de Relé de Estado Sólido



Fonte: NOVUS,2015

2.2.1. Vantagens e aplicações

Devido à ausência de componentes móveis na sua configuração é possível citar algumas vantagens que este componente possui, quando comparado a rele eletromecânico convencional e contadores (BRAGA, 2015).

Sua vida útil de milhões de operações, a alta velocidade de manobras sem ruído, faiscamento ou desgaste mecânico, a baixa potência necessária para seu disparo, ausência de arco voltaico, possibilita o chaveamento sucessivo num curto espaço de tempo (BRAGA, 2015).

Com essas vantagens o relé de estado sólido destaca-se principalmente em aplicações onde o controle com alta precisão é fundamental, como exemplo o controle de resistências, aplicação que necessita de vários ciclos de chaveamento em um curto intervalo de tempo (ALBERT, 2007).

2.3. PWM

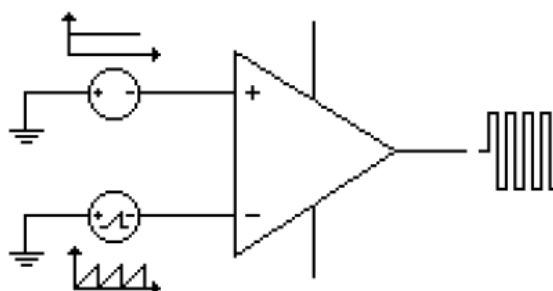
Uma técnica que consiste na comparação de dois sinais de tensão, um de baixa frequência (referência) e outro de alta frequência (portadora), resultando em um sinal alternado com frequência fixa e largura de pulso variável (GHIRARDELLO, 2015).

Para se obter um sinal de saída do acionamento de forma desejada, é necessário compará-lo com um sinal de tensão, chamado sinal de referência, que seja a imagem da tensão de saída (GHIRARDELLO, 2015).

A portadora consiste em um sinal de alta frequência, na ordem de KHz que é responsável pela definição da frequência de chaveamento e razão cíclica. Deve ser no mínimo duas vezes maior que o sinal de referência, mais na prática é necessário pelo menos dez vezes para que se tenha uma boa reprodução do sinal de saída do conversor. Este sinal será responsável pela frequência de chaveamento dos interruptores (semicondutores) do circuito de potência do acionamento (GHIRARDELLO, 2015).

O modulador é um circuito responsável em comparar o sinal de referência com a portadora. A largura do pulso na saída do modulador varia de acordo com a amplitude do sinal de referência em comparação com o sinal portador. Tem-se assim a modulação por largura de pulso que se denomina PWM (*Pulse Width Modulation*) (GHIRARDELLO, 2015)

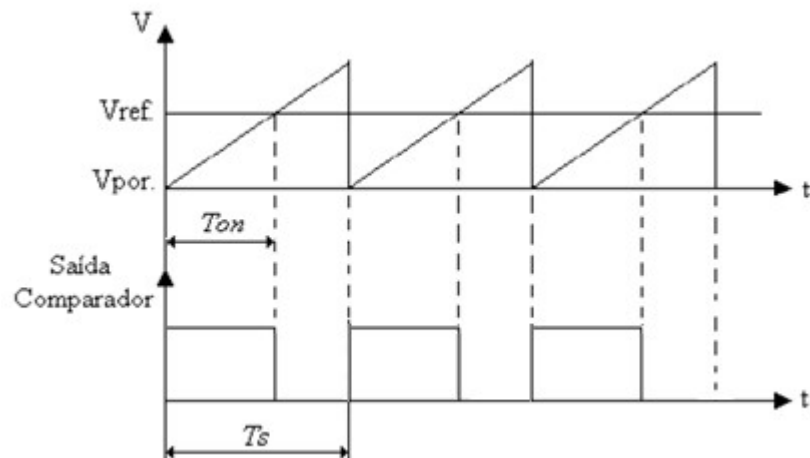
Figura 3 Geração de sinal modulado



Fonte: GHIRARDELLO,2015

As formas de onda nas entradas e saída do comparador, estão demonstradas na Figura 4 4.

Figura 4 Sinal de saída do modulador



Fonte: Ghirardello,2015

Nota-se que o fator que determina a razão cíclica D é razão da amplitude da tensão de referência pela amplitude da portadora.

2.4. MODELO TÉRMICO

Para a modelamento citado acima se verifica reações de primeira ordem, logo, podem ser usadas de forma eficiente em sistemas térmico. Abaixo segue a equação 1 que descreve a função de transferência de primeira ordem, sua aplicação se estende para outros processos que podem ser descritos desta maneira (OGATA, 2010).

$$H(s) = \frac{R}{RCs + 1}$$

(1)

Onde:

H(s)= Transferência de calor(Kcal/s)

R= Resistência térmica (°C/ Kcal)

RC= Constante de tempo relacionada a velocidade de resposta a uma entrada

Na equação 2 verifica-se o modelamento térmico de um sistema de aquecimento de ar que sofreu uma forte alteração na temperatura do ar de entrada (OGATA, 2010).

$$\dot{t}(s) = \frac{R}{RCs+1} H(s) + \frac{1}{RCs+1} Ti(s) \quad (2)$$

Onde:

To(s)=Temperatura do ar de saída em regime permanente (°C)

R= Resistência térmica (°C/ Kcal)

RC= Constante de tempo relacionada a velocidade de resposta a uma entrada

H(s)= Transferência de calor(Kcal/s)

Ti(s)= Temperatura do ar de entrada em regime permanente (°C)

2.5. SISTEMA DE MALHA FECHADA

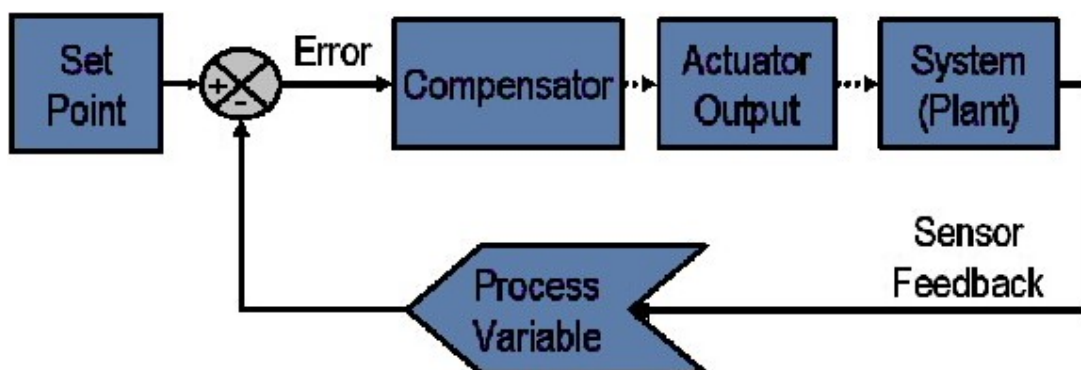
Em um sistema de controle típico, a variável de processo é o parâmetro do sistema que precisa ser controlado, a temperatura pode ser um exemplo.

Um controle de malha fechada compara o valor de saída da planta com a entrada de referência (*set point*), determina o desvio e produz um sinal de controle que reduzirá a zero ou a um valor muito pequeno.

A maneira pela qual o controlador automático produz o sinal de controle é chamada de ação de controle (OGATA, 2010).

Verifica-se na Figura 5 um diagrama de blocos para o sistema citado no título deste item.

Figura 5 Diagrama de blocos de um sistema de malha fechada



Fonte: National Instruments

A ação de controle é formada a partir do valor mensurado pelo sensor, este fornece um retorno da variável do sistema, o controlador detecta o sinal do erro

atuante, o qual normalmente é de potência baixa, e o amplifica a um nível suficientemente alto. A saída do controlador automático alimenta um atuador, o mesmo é um dispositivo de potência que produz o sinal de entrada na planta de acordo com o sinal de controle, de modo que a saída se aproxime do sinal de entrada de referência (OGATA, 2010).

Como exemplo pode-se citar o controle de temperatura de uma estufa,

Neste caso, o valor mensurado pelo sensor é 100°C e a temperatura de referência é

120°C , sendo assim a saída do atuador especificada pelo controlador automático é

ligar as resistências de aquecimento (OGATA, 2010).

Controlar um atuador para ligar um banco de resistências, faz com que o sistema fique mais quente, e resulta em um aumento na variável de processo (OGATA, 2010).

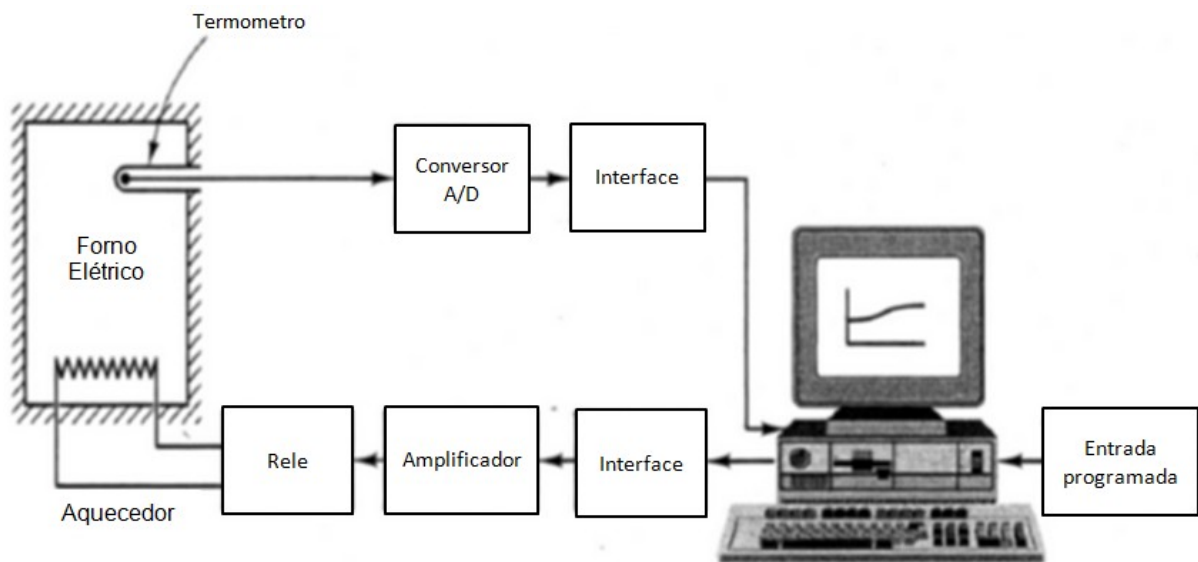
Em várias plantas a saída do atuador não é o único sinal que tem um efeito sobre o sistema. Exemplo: em uma câmara de temperatura pode ter uma fonte de ar fresco que sopra algumas vezes para dentro, ocasionando variações na temperatura, isto se denomina distúrbio. No projeto do sistema de controle deve-se minimizar o efeito dos distúrbios sobre a variável de processo, afinal a robustez de um sistema de controle é entendida como a medida com que o sistema irá tolerar os distúrbios e não linearidades (OGATA, 2010).

2.6. SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

Na Figura 66 pode-se visualizar um esquema de controle de temperatura de um forno elétrico. Neste exemplo a temperatura do mesmo é medida por um termômetro analógico.

O sinal analógico da temperatura é convertido em sinal digital por um conversor A/D (analógico-digital), na sequência o sinal convertido é fornecido ao controle por meio de uma interface. São realizadas comparações com a temperatura de referência e, se o resultado acusar diferenças entre valores de entrada e saída, o controlador envia um sinal ao aquecedor, por meio de uma interface, um amplificador relé, fazendo que a temperatura do forno alcance o valor de entrada (OGATA, 2010).

Figura 6 Sistema de controle de temperatura



Fonte: OGATA, 2010

2.7. SISTEMA DE CONTROLE PID

2.7.1. Introdução

Em muitas situações cotidianas se faz necessário manter a temperatura desejada, sendo muito usual o controle por termostato (liga-desliga), aplicados em geladeiras, fornos elétricos e equipamentos industriais. Porém quando os requisitos

de precisão e estabilidade são altos, este tipo de controle deixa de ser eficaz (OGATA, 2010).

Para processos que necessitam dos requisitos citados acima, tendo, por exemplo: a pasteurização do leite e máquinas de transformação de plásticos, onde a temperatura deve ficar praticamente inalterada, independente de fatores externos, o sistema mais indicado é o PID (NI 3782, 2015).

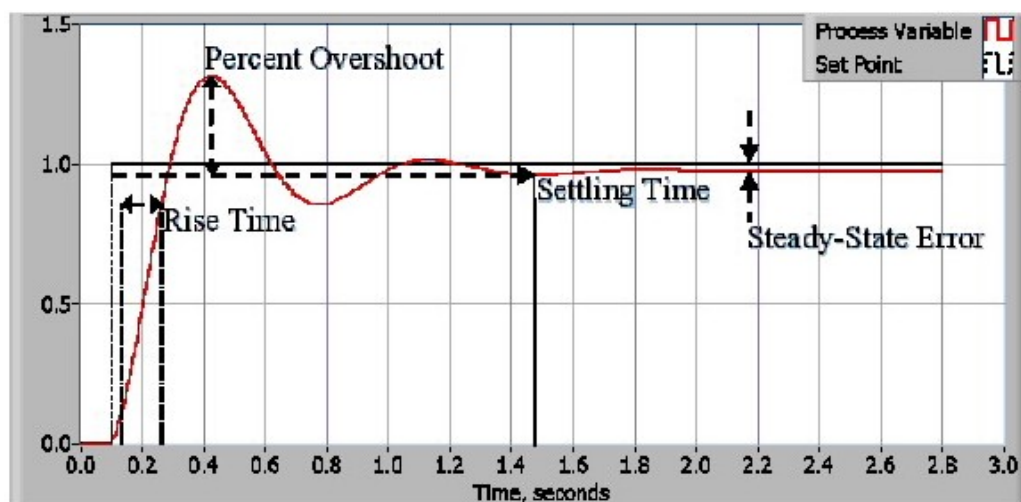
Este algoritmo é composto por três coeficientes: proporcional, integral e derivativo, que são variados para obter a resposta ideal. Mais da metade dos controladores industriais em uso atualmente emprega esquemas de controle PID (OGATA, 2010).

A grande empregabilidade deste tipo de controle é concedida devido ao seu desempenho robusto em várias condições de funcionamento e a sua aplicação simples e direta (OGATA, 2010).

2.7.2. Terminologia

O controle do sistema geralmente é medido pela aplicação de uma função degrau definida como comando de entrada (*set point*), em seguida é mensurado a variável de processo (saída) e a resposta é quantificada pelas características da variável de processo (NI. 3782,2015).

Figura 7 Resposta típica de um sistema PID malha fechada



Fonte: (NI.3782,2015)

Observam-se na Figura 77 as peculiaridades de uma resposta típica para um sistema PID, onde o tempo de subida (*rise time*) caracteriza-se como o período em que o sistema transita de 10 % para 90% do estado estacionário, ou valor final. O *percent overshoot*, como demonstra as indicações é um valor percentual que ultrapassa o limite, ou seja, valor final. O tempo de estabilização (*settling time*) é o ciclo necessário para que a variável de processo atinja um percentual determinado do valor final, geralmente são utilizados 5%. O erro do estado estacionário é a diferença final entre as variáveis de processo e o valor de entrada (NI. 3782,2015).

Outros dois requisitos de desempenho que devem ser observados são: tempo morto (*dead time*) e o ciclo de loop (*loop cycle*).

Figura 8 Resposta de um loop de um sistema de malha fechada com *dead time*



Fonte: (NI.3782,2015)

O *dead time* como se pode verificar na Figura 89 é resultante de um comportamento indesejado do sistema, ou seja, é o intervalo entre a alteração da variável de processo e o instante em que se observa esta mudança (NI.3782,2015).

Um exemplo de *dead time* é se um sensor de temperatura for colocado longe das resistências de um forno, o mesmo não irá medir a temperatura imediatamente quando houver variações na tensão de alimentação (NI.3782,2015).

O *loop cycle* é o intervalo de execução das operações repetitivas presentes no programa, que são dependentes da oscilação das variáveis de saída.

Sistemas que possuem uma dinâmica muito rápida conseqüentemente necessitam de menores valores (NI.3782,2015).

2.8. TEORIA PID

2.8.1. Resposta proporcional

Esta componente tem dependência apenas do erro estacionário. O ganho proporcional (KC) determina a taxa de resposta do sistema de controle, entretanto uma elevação muito grande no ganho proporcional ocasionará uma oscilação na variável de processo, podendo chegar a valores capazes de propiciar uma instabilidade no sistema ou até mesmo a perda total do controle (NI.3782,2015).

2.8.2. Resposta Integral

A componente da integral soma o termo do erro do estado estacionário ao longo do tempo, tendo com objetivo conduzir o erro do estado estacionário para zero (NI.3782,2015).

2.8.3. Derivada da Resposta

A derivada da resposta é proporcional à taxa de variação da variável de processo. Elevar o tempo derivativo (t_d) proporcionará uma reação mais forte do sistema de controle, quanto a alterações no parâmetro de erro do estado estacionário, resultando em uma elevação da velocidade de resposta do sistema (NI.3782,2015).

A alta sensibilidade da derivada de resposta aos ruídos no sinal da variável de processo força a parametrização de valores muito reduzidos para esta referência, pois um sinal ruidoso ou uma taxa de controle muito lenta em conjunto com uma derivada de resposta elevada pode tornar o sistema de controle instável (NI.3782,2015).

2.8.4. Ajustes

O processo de configuração ideal para os ganhos P, I e D para obter uma resposta ideal de um sistema de controle é chamado de ajuste (OGATA, 2010),

No método experimental, os termos I e D são definidos como zero e o ganho proporcional é aumentado até que se iniciam as oscilações na saída. Uma vez que a resposta proporcional foi definida com uma boa velocidade, porém sem prejudicar a estabilidade do sistema, a resposta integral é aumentada com o objetivo de reduzir ao máximo as oscilações, como consequência o erro do estado estacionário reduz ao máximo as oscilações, porém o *overshoot* aumenta o que colabora para uma resposta mais imediata das alterações (NI.3782,2015).

No momento em que a parametrização gera um sistema de controle rápido e com um erro mínimo e constante, inicia-se a regulagem do termo derivativo, aumentando o mesmo pode-se reduzir o *overshoot*, conseqüentemente aumenta-se o ganho, mantendo-se a estabilidade e aumentando a sensibilidade do sistema ao ruído. No método experimental é possível conforme a necessidade, compensar uma característica de um sistema de controle para melhorar outro (NI.3782,2015).

2.9. LABVIEW

É um *software* de programação gráfica que apresenta eficiência juntamente com versatilidade, tendo como característica marcante, facilitar o controle de instrumentos durante testes, possibilitando a aquisição, análise e apresentação de dados de medição (WANG, 2015).

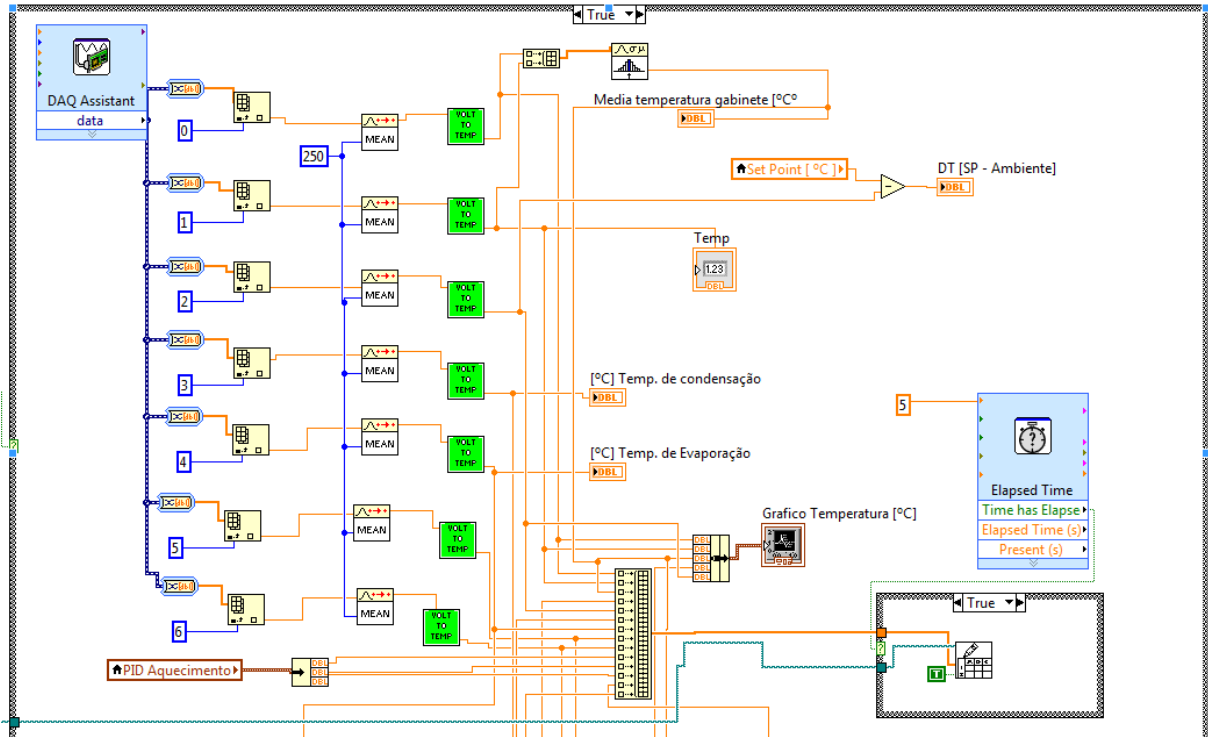
Seu ambiente de programação é caracterizado por desenvolver funções personalizadas para automatizar um dispositivo de aquisição de dados, executar algoritmos de processamento de sinais e exibir interface de usuários (NI.labVIEW, 2015).

A simplicidade na comunicação de rede e nos protocolos de comunicação (USB, RS232), juntamente com a eficiência no controle de processos e a facilidade na construção de interface com o usuário, tornam o labVIEW um importante *software* na área de automação (WANG, 2015)

O *software* possui uma grande biblioteca de funções, que permite através de blocos funcionais um fluxograma intuitivo, eliminando a necessidade de digitação de linhas de códigos, baseado em caracteres. Constam em sua biblioteca, funções específicas que auxiliam diretamente na aquisição, processamento e análise de dados, exibição de resultados e armazenamento (NI.labVIEW,2015).

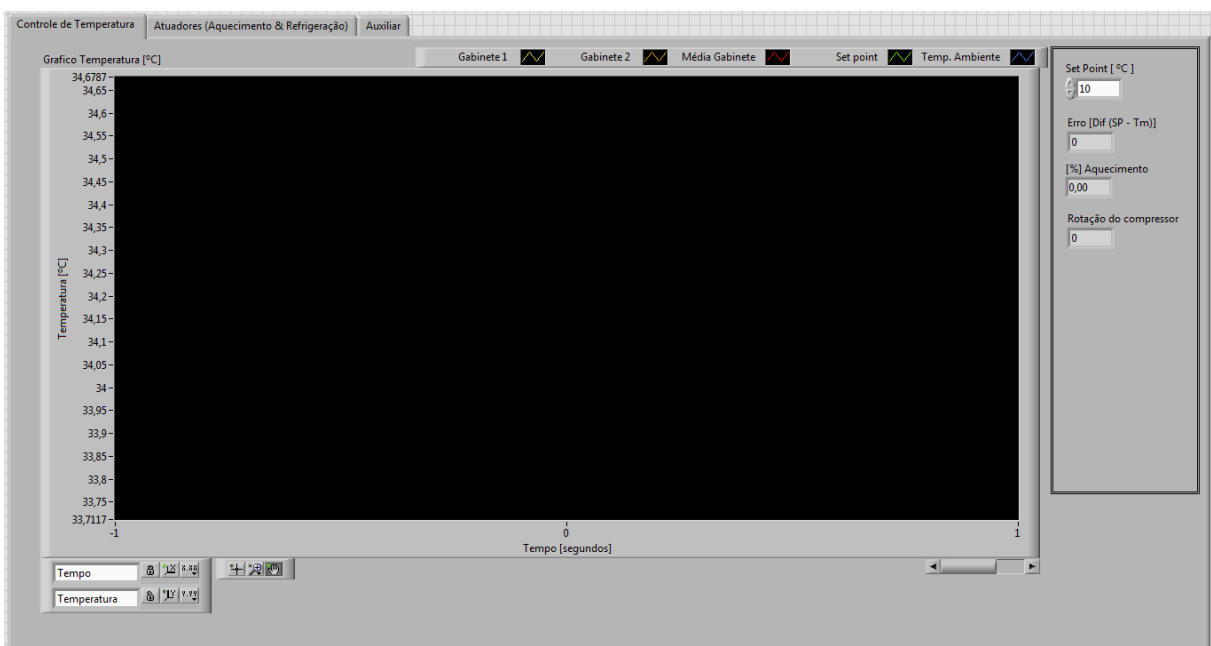
As telas criadas no labVIEW denominam-se instrumentos virtuais (VI). Todos os VI são compostos por duas partes: o diagrama de blocos Figura 9 e a interface do usuário .

Figura 9 Diagrama de blocos



Fonte: Autores

Figura 10 Painel de controle (Interface usuário)



Fonte: Autores

2.10. DISPOSITIVO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A função do dispositivo de aquisição de dados é possibilitar a interface entre o computador e os sinais medidos. O que ocorre é a conversão de um sinal analógico em uma palavra digital ou numérica de forma que um computador possa interpretá-la e armazená-la (NI, 2012).

Os componentes principais de um dispositivo Daq, usados para medir sinal de entrada e comunicar com o labVIEW através de protocolo USB são: os circuitos eletrônicos internos, o conversor analógico-digital (ADC) e o barramento de comunicação com o computador (NI, 2012), pode-se verificar na 1 a placa de aquisição citada

Figura 11 Placa de aquisição de sinais

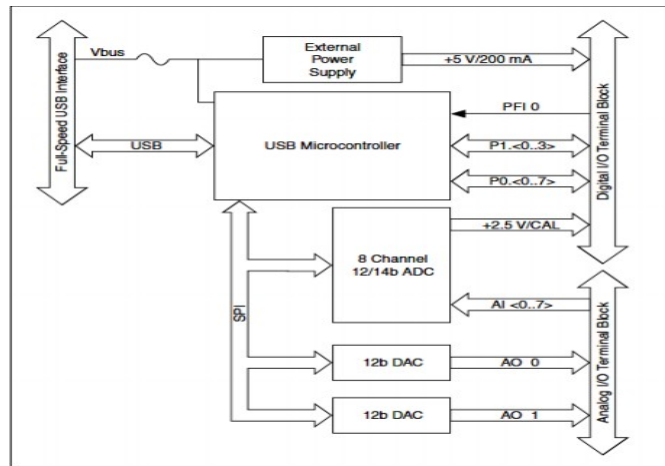


Fonte: Autores

Na Figura 122 pode-se visualizar o diagrama de blocos do dispositivo DAQ NI USB-6009, portanto este modelo possui quatro entradas analógicas diferenciais de 12 bits cada ou oito entradas analógicas *single-end* de 16 bits cada e taxa de amostragem de 10000HZ, duas saídas analógicas de 12 bits e taxa de amostragem

compartilhada de 150 Hz, 12 entradas e saídas digitais, contador de 32 bits (NI.dataacquisition, 2015).

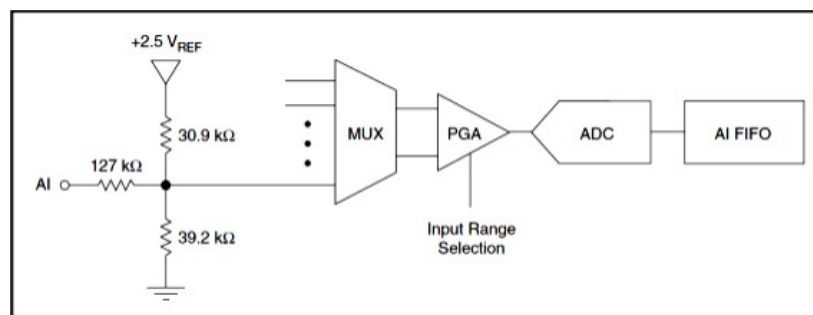
Figura 12 Diagrama de blocos DAQ NI USB-6009



Fonte: (NI,2012)

Na Figura 134, pode-se visualizar o diagrama funcional das entradas analógicas do dispositivo DAQ NI USB-6009. O multiplexador envia os sinais das entradas analógicas, uma por vez, ao amplificador de ganho programável(PGA), proporcionando ganhos automáticos, calculado com base no intervalo de tensão selecionado via *software*, de 1,2,4,5,8,10,16 ou 20 quando configurado para medições diferenciais e 1 quando configurado para medições *single-ended*. O conversor analógico-digital (ADC) digitaliza o sinal analógico de entrada digital (NI.dataacquisition, 2015).

Figura 13 Diagrama entradas analógicas DAQ NI USB-6009



Fonte: (NI,2012)

2.11. INVERSORES DE FREQUENCIA

2.11.1. Tipos de inversores

No mercado existem dois tipos de inversores de frequência: o escalar e o vetorial. Sua estrutura física é basicamente igual, porém os dois tipos de equipamento se diferem em relação ao controle do torque (SILVA. C,2015).

O inversor escalar tem o controle de torque baseado em uma relação tensão frequência fixa parametrizado pelo usuário (SILVA. C,2015).

Este tipo de equipamento é adequado quando há necessidade de partidas suaves, operação acima da velocidade nominal do motor e operação com constante reversão (SILVA.C,2015).

O inversor vetorial não segue a relação tensão frequência parametrizada pelo usuário, pois há um algoritmo incorporado ao *software* de controle que executa variações na relação tensão frequência conforme a solicitação de torque para determinada aplicação. Sua utilização é indicada para torques elevados com baixa rotação, controle preciso de velocidade e torque regulável. Como exemplo de aplicação pode-se citar os elevadores e pontes rolantes (WEG,2005).

2.11.2. Dimensionamento de inversor de frequência

Para dimensionar um inversor de frequência deve-se conhecer a carga de acionamento, a tensão da rede e calcular a corrente que será drenada do inversor, como descrito na equação 3.

$$I = \frac{P}{V \cdot FP} \quad (3)$$

Onde:

I= Corrente nominal do inversor (A)

P= Potência da carga (W)

V= Tensão nominal da rede (V)

FP= Fator de potência do inversor (0,8)

2.12. COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

2.12.1. Compressor

O Compressor aplicado ao sistema de refrigeração tem como função absorver o fluido refrigerante no estado de vapor e comprimi-lo em alta pressão sobre o condensador. Dividindo assim o sistema em setor de alta pressão (condensador) e de baixa pressão (evaporador), (WIRZ, 2011).

Existem vários tipos de compressores, os mais comuns são os alternativos, rotativos, de engrenagens, palhetas, parafuso e o caracol (*scroll*). Estes ainda podem ser divididos de várias formas como hermético e semi-hermético, onde o motor e o compressor estão alojados numa única carcaça sem acesso externo, ou pelo número de estágios de compressão, ou ainda como sendo do tipo direto ou indireto, onde o motor é acoplado no mesmo eixo do compressor ou esta transmissão é feita através de polias (SILVA, 2013).

Os mais comuns para refrigeração doméstica são os compressores herméticos alternativos, onde o nome vem do movimento alternativo do pistão. Neste tipo de compressor, entrada e saída do fluido refrigerante são comandadas por uma válvula localizada na tampa do cilindro. Um sistema de transmissão tipo biela e manivela, articulada com pistão, permite a transformação do movimento rotativo do motor elétrico em movimento alternativo do compressor (SILVA, 2013).

Pode-se calcular o deslocamento volumétrico do compressor dos compressores alternativos a partir da equação 4 (SILVA, 2013)

$$DV = \frac{\pi D^2}{4} L \quad (4)$$

Onde:

DV = Deslocamento volumétrico do compressor (mm³)

D = Diâmetro do cilindro (mm),

L = Curso do pistão (mm);

Pode-se definir o fluxo de massa gerado pelo deslocamento volumétrico a partir da equação 5 (SILVA, 2013).

$$\dot{m} = DV \cdot \rho \cdot n \quad (5)$$

Onde:

\dot{m} = Fluxo de massa (kg/s)

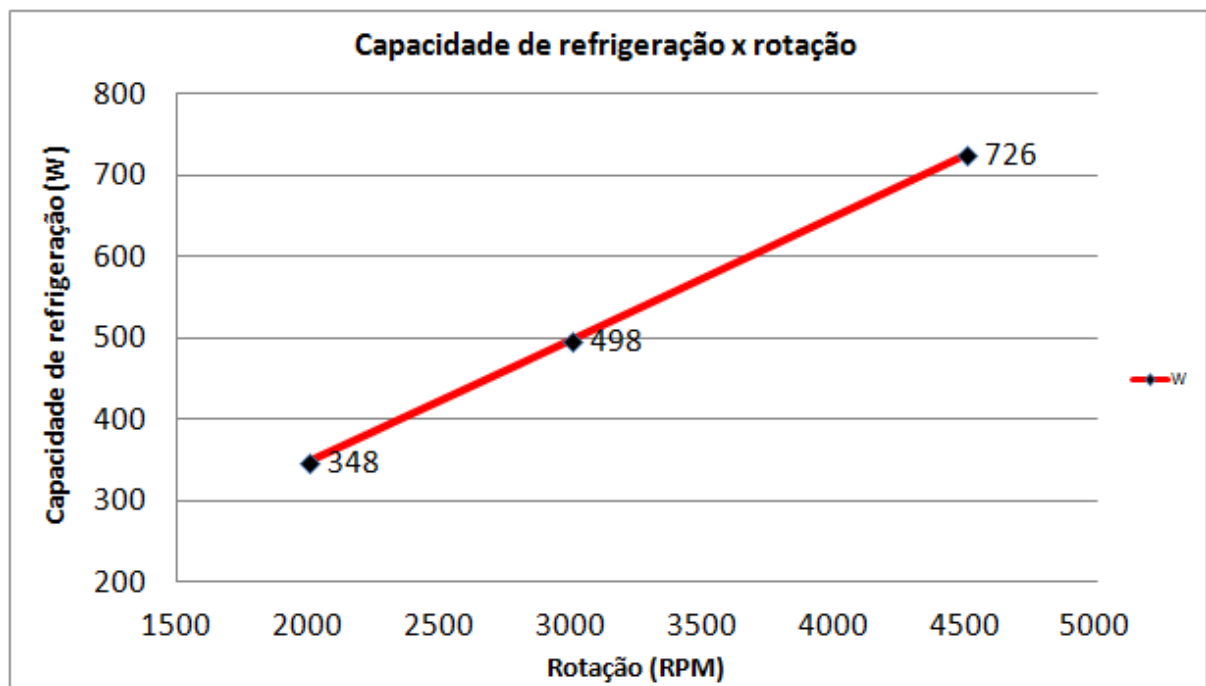
DV= Deslocamento volumétrico do pistão (cm³)

ρ = Densidade do fluido (kg/cm³)

n = rotação do compressor (1/s)

O Gráfico 1, apresentado abaixo exibe a capacidade de refrigeração produzida por um compressor em função da rotação que o mesmo pode operar. Sabe-se que a capacidade de refrigeração está em função ainda de outros fatores, como as temperaturas de condensação e evaporação, porém fixando estas condições em 35°C e 5°C respectivamente, traçou-se o gráfico com as informações obtidas em catálogo. Para este exemplo utilizamos o compressor VEMY 4HM, o mesmo utilizado neste projeto.

Gráfico 1 Capacidade de refrigeração VS rotação do compressor



Fonte: Autores

2.12.2. Evaporador

Evaporadores são trocadores de calor utilizados para absorver calor de um determinado meio a ser refrigerado, através da circulação e evaporação de um fluido refrigerante. Podem ser fabricados de alumínio, aço, cobre, latão entre outros materiais. Podem ter aletas, arames, tubos, entre outros artificios criados para aumentar a área de troca térmica. A capacidade de troca térmica de um evaporador pode ser calculada, de acordo com a equação 6 (SILVA,2013):

$$Q_e = U \cdot A \cdot \Delta T$$

(6)

Onde:

Q_e = Capacidade de troca térmica (W)

U = coeficiente global de troca térmica do evaporador (W/m².°C)

A = área de troca (m²)

ΔT = Diferença de temperatura entre o evaporador e o meio em que ele está inserido (°C)

2.12.3. Condensadores

Condensadores tem função similar ao do evaporador, porém ao invés de absorver calor de um determinado meio, o condensador rejeita, ou libera o calor absorvido no evaporador e no processo de compressão para a meio onde está inserido.

Os condensadores tem o mesmo princípio de construção dos evaporadores e são fabricados a partir dos mesmos materiais. A capacidade de troca térmica do condensador (Q_c) também é calculada a equação 6 citada no item anterior (SILVA,2013).

2.12.4. Dispositivo de expansão

Os dispositivos de expansão têm como objetivo, controlar a passagem de fluido refrigerante para o evaporador, e evitar que o fluido em forma líquida chegue até o compressor. Os dispositivos de expansão mais comuns são: Tubo capilar, válvula de expansão automática (pressão constante) e válvula de expansão termostática (superaquecimento constante),(SILVA,2013).

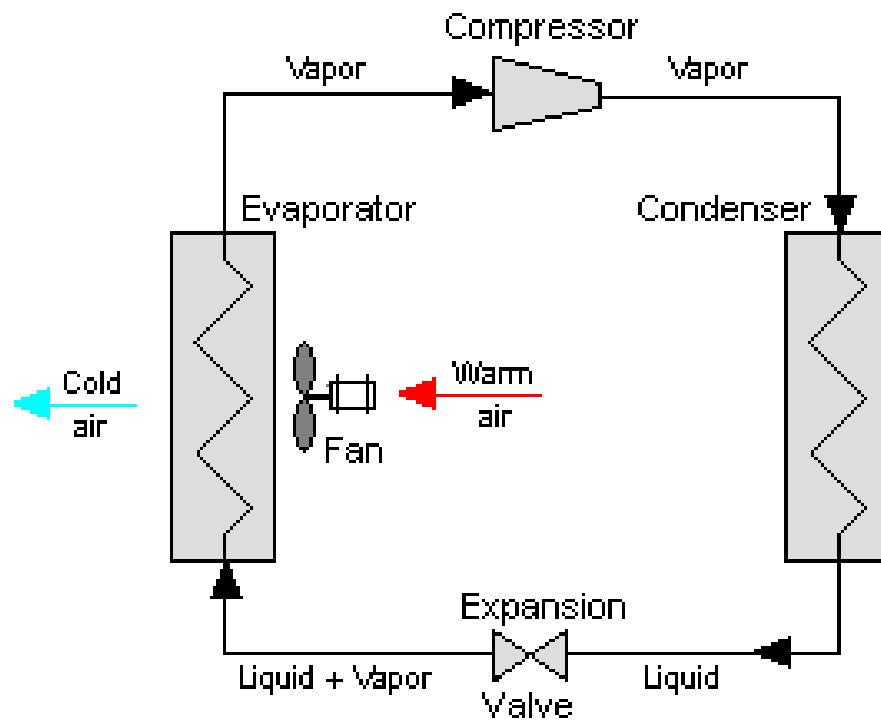
Os tubos capilares são os mais empregados na refrigeração doméstica. O diâmetro dos tubos normalmente é de 0,6mm e seus comprimentos variam de acordo com o sistema, podendo chegar a mais de 4 metros (SILVA,2013).

2.12.5. Ciclo de refrigeração

O ciclo de refrigeração pode ser definido como um sistema térmico que absorve calor de um determinado meio e o libera em outro meio, através da compressão e evaporação de um fluido refrigerante.

O Compressor succiona o fluido refrigerante que neste ponto está no estado de vapor superaquecido comprimindo-o sobre o condensador. Na entrada do condensador fluido refrigerante encontra-se no estado de vapor saturado em alta pressão, iniciando o processo de troca térmica com o ambiente externo. Ao longo do condensador ocorre a mudança de fase de vapor saturado para líquido comprimido. No final do condensador o fluido já encontra-se na temperatura abaixo da temperatura de saturação na forma de líquido sub resfriado a alta pressão. Desta forma o fluido entra no dispositivo de expansão (tubo capilar) para ocorrer a queda de pressão entrando no evaporador. O fluido refrigerante encontra-se neste ponto como vapor a baixa pressão e temperatura. A medida que o fluido absorve calor do ambiente em que o evaporador está inserido, o fluido se torna vapor super aquecido, sendo succionado novamente pelo compressor e reiniciando o ciclo.

Figura 14 Ciclo de refrigeração



Fonte: Autores

3. DESENVOLVIMENTO

No presente capítulo serão descritos as etapas de desenvolvimento do dispositivo. Serão abordados os seguintes itens: Materiais utilizados, acionamentos elétricos, projeto do dispositivo, Instrumentação e aquisição de dados, Programação e controle.

3.1. DISCIPLINAS EMPREGADAS

Ao longo do desenvolvimento do projeto notou-se correlação entre as atividades desenvolvidas e as disciplinas cursadas, abaixo segue um breve descritivo destas correlações:

Fenômenos dos transportes: Verificou-se a necessidade de conhecimentos na área de transferência de calor e propriedades termodinâmicas, sendo estes conceitos necessários para a confecção do dispositivo, montagem e funcionamento da unidade de refrigeração.

Acionamentos elétricos: Verificou-se a aplicação dos assuntos relacionados a esta disciplina na seleção dos materiais, no projeto e confecção do painel de comando.

Metrologia e Instrumentação: Os conhecimentos adquiridos nesta disciplina foram necessários para seleção dos dispositivos de medição de temperatura.

Programação: Foram utilizados no projeto os conhecimentos adquiridos na utilização do *software* LabView, podendo assim fazer uma interface dos valores de temperatura mensurados com o controle da parte do aquecimento e da refrigeração.

Teoria de controle: Com embasamento teórico desta disciplina foi possível realizar o desenvolvimento dos controles PID.

Conversão de energia: houve a necessidade de conhecimentos na área de motores elétricos e inversores de frequência, observados na disciplina citada.

Eletrônica Analógica: proporcionou o entendimento e a utilização do conversor A/D, assim como a fonte chaveada instalada no painel de controle.

Projetos Mecânicos: Através dos conhecimentos absorvidos, foi possível realizar o projeto 3D do dispositivo bem como selecionar os componentes de fixação.

3.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados no desenvolvimento do projeto estão relacionados na tabela 1, juntamente com os valores investidos.

tabela 1 Materiais utilizados

Componente	Custo total	Observação
Chapa madeirite 9 mm	R\$ 70,00	Construção gabinete
Sarrafo madeira cedrinho 20 X 20 mm	R\$ 56,00	
Parafusos, porcas e arruelas	R\$ 30,00	
Calha alumínio 0,6x10 mm	R\$ 17,00	
Compressor Embraco VEMY 4HM 12-24 DC	R\$ 200,00	Empréstimo Embraco
Condensador tubo aletado	R\$ 50,00	
Evaporador tubo aletado	R\$ 50,00	
Carga de fluido R134a	R\$ 80,00	
Tubo capilar 0,96 mm	R\$ 20,00	
Inversor de frequência Embraco	R\$ 300,00	
Ventilador condensador	R\$ 50,00	
Ventiladores internos	R\$ 120,00	
Resistências aletadas 350W/220 V	R\$ 30,00	
Rele de estado sólido	R\$ 80,00	
Fonte 24V-10 A	R\$ 150,00	
Termistores NTC	R\$ 50,00	
Barras de led 12V 6W	R\$ 20,00	
Acionamentos	R\$ 250,00	Empréstimo IFSC
Fiação e cabeamento 2,5-1,5 mm	R\$ 30,00	
Placa DAQ 6009	R\$ 1.000,00	
Componentes Eletrônicos		
Custo total Estimado	R\$ 2.689,00	Considerando empréstimos

Fonte: Autores

Considerando os empréstimos cedidos pelas instituições citados na tabela 1, o custo do projeto para os autores foi de R\$ 209,00.

3.3. REFRIGERAÇÃO

3.3.1. Condensador

O condensador selecionado para o projeto foi o de tubo aletado, com área frontal de 5520 mm^2 , medindo $230 \times 240 \times 80 \text{ mm}$ (L x C x H). Contém 60 aletas de alumínio que aumentam a capacidade de troca térmica com o ambiente, elas foram confeccionadas com tubos de cobre de $3/8''$ de diâmetro, que atravessam transversalmente o condensador doze vezes.

Para melhorar a capacidade de troca térmica com o ambiente, utilizou-se um único ventilador, sendo especificado desta maneira N5-13/221 220V 50~60Hz - 1400RPM, possuindo cinco pás de plástico que succionam o ar ambiente sobre o condensador, e direcionam o fluxo de ar sobre o compressor. Abaixo se verifica através da Figura 155 o sentido do fluxo de ar da unidade condensadora.

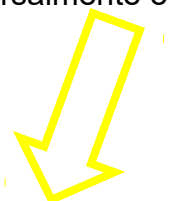
Figura 15 Fluxo de ar da unidade condensadora



Fonte: Autores

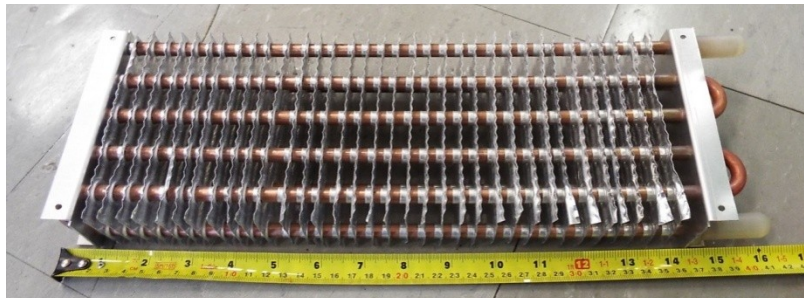
3.3.2. Evaporador

O evaporador selecionado para o projeto foi do tipo tubo aletado, com área frontal de 4680 mm^2 , com as seguintes dimensões $160 \times 360 \times 50 \text{ mm}$ (L x C x H). Ele contém 34 aletas de alumínio perpendiculares aos tubos de cobre, que possuem diâmetro de $3/8''$, atravessando transversalmente o evaporador seis vezes.



Existe há necessidade de ventilação forçada nesta parte do dispositivo, sendo realizada por um conjunto de três ventiladores internos modelo BRUSHLESS ABF0824SHE 24V 0,5A, que estão posicionados atrás do evaporador, sugando o ar do fundo do gabinete sobre o evaporador, e direcionando o fluxo de ar sobre as resistências no fundo falso do gabinete. Na Figura 166 podemos visualizar o evaporador utilizado no projeto.

Figura 16 Evaporador



Fonte: Autores

3.3.3. Dispositivo de expansão

O dispositivo de expansão selecionado para este projeto foi o tubo capilar, amplamente utilizado em refrigeradores domésticos. Utilizamos 3,20 metros de tubo de cobre, com 0,96 mm de diâmetro interno e 2,18mm de diâmetro externo, conforme se observa na Figura 177.

Figura 17 Tubo capilar



Fonte: Autores

3.3.4. Compressor

O compressor selecionado para o projeto foi do tipo hermético da marca Embraco e modelo VEMY 4HML/M/HBP (Baixa/Media/Alta pressão de sucção). O mesmo foi dimensionado para trabalhar com o fluido refrigerante R134a e uma carga de óleo de 350ml. O motor caracteriza-se por um enrolamento trifásico, com tensão nominal de 60V, em regime de trabalho sua rotação pode variar entre 1600 a 4500 RPM. O deslocamento volumétrico (DV) especificado é de quatro cm³

A temperatura máxima de condensação recomendada é de 65°C e a temperatura de evaporação pode atingir valores de até 35°C, produzindo capacidades que variam de acordo com as condições de operação em que o mesmo é utilizado. No caso do projeto, foram fixadas da seguinte forma: temperatura de condensação em 35°C e a temperatura de evaporação em 5°C, resultando em uma capacidade de refrigeração que varia de 348 à 726 W de acordo com a rotação em que o compressor esta operando. Verifica-se na Figura 18 o modelo utilizado no projeto.

Figura 18 Modelo compressor



Fonte: Autores

3.3.5. Fluido refrigerante

Tetrafluoroetano ou R-134a é um fluido refrigerante largamente utilizado em produtos de refrigeração, em substituição ao Freon. Foi utilizado 150 gramas deste fluido refrigerante neste projeto. O sistema encontra-se vedado para evitar vazamentos, dispensando desta forma válvulas para adição de novas cargas.

3.3.6. Inversor de frequência

Buscou-se na escolha do inversor de frequência um equipamento que possibilitasse simplicidade na sua aplicação juntamente com um bom desempenho na função que o mesmo deve exercer.

A partir dos requisitos citados acima foi selecionado um inversor com aplicação dedicada ao compressor utilizado para o projeto. Não possuindo nenhum tipo de IHM, nem entradas e saídas (digitais ou analógicas), sua alimentação é 24 V DC, dispensando fonte de retificação interna. Possui uma CPU com interface RS232 (comunicação serial), a qual é conectada ao computador e troca informações de rotação (leitura e escrita) através do *software* Labview. O equipamento conta com uma saída trifásica com tensão nominal de 60 V, esta será ligada ao compressor do sistema de refrigeração. Na Figura 19 é possível visualizar as especificações do inversor de frequência selecionado.

Figura 19 Etiqueta de identificação do inversor de frequência



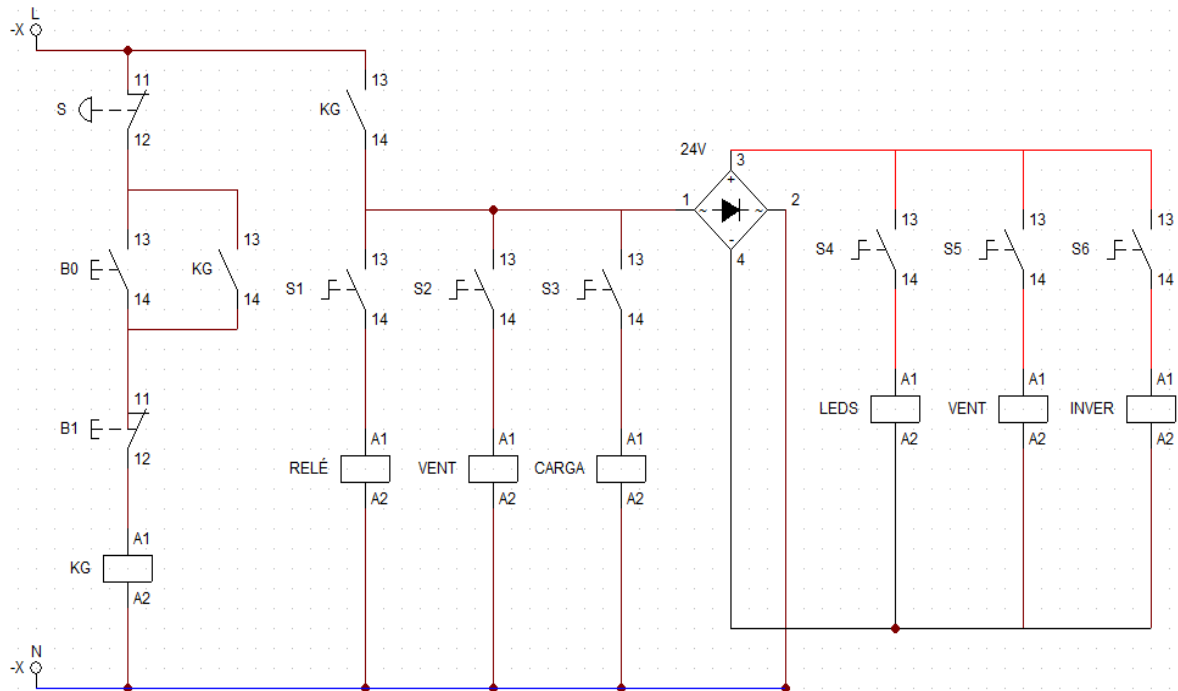
Fonte: Autores

3.4. ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

Para alimentação do circuito, utilizou-se uma única contatora (KG), energizada a partir do acionamento da botoeira B0, esta alimenta uma fonte 24 Vcc 10 A, que fornece energia para os componentes que necessitam de tensão reduzida e constante. A contatora (KG) permanece acionada mesmo após a abertura do contato B0, devido ao contato de selo (KG). A desenergização do circuito acontece quando a botoeira (B1) e/ou a chave de emergência (S) é pressionada, Pode-se observar de uma maneira mais sistemática do circuito através da Figura 20Figura 2020

A contatora (KG) quando acionada permite que as demais etapas do circuito possam ser alimentadas dependendo ainda da posição das chaves de seleção, descritas no painel da seguinte forma: rele de estado sólido (S1), ventilador do condensador (S2), carga térmica (S3) (que será acionada quando houver a intenção de desequilibrar termicamente o ambiente interno), iluminação (S4) (onde seu acionamento permite a passagem de tensão proveniente da fonte 24V, alimentando duas barras de led 12 Vcc ligadas em paralelo), ventilação interna (S5) (quando acionada permite a alimentação dos três ventiladores citados no item 3.3.2), a chave de seleção (S6)(permite o funcionamento do inversor de frequência, entretanto, é importante salientar a dependência do recebimento de dados provenientes da interface RS 232 que informará a rotação de trabalho). Todas as chaves de seleção possuem sinalizadores luminosos que permitem visualizar quando as mesmas estão acionadas.

Figura 20 Diagrama elétrico do painel de comando



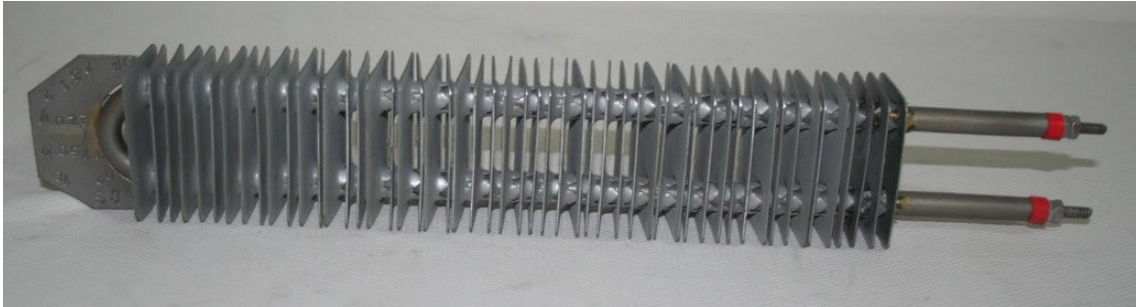
Fonte: Autores

3.5. RESISTÊNCIAS

Foram selecionadas duas resistências aletadas de 350W/220V cada, totalizando uma capacidade máxima de aquecimento de 700W, as mesmas foram posicionadas no fundo falso do dispositivo sobre suportes metálicos, fabricados do mesmo material utilizado para revestir as paredes do dispositivo. Este revestimento tem a função de isolamento térmico aumentando a segurança quando as resistências estiverem aquecendo.

O chaveamento do relé de estado sólido gerado através de um sinal PWM, produzido pela placa DAQ 6009, possibilita a transferência de energia para as resistências. Pode-se observar na Figura 211 a resistência utilizada no projeto.

Figura 21 Resistência aletada de 350W/220V



Fonte: Autores

3.6. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

Para este projeto foi selecionado um relé de estado sólido modelo 240D25, que tem capacidade de fornecer até 25 A de corrente e suporta até 240V de tensão entre seus terminais.

O acionamento é realizado através de um sinal de tensão que pode variar entre 3 a 32 volts DC. O componente escolhido é capaz de suportar as condições impostas pelo funcionamento do dispositivo, uma vez que o valor de corrente máxima que a resistência pode drenar é de 3,18 A (700W), submetidos a tensão de 220V da rede elétrica e o sinal de controle gerado pela placa DAQ6009 também é compatível (5 Vcc). Na Figura 22 visualiza-se o componente descrito neste item e utilizado no projeto.

Figura 22 Relé de estado sólido modelo 240D25



Fonte: Autores

3.7. CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

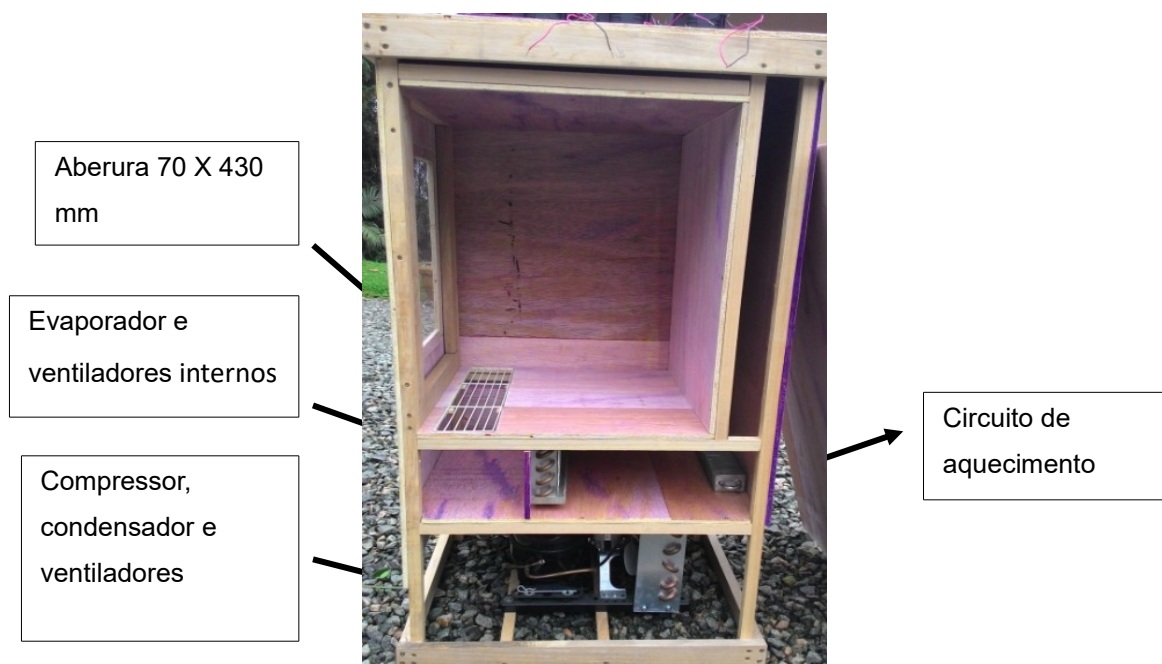
Na estrutura do dispositivo foram utilizados sarrafos de madeira de 20 x 20 mm, os quais foram unidos entre eles e a chapas de madeirite de 9 mm de espessura, através de parafusos, porcas e arruelas.

O único requisito dimensional previsto para o projeto foi possibilitar a instalação dos equipamentos selecionados e viabilizar o fluxo de ar na parte interna do dispositivo. As dimensões do ambiente em que se deseja controlar a temperatura interna são 430 x 500 x 440 mm (L x C x H).

Como se observa na Figura 23 a unidade condensadora composta por compressor, condensador e ventilador ficou alojada no fundo da estrutura e o evaporador logo acima, isolado por uma lâmina de madeirite de 9 mm e uma manta térmica.

Os três ventiladores internos, posicionados em paralelo com o evaporador sugam o ar da parte interna do dispositivo através de uma abertura de 70 x 430 mm, onde se fixou uma grade metálica que permite o fluxo de ar para o evaporador e sobre as resistências, gerando um ciclo de circulação de ar pelos atuadores. Na Figura 23 foi indicado através de setas desenhadas o fluxo de ar descrito.

Figura 23 Estrutura interna do dispositivo



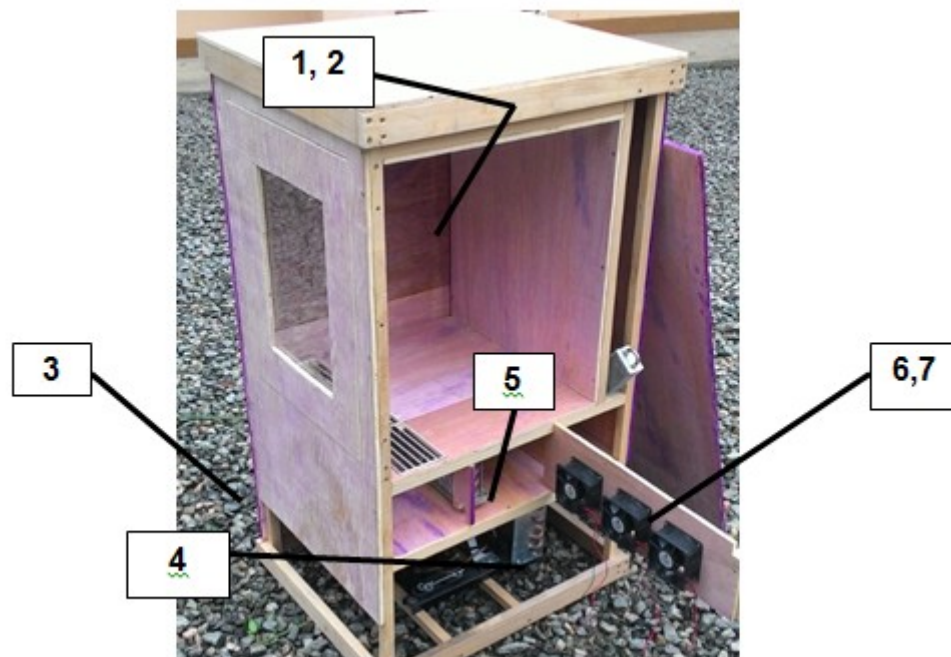
Fonte: Autores

3.7.1. Posicionamento dos termistores

Para o projeto foram selecionados sete termistores do tipo NTC devido à faixa de resolução do sistema de aquisição de dados (6 mV). Estes dispositivos têm como função realizar leituras de temperatura, gerando sinais analógicos, que serão transformados em sinais digitais por intermédio de um conversor, que será descrito de forma detalhada no tópico 3.8.

Analisando a e a tabela 2, compreende-se melhor sobre a localização desses leitores, sendo assim é possível visualizar que na parte superior foram fixados dois termistores para monitoramento da temperatura do dispositivo, outros dois foram instalados como sobressalentes no fundo do gabinete entre os ventiladores e as resistências e serão usados conforme a necessidade de manutenção. Para leitura da temperatura do ambiente externo disponibilizou-se um leitor para esta função, e finalizando foram firmados outros dois termistores, sendo um no condensador e outro no evaporador.

Figura 24 Posição dos termistores



Fonte: autores

tabela 2 Localização dos termistores

Num TR	Canal placa DAQ	Localização
1	AI0	Gabinete ponto 1
2	AI1	Gabinete ponto 2
3	AI2	Ambiente externo
4	AI3	Condensador
5	AI4	Evaporador
6	AI5	Auxiliar 1
7	AI6	Auxiliar 2

Fonte: Autores

3.8. INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Utilizou-se como conversor A/D a placa DAQ 6009 do fabricante National Instruments, este modelo disponibiliza 8 entradas analógicas, 2 saídas analógicas, e 12 entradas ou saídas digitais. A porta USB serve como conexão com o computador que alimenta a placa e processa as informações com o auxílio do *software* Labview.

Neste projeto foram utilizadas sete entradas analógicas para os termistores, sendo que a disposição dos mesmos já foi explanada na tabela 2, cada canal foi ligado em série com um resistor de 10K ohms, e alimentados em 5 Vcc, sendo esta alimentação fornecida pela placa .

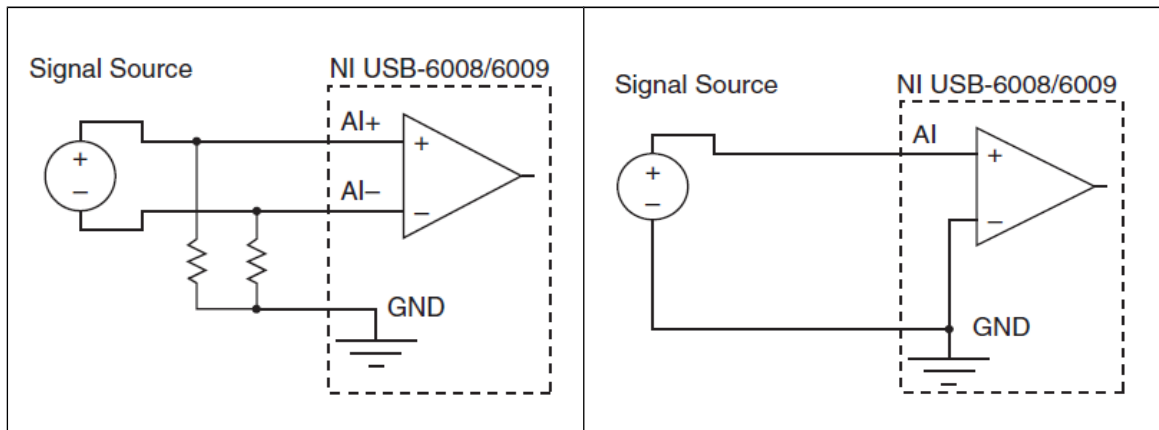
O valor mensurado de tensão sobre os termistores é obtido através do valor de resistência elétrica interna que sofre variações conforme alterações da temperatura do ambiente em que o mesmo está instalado, o valor de tensão é recebido pelo conversor que envia os dados para o *software*, que executa uma conversão de tensão em graus Celsius.

Os termistores NTC estão fisicamente ligados, e logicamente programados para serem lidos na configuração *single-ended* (RSE), que realiza a leitura da tensão de um ponto, tomando como referencia o GND do circuito.

Optou-se por esta configuração, pois através da mesma é possível efetuar a leitura de 8 termistores. Na outra configuração disponível *Diferencial* (Diff), o número de entradas é reduzido pela metade, o que torna inviável este tipo de

aplicação no projeto, apesar da resolução ser aumentada. Segue na as configurações de ligação disponíveis para a placa utilizada

Figura 25 Configuração *differential*(DIFF) e *Single-ended* (SER), respectivamente



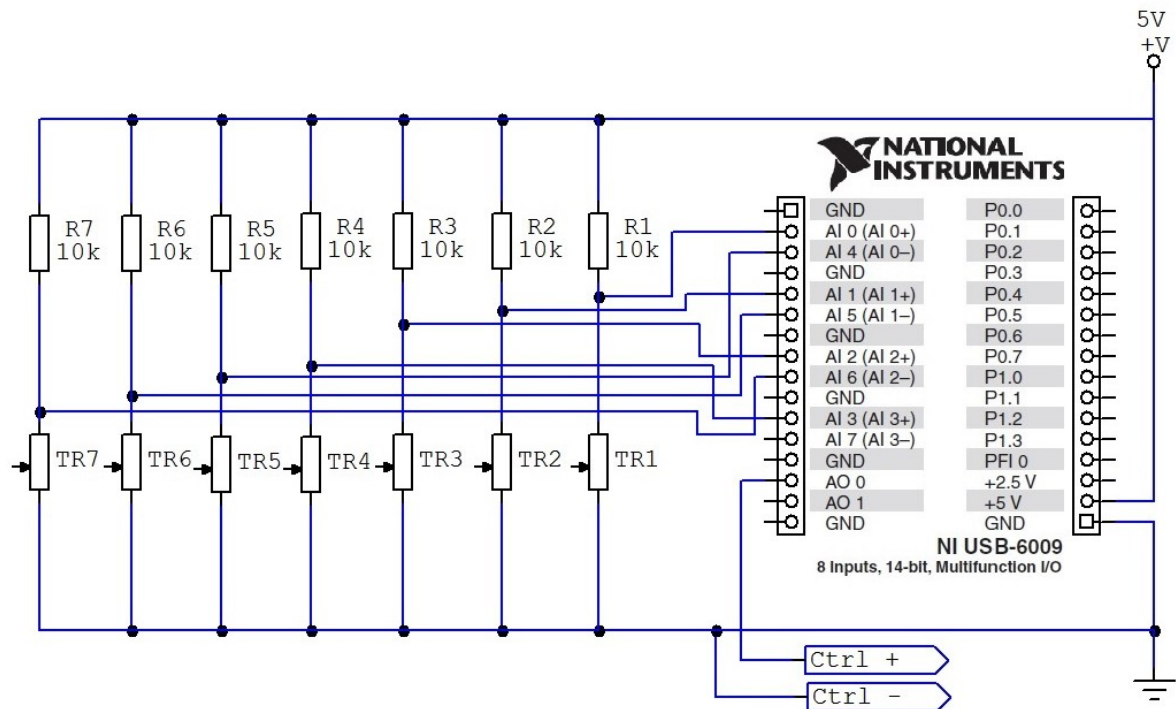
Fonte: NationalInstruments

Ocupou-se a saída analógica (AO 0) para realizar o acionamento do relé de estado sólido, conforme já citado no item 3.6. este componente possibilita o aquecimento das resistências. Esta saída gera sempre um sinal de 0 ou 5 volts, numa frequência pré estabelecida de 25Hz , logo, a única alteração disponível neste sinal é o período de acionamento, ou seja, o *dutycycle*.

Este valor é resultante do processamento realizado pelo controlador PID, do programa labview, desta forma conseguimos executar o acionamento das resistências, através de um processo simplificado e seguro.

O Sinal de controle enviado ao relé de estado sólido está representado na Figura 2626 como os terminais Ctrl + e Ctrl -, as demais ligações presentes na placa também estão representadas na mesma.

Figura 26 Esquema elétrico da ligação dos termistores e sinal de controle do relé



Fonte: Autores

3.8.1. Aferição dos termistores

Os termistores utilizados neste projeto são do tipo NTC, amplamente aplicados na área de refrigeração. Este tipo de dispositivo sofre variações em seu valor de resistência elétrica interna quando expostos a variação de temperatura. Com auxílio de *software* é possível transformar este valor de resistência em temperatura instantânea, estas informações de conversão são concedidas por qualquer fabricante, porém, não foi possível consultar estas referências devido a indisponibilidade do *datasheet*. Buscou-se através de um procedimento, conseguir estas informações.

Primeiramente os termistores NTC foram submetidos à ligação elétrica e a configuração de leitura citada no tópico 3.8, os mesmos foram imersos em uma solução líquida de 50% de água e 50% de etilenoglicol, com o objetivo de reduzir a temperatura de solidificação da água, devido às temperaturas que estes foram submetidos durante a aferição (0°C, 15°C, 30°C e 45°C). Através da tabela 3, verifica-se os valores de tensão referentes à temperatura:

tabela 3 Resultados dos testes de aferição

Termistor	0°C	15°C	30°C	45°C
TR1	3,774	3,049	2,252	1,551
TR2	3,791	3,070	2,274	1,570
TR3	3,787	3,065	2,270	1,566
TR4	3,791	3,070	2,273	1,569
Média	3,786	3,063	2,267	1,564

Fonte: Autores

Com auxílio do *software* (EES) e a partir dos valores da tabela 3, foi gerado a equação 7 onde é possível calcular os valores de temperatura em função da tensão gerada nos termistores, correspondente a faixa de temperatura definida nos testes.

$$T = (98,6650 - 47,9485 * V) + (10,7895 * V^2) - (1,3229 * V^3) \quad (7)$$

Onde:

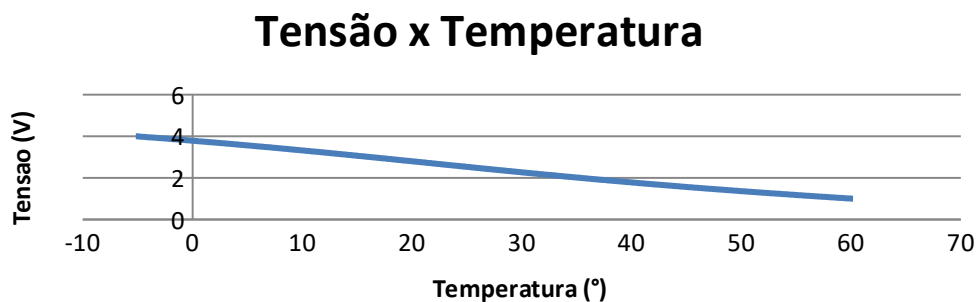
T= Temperatura em função da tensão (°C)

V= Tensão dos termistores a uma determinada temperatura (V)

O gráfico 2 representa a partir da equação 7 os valores de temperatura em função

da tensão gerada pelos termistores para uma faixa de temperatura de 0 a 45 °C.

Gráfico 2 Temperatura em função da tensão dos termistores



Fonte: autores

Utilizou-se como padrão para aferição dos termistores um dispositivo padrão da Embraco registrado internamente como TIN-2481, que também possui aferição próxima do range utilizado. Seu nível de incerteza tem seu valor máximo em 45°C, onde apresenta uma incerteza de +/- 0,1050°C. Conforme pode ser visto na figura 27.

Figura 27 Registro de aferição dos termistores

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://autolab.embraco.com.br/Cadastrador.aspx?entid>. The page header displays the logo for AUTOLAB EMBRACO and the text 'Sistema para gestão de instrumentos e controle metrológico'. Below the header, there are navigation buttons for 'Consultas' and 'Atalhos', and a title 'Cadastro da faixa calibrada'. The main content area shows 'Registro 1 de 1' and a section for 'Identificação do registro' with the following details: 'Calibração : 19/6/2015 09:24:16' and 'Faixa calibrada : -100..199,99 °C / Pt100'. Below this is a table titled 'Registro das medições' with the following data:

Unidade	Ponto calibrado	Valor do instrumento	Valor do padrão	Resultado da medição	Incerteza expandida	Erro Inferior
°C	0	-0,06	-0,0460	-0,0140	0,012946	-0,0270
°C	20	19,9	19,9775	-0,0775	0,013450	-0,0909
°C	45	44,88	44,9711	-0,0911	0,013880	-0,1050

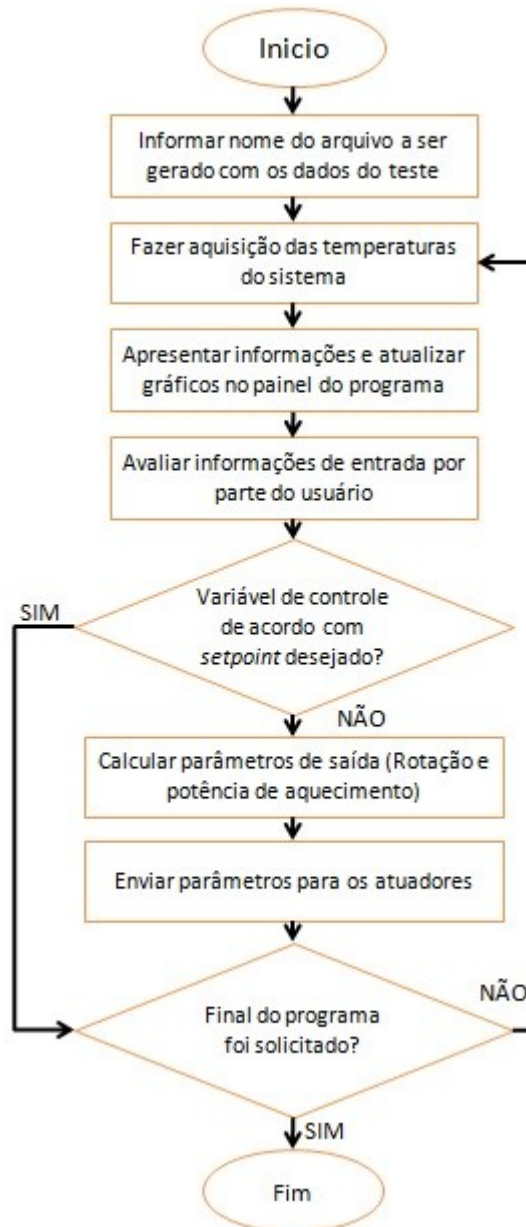
Fonte: autores

3.9. CONTROLE

O *software* utilizado para programação do dispositivo é o Labview fornecido pela empresa National Instruments, sendo esta uma referência em placas de aquisição e *software* de manipulação de sinais.

O programa criado para controle do dispositivo, pode ser basicamente, separado em 3 etapas: aquisição de dados, comparação com valores meta, resposta aos atuadores, na Figura 28 representa-se as etapas do programa.

Figura 28 Fluxograma do programa



Fonte: Autores

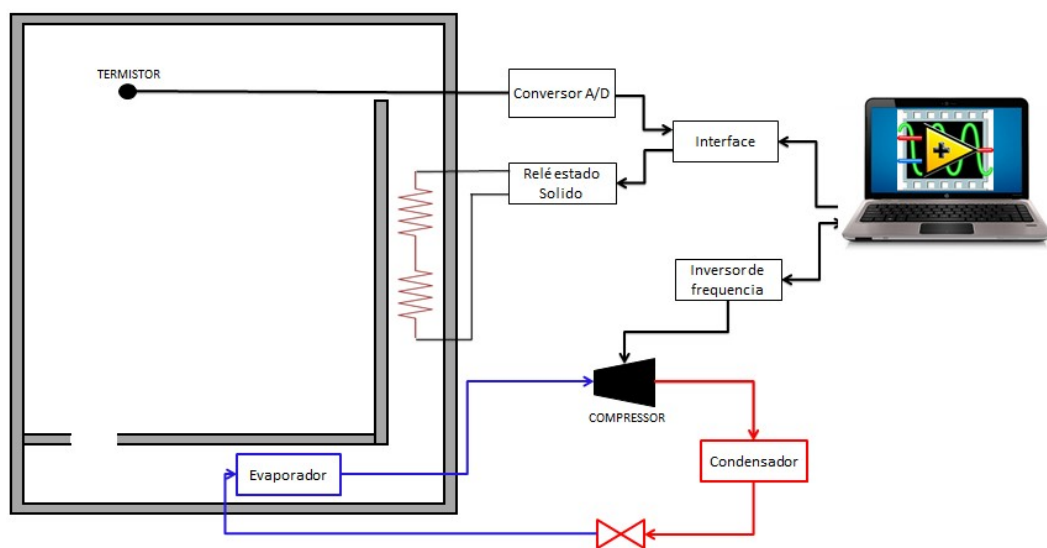
A aquisição de dados consiste, em receber os valores de tensão sobre os termistores NTC obtidos da placa e converte-los em temperatura, obedecendo à equação 7. A taxa de aquisição e leitura de temperatura corresponde a 4Hz, lembrando que são 7 termistores NTC lidos simultaneamente e organizados dentro de estruturas do programa.

Após aquisição, processamento e organização dos dados dentro do programa, o mesmo determina a temperatura média do gabinete e a diferença entre esta e o *set point*, denominando-se Erro, em seguida estas informações são

armazenadas em um arquivo .dat, gerando um histórico do ensaio e simultaneamente é gerado um gráfico com este conjunto de dados.

Para atingir o objetivo de um controle de malha fechada, utilizou-se um módulo PID disponível no *software*, desta forma a rotina do programa sempre busca o menor Erro possível, estipulando aos atuadores valores de trabalho em função do Erro. O dispositivo é composto por dois atuadores: refrigeração e aquecimento, conforme se verifica na Figura 299:

Figura 29 Diagrama de blocos da planta de controle



Fonte: Autores

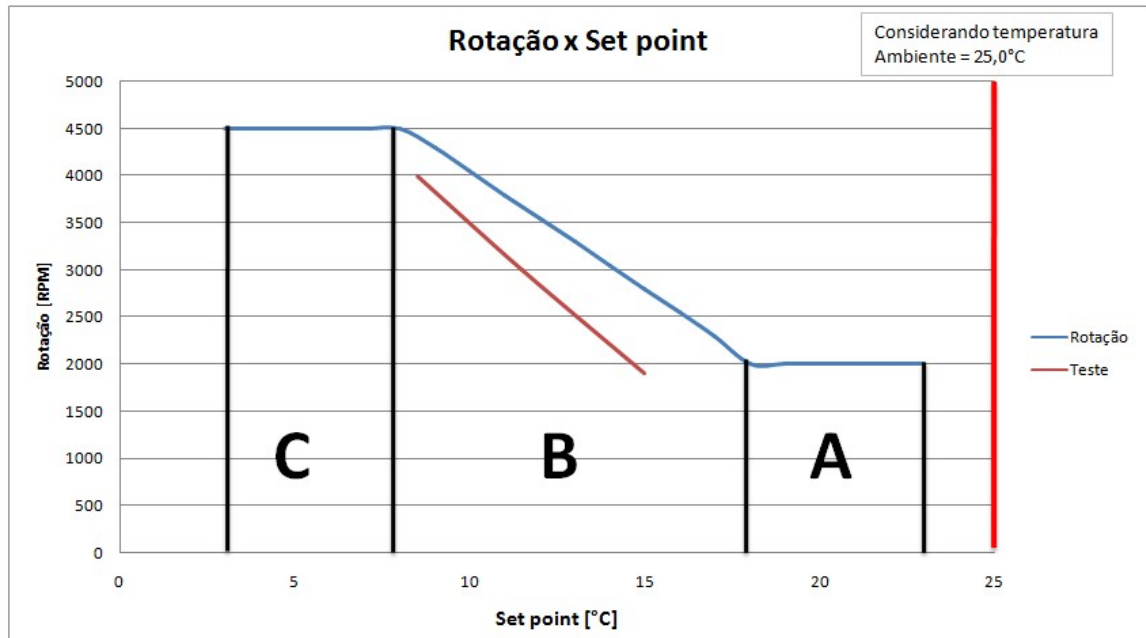
Para o controle do aquecimento foi utilizado um módulo PID, que fornece como saída um valor correspondente de 0 a 100% do valor de potência que deve ser aplicado sobre as resistências.

No caso da refrigeração, utilizou-se o *software* Labview para calcular a rotação do compressor, sendo este valor dependente de duas variáveis denominadas como: DT, Erro.

A primeira variável é a resultante da diferença entre a temperatura de *set point* e a temperatura ambiente, no caso do Erro repetem-se as operações realizadas no aquecimento, onde é calculada a diferença entre a temperatura média do gabinete e o *Set Point*.

Para melhorar o entendimento das condições que definem a rotação, verifica-se no gráfico 3 as condições para valores de DT inferiores à -2.

Gráfico 3 Rotação versus *Set Point*



Fonte Autores

Na região C, verifica-se a condição onde DT possui valores menores que -17, onde o compressor assumiu a rotação máxima, buscando acelerar aproximação do valor de *set point* definido.

Para região B foram realizadas simulações, onde o aquecimento foi desligado e a temperatura ambiente permaneceu constante em 25°C, a partir destas condições definiu-se como parâmetro de entrada três valores de rotação (2000, 3000, 4000 rpm) e foram registrados os valores de temperatura no momento em que o sistema alcançou a estabilidade (16; 12; 8 °C), respectivamente, sendo representados no gráfico 2 através da reta em vermelha. Baseando-se neste ensaio, desenvolveu-se uma equação para determinar a rotação do compressor, assumindo como referência a variável DT, operando dentro da faixa de -8 e -17 (°C). A equação 8 pode ser observada abaixo.

$$R = (|DT| * 250) + 250 \quad (8)$$

Onde:

R= Rotação do compressor (rpm)

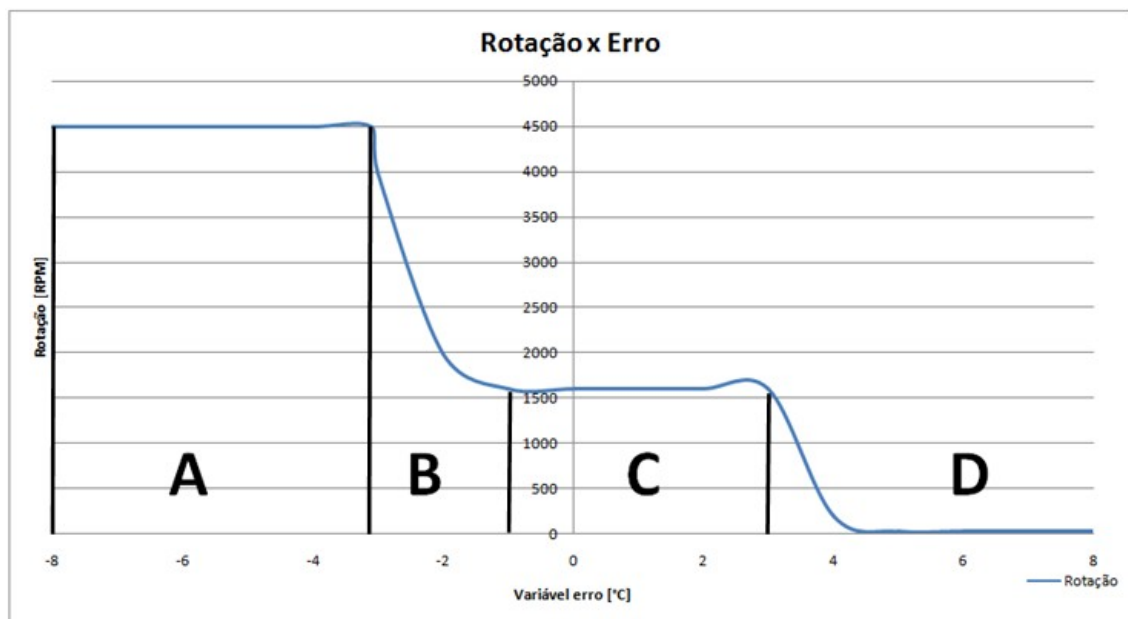
DT= Diferença de *set point* e temperatura ambiente (°C)

Note que a reta vermelha (teste realizado) está abaixo da reta azul que representa a rotação que o compressor irá assumir naquele determinado momento. Logo, isso garante que o circuito de refrigeração conseguirá atender o *set point* de temperatura.

A área denominada A, corresponde aos valores de DT entre -3 e -8. Através de experimentos realizados foi definida uma rotação fixa de 2000RPM para esta região.

Em uma segunda etapa, quando o valor de DT for maior que -2, a rotação passa a ser somente dependente da variável Erro, para esta condição verifica-se no gráfico 4 o comportamento desejado.

Gráfico 4 Rotação versus Erro



Fonte: Autores

Na região A, a rotação é constante e com o valor máximo de 4500 rpm, com o objetivo de possibilitar uma aproximação mais rápida do *set point* parametrizado. Esta região só será acionada caso ocorra alguma mudança no *set point*, prevendo algum abaixamento de temperatura.

A área B, corresponde aos limites de Erro definidos entre -3 e -1 (°C), nesta condição foi utilizado um bloco PI presente no *software* de controle, com ganho proporcional estipulado em 100 e integrador em 2. A partir desta programação

a rotação pode assumir valores de 1600 a 4500 RPM. Para determinação dos valores dos ganhos do bloco PI foi utilizado o método experimental citado no item 2.8.4, visto a praticidade que o *software* proporciona, além da flexibilidade para qualquer alteração necessária. Para o desenvolvimento do bloco PID. Criado para o aquecimento foi utilizado o mesmo método, este será melhor detalhado no item seguinte.

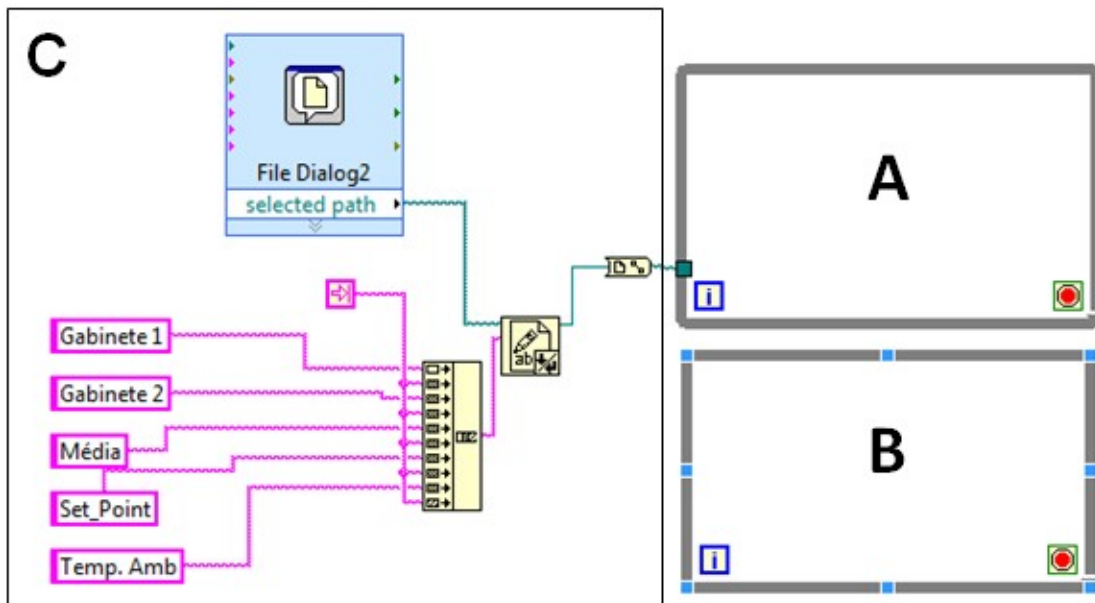
A região delimitada por Erro variando entre -1 e 3 (°C), que se denomina C, possui valor mínimo de rotação permanecendo fixo enquanto for mantida esta condição. Verificou-se em testes que esta condição mesmo com o sistema necessitando de calor para alcançar o *set point*, ajuda equilibrar o sistema mais rapidamente.

A zona correspondente a oscilações na variável Erro maiores que 3, denomina-se D, neste momento o compressor é desligado e o aquecimento trabalha de forma individualizada. Esta região é acionada somente enquanto o a temperatura média do gabinete esta se aproximando do *set point*, afim de tornar mais rápida a estabilização.

3.10. PROGRAMAÇÃO

O programa para controle do dispositivo, foi construído basicamente sobre dois loops que se denominam A e B, e uma breve rotina (C) para abertura de um arquivo .dat conforme citado no item 3.9, esta rotina será executada uma única vez, fornecendo um endereçamento das informações geradas no processamento dos loop A e B, sendo suas execuções simultâneas e permanentes . Na 30 observa-se através de um esquema uma visão macro do programa.

Figura 30 Esquema macro do programa

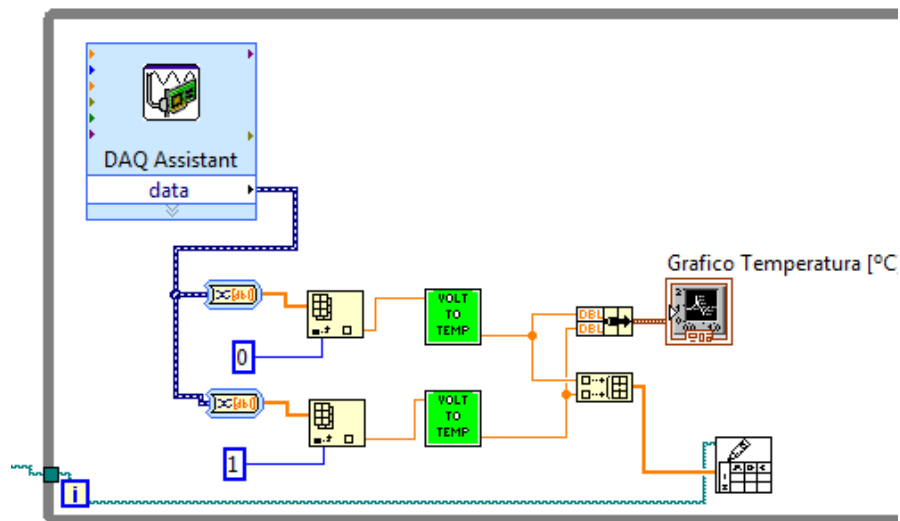


Fonte: Autores

As informações vindas da placa DAQ estão agrupadas em formato de *array*, as mesmas antes de entrar no bloco conversor (tensão-temperatura) são desagrupadas e processadas individualmente, em seguida são convertidas em temperatura, tomando com base para essa conversão a equação 8.

Em seguida, os resultados são agrupados novamente em *array*, sendo armazenados no arquivo .dat. Os novos valores são enviados para atualização dos gráficos. Na figura 31 visualiza-se parte do loop A de forma ampliada.

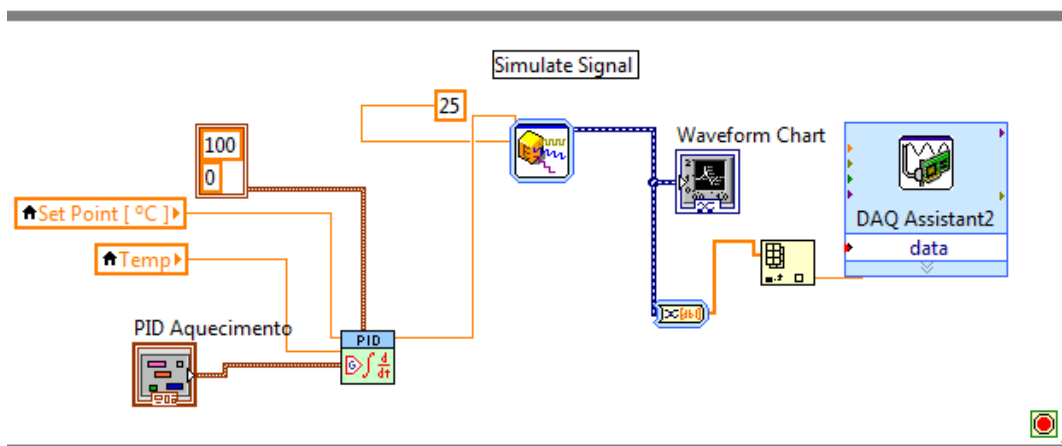
Figura 31 Parte loop A ampliada



Fonte: Autores

Na Figura 321 observa-se outra parte do loop A, correspondente a etapa de geração de sinal (PWM) com frequência fixa de 25Hz, com DC (*dutycycle*) variável, o qual é enviado para a placa DAQ 6009. A determinação do *dutycycle* é realizada pelo bloco PID. Foram obtidos os seguintes ganhos ($K = 1900$; $I = 2,000$; $D=0,490$). O controlador resulta num valor entre 0 à 100, portanto, este é o *dutycycle* do sinal, que corresponde ao percentual de aquecimento instantâneo .

Figura 32 Parte loop A ampliada PWM



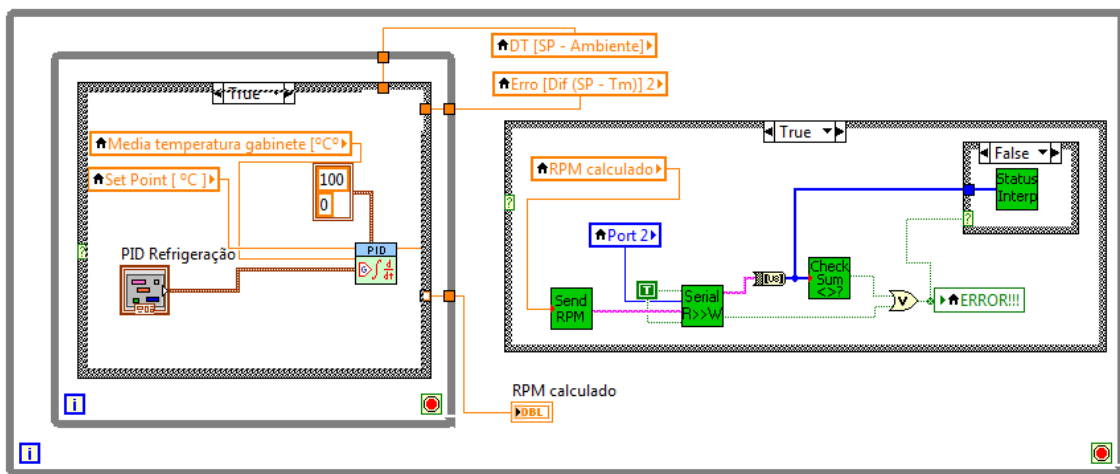
Fonte:Autores

O *Loop B*, representado na figura 33 pode ser resumido em duas etapas: inicialmente o programa faz uma série de comparações entre as variáveis DT e Erro conforme descritas no item 3.9, em seguida executa cálculos, que determinam a rotação que o compressor assumirá na condição verificada. Devido a menor

velocidade da resposta de atuação do sistema de refrigeração, foi adicionado um atraso de 30 segundos na execução desta rotina.

Após a realização dos cálculos, a variável “RPM calculada” é transmitida através da porta serial para o inversor, porém as mudanças não são instantâneas, pois devem obedecer aos parâmetros de aceleração fixados pelo fabricante.

Figura 33 Visão macro do loop B



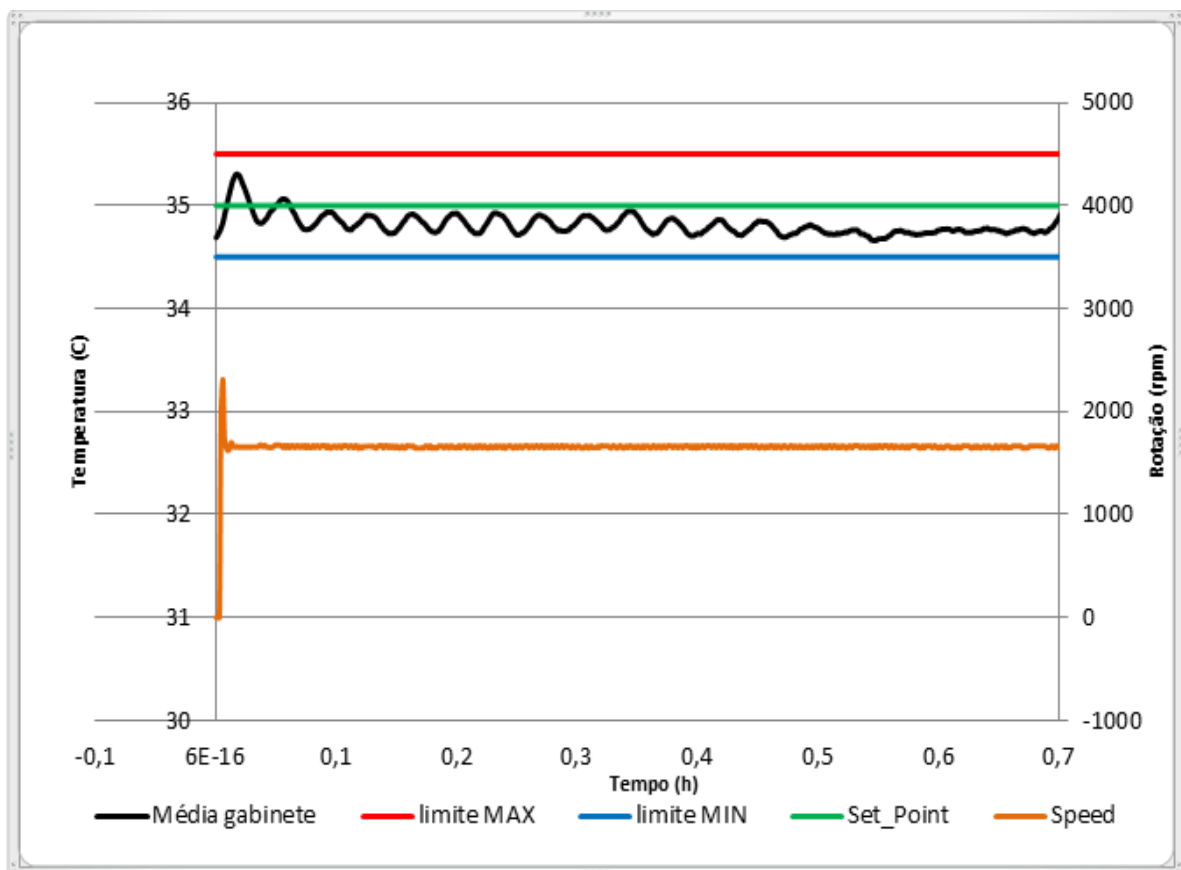
Fonte: Autores

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dividiu-se a apresentação dos resultados em três etapas, buscando através dos testes realizados confirmarem a hipótese levantada e o cumprimento dos requisitos estabelecidos inicialmente.

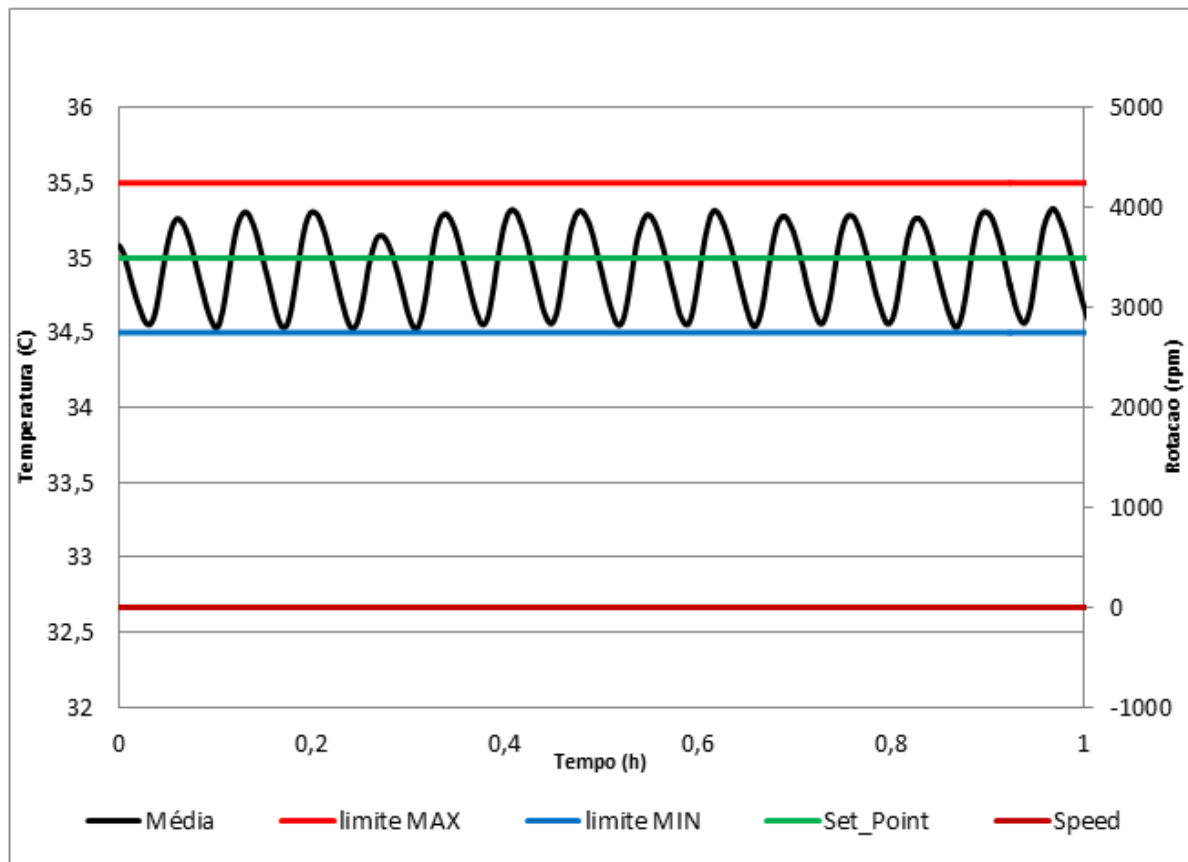
A primeira etapa de testes tem como objetivo averiguar se o dispositivo atende as tolerâncias de variação de temperatura ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), segundo a norma IEC 62552. Foram realizados ensaios utilizando apenas o circuito de aquecimento e também testes aplicando o controle de rotação, com o objetivo de provar que a refrigeração é dispensável para esta condição.

Gráfico 5 Gabinete estabilizado – 35°C - com refrigeração e com controle aplicado



Fonte: Autores

Gráfico 6 Gabinete estabilizado – 35°C - Sem circuito de refrigeração

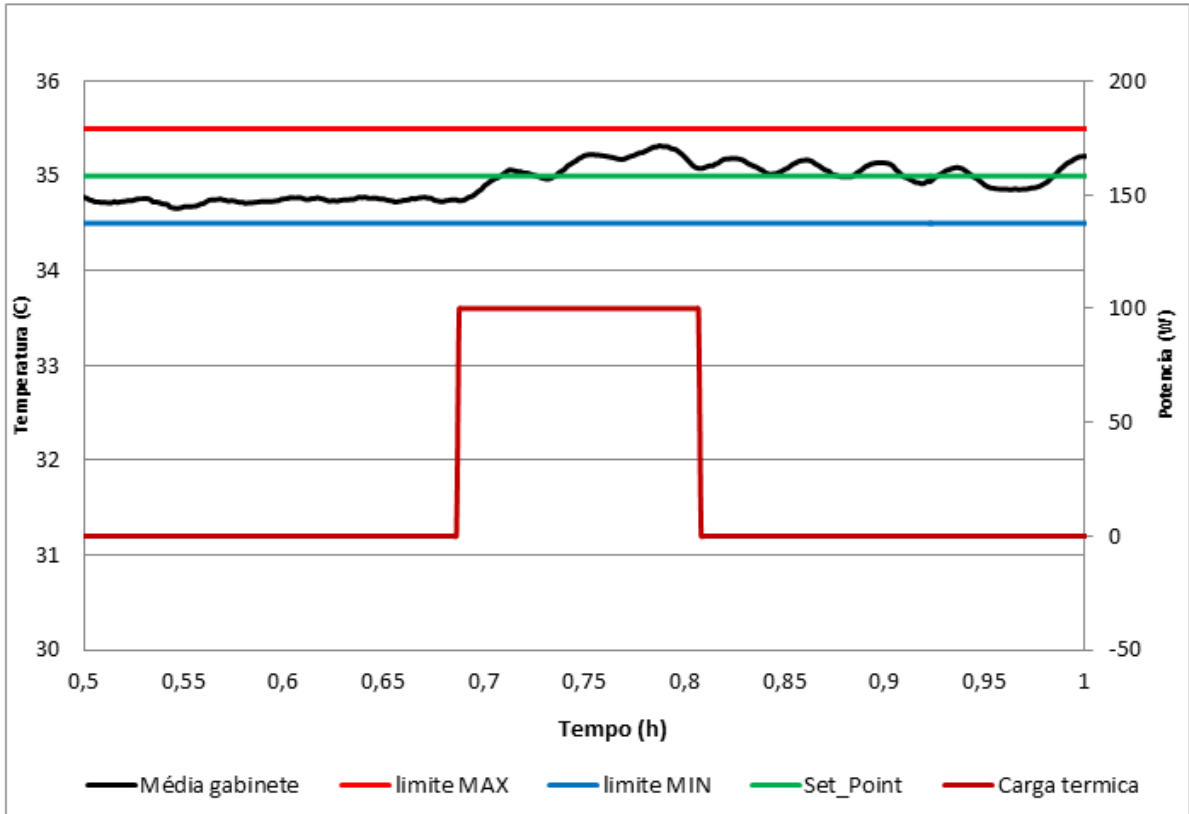


Fonte: Autores

A partir do gráfico 5 e 6 que demonstram os testes da primeira etapa, verifica-se em ambas situações testadas o atendimento das tolerâncias de temperatura estabelecidas pela norma IEC 62552, entretanto, visualiza-se uma descentralização maior nos valores resultantes do sistema sem refrigeração.

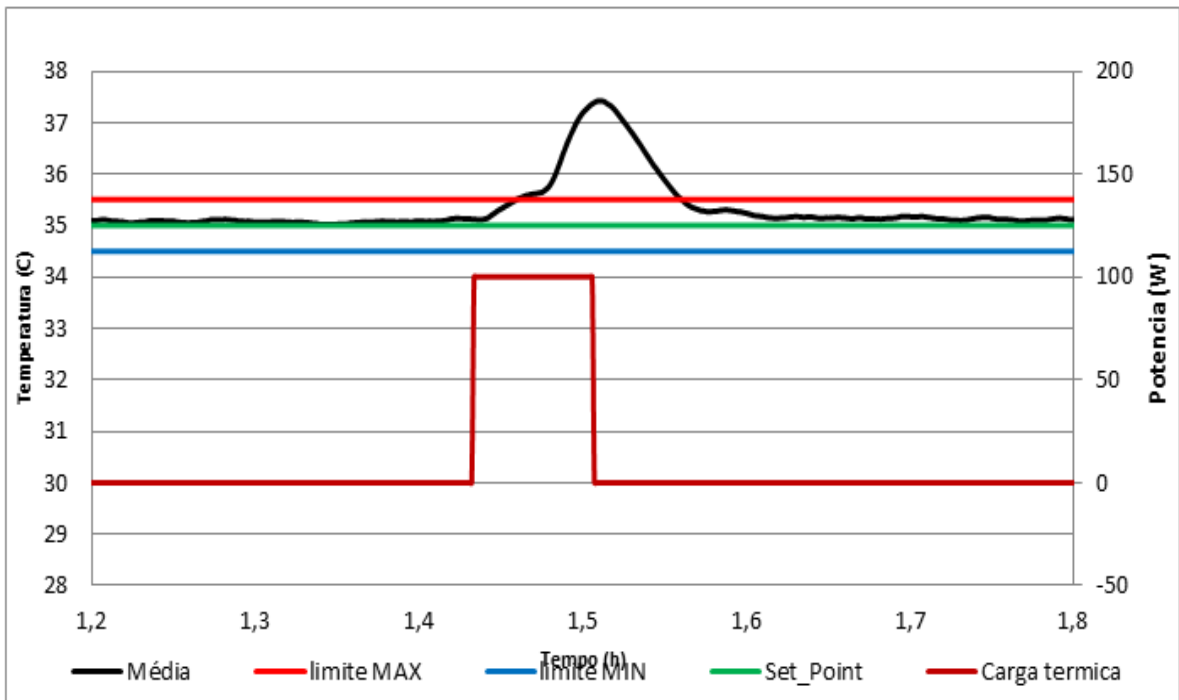
A segunda etapa de testes tem com finalidade comprovar a necessidade de um circuito refrigeração em situações de desequilíbrio, sendo estas comuns em ambientes industriais. Para simular esta perturbação utilizou-se uma lâmpada incandescente de 100W, que permaneceu ligada por seis minutos.

Gráfico 7 Aplicação de perturbação - 35°C - com refrigeração



Fonte: Autores

Gráfico 8 Aplicação de perturbação - 35°C - sem refrigeração



Fonte: Autores

Os gráficos 7 e 8 apresentam os resultados da segunda etapa de testes, onde simulou-se uma situação de desequilíbrio.

Nota-se no gráfico 7 que mesmo numa situação de perturbação, a refrigeração foi capaz de conter o aumento brusco da temperatura, mantendo assim os valores dentro dos limites estabelecidos pela norma IEC 62552.

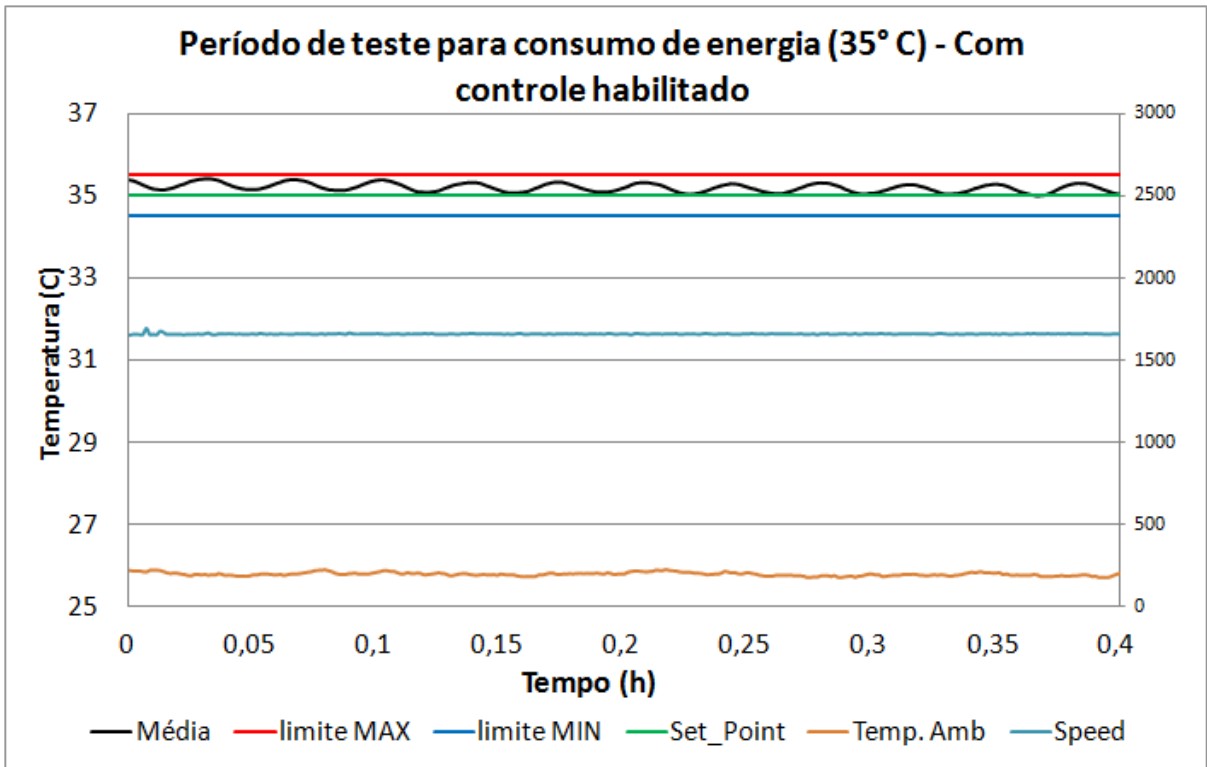
Verificou-se no gráfico 8 que a ausência de um circuito de refrigeração ocasionou a elevação da temperatura acima dos limites especificados.

A terceira etapa tem como propósito comprovar a hipótese levantada, onde a atuação do controle sobre a capacidade de refrigeração deveria provocar uma redução no consumo de energia

Foram realizados três testes variando apenas a temperatura desejada (35°C, 25°C e 15°C) sendo a duração para cada valor de uma hora. Simulou-se o método de funcionamento convencional do compressor com rotação fixa (3600 RPM), e realizou-se a medição do consumo energético para cada alteração de temperatura.

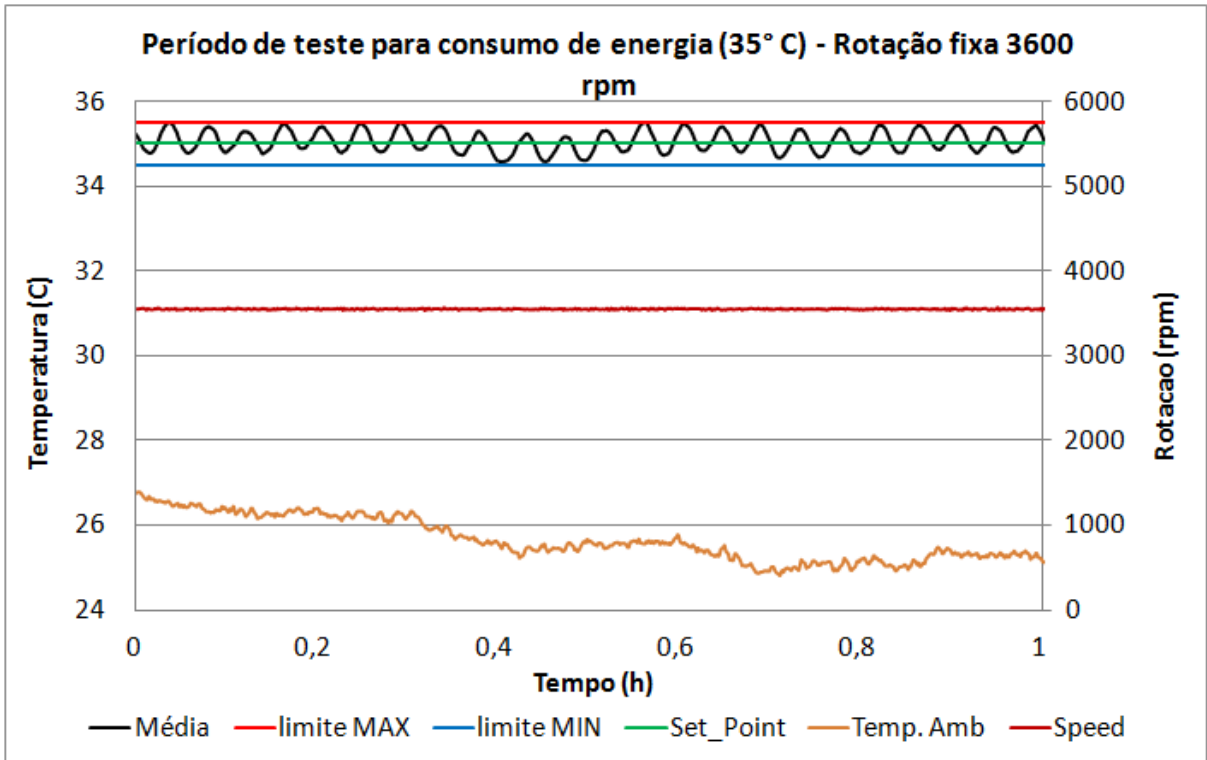
Para realização das medições de consumo de energia, utilizou-se um wattímetro portátil do fabricante Yokogawa, modelo MCP 5000.

Gráfico 9 Período de teste para consumo de energia - Com controle habilitado (35°C)



Fonte: Autores

Gráfico 10 Período de teste para consumo de energia - Rotação fixa (35°C)

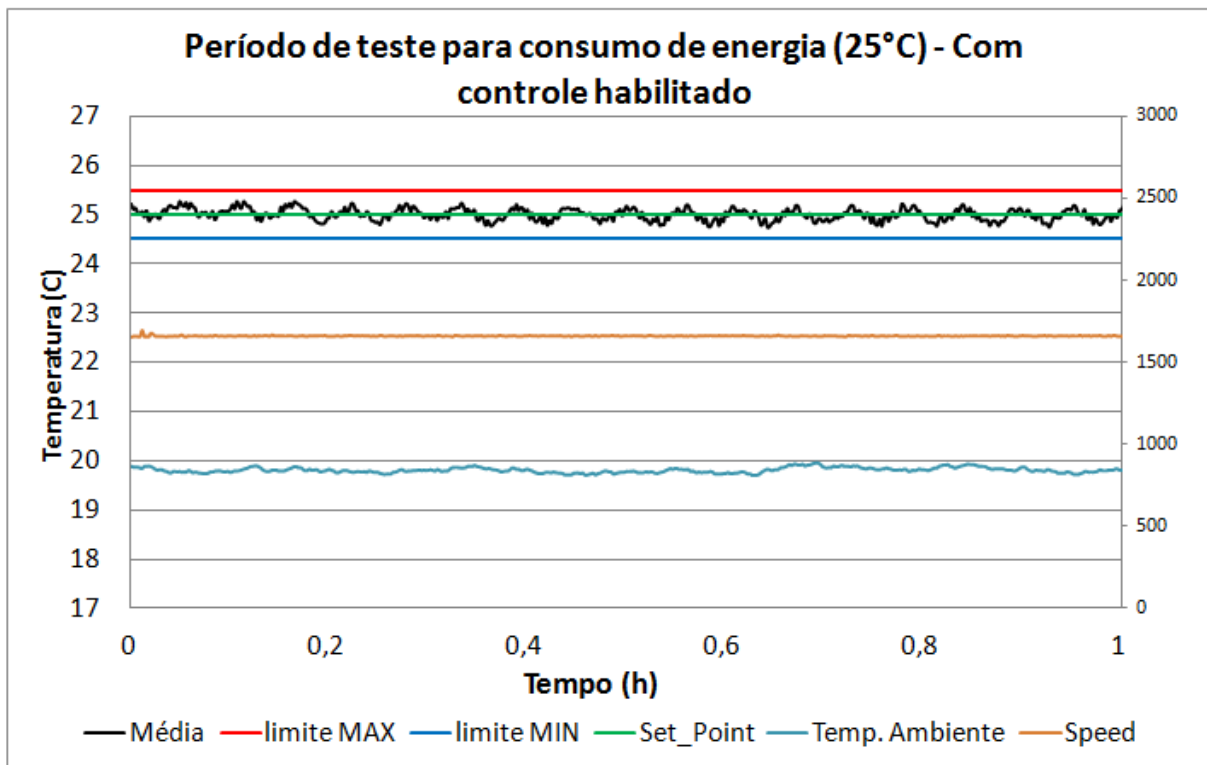


Fonte: Autores

Os gráficos 9 e 10 atestam as condições de medição testadas e os requisitos para validação do teste perante a norma IEC 62552.

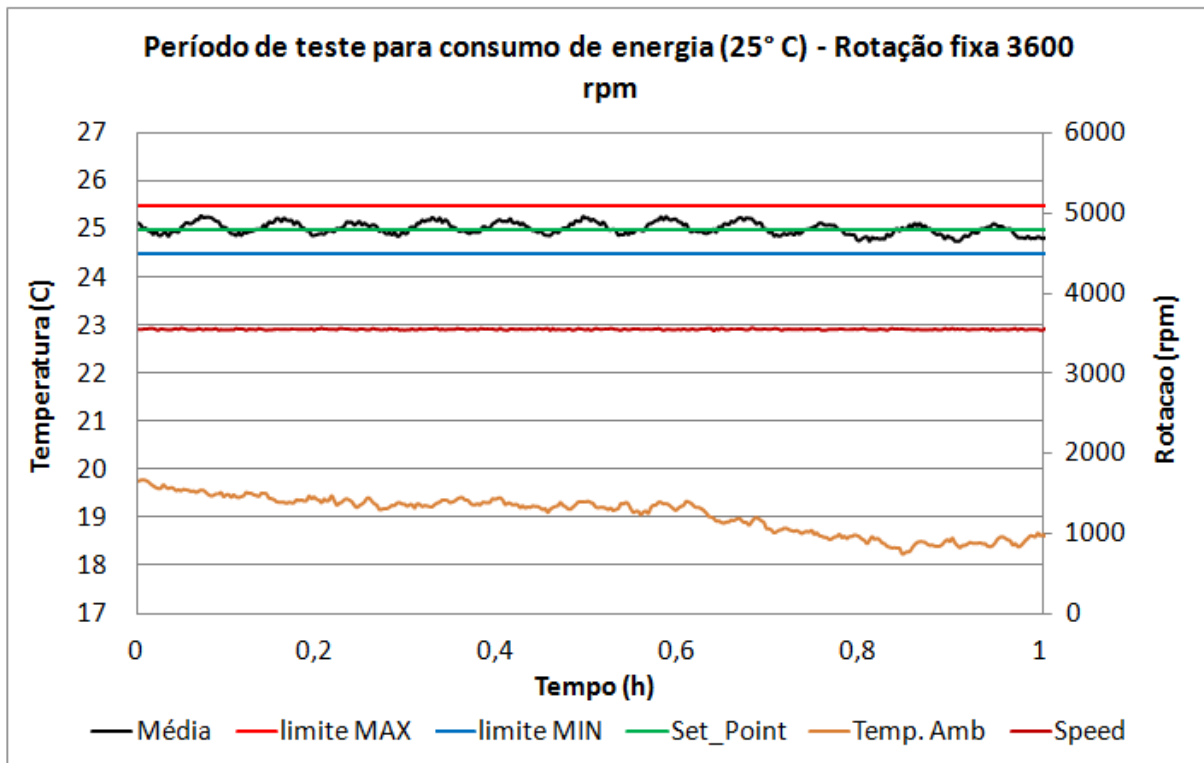
Os resultados de consumo de energia, obtidos nos ensaios que mantiveram a gabinete em $35\text{C} \pm 0,5\text{C}$ foram de 0,398 kWh com a aplicação do controle da refrigeração e 0,677 kWh com a refrigeração fixa (rotação do compressor em 3600 rpm). (41%)

Gráfico 11 Período de teste para consumo de energia - Com controle habilitado (25°C)



Fonte: Autores

Gráfico 12 Período de teste para consumo de energia – rotação fixa (25°C)

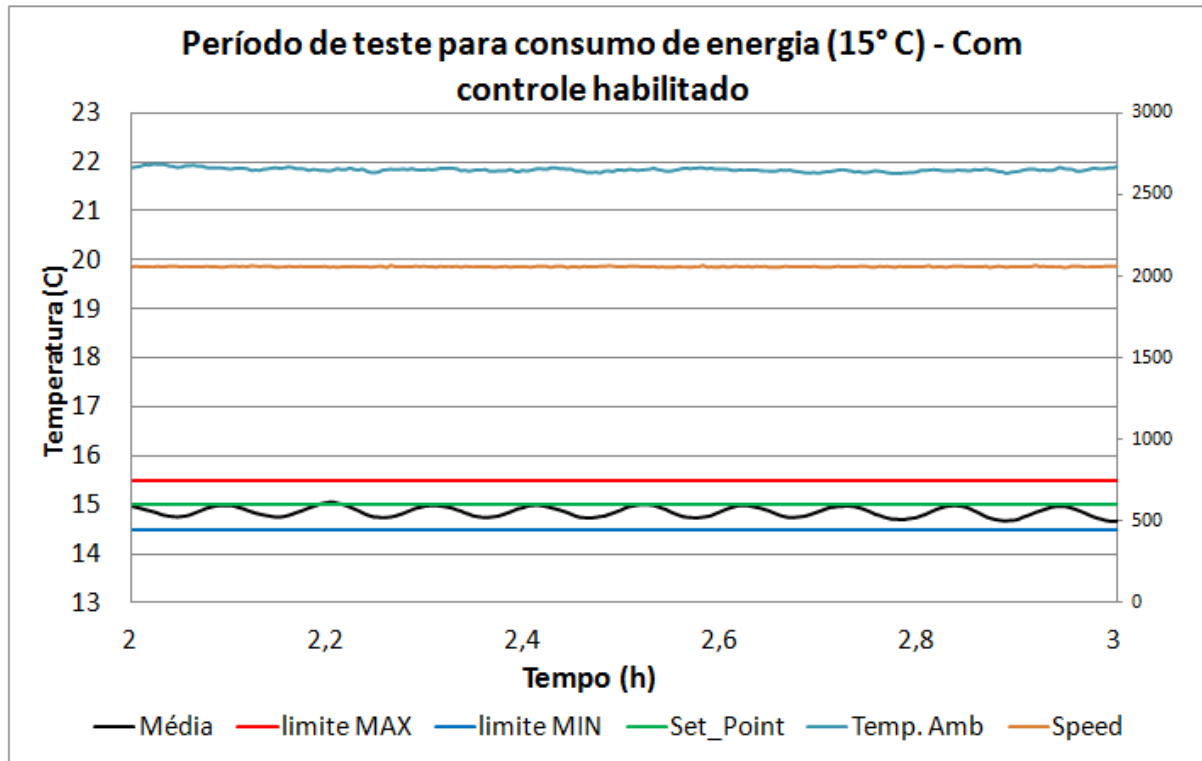


Fonte: Autores

Os gráficos 11 e 12 atestam as condições de medição testadas e os requisitos para validação do teste perante a norma IEC 62552.

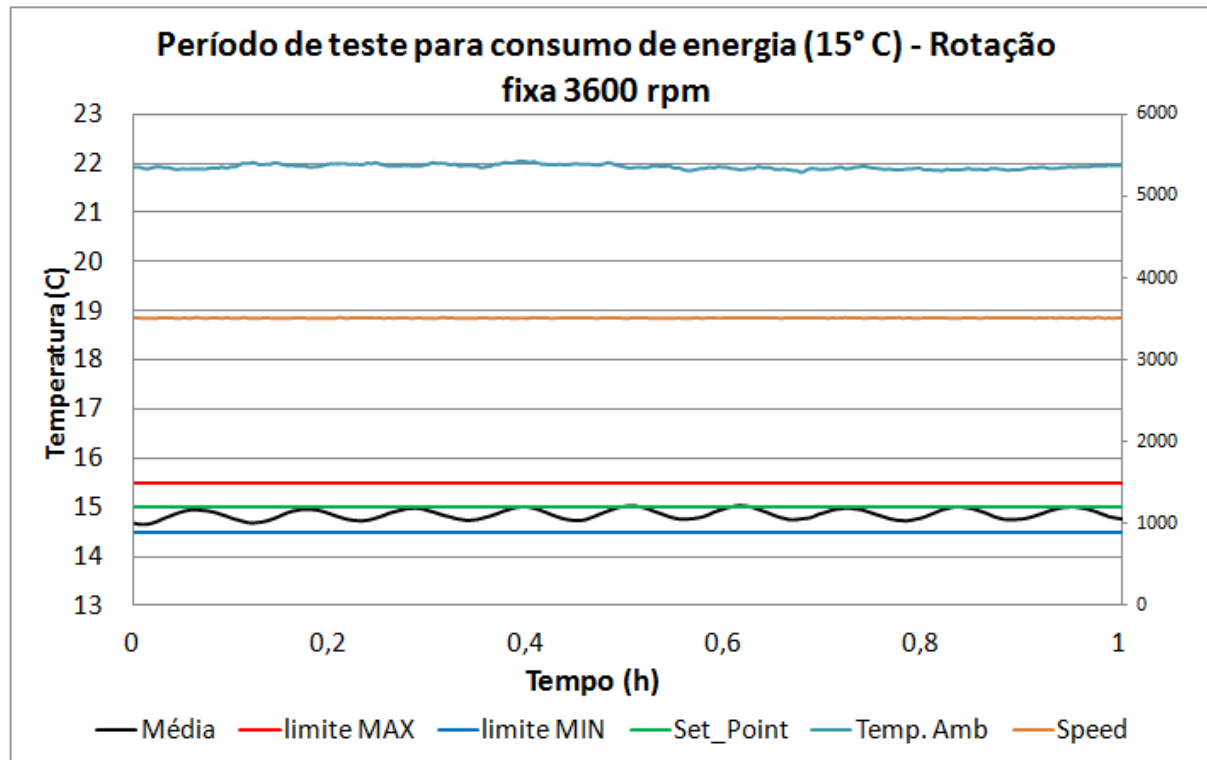
Os resultados de consumo de energia, obtidos nos ensaios que mantiveram a gabinete em 25C + ou - 0,5C foram de 0,301 kWh com a aplicação do controle da refrigeração e 0,514 kWh com a refrigeração fixa (rotação do compressor em 3600 rpm). (41%)

Gráfico 13 Período de teste para consumo de energia – com controle habilitado (15°C)



Fonte: Autores

Gráfico 14 Período de teste para consumo de energia – rotação fixa (15°C)



Fonte: Autores

Os gráficos 13 e 14 atestam as condições de medição testadas e os requisitos para validação do teste perante a norma IEC 62552.

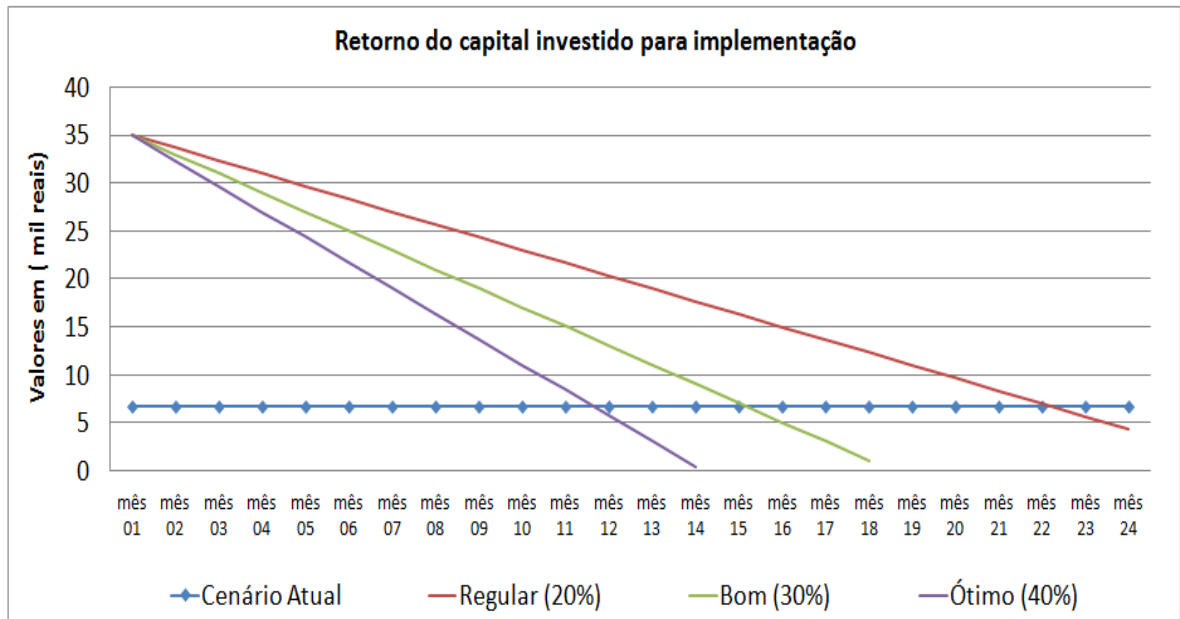
Os resultados de consumo de energia, obtidos nos ensaios que mantiveram a gabinete em 15C + ou - 0,5C foram de 0,270 kWh com a aplicação do controle da refrigeração e 0,408 kWh com a refrigeração fixa (rotação do compressor em 3600 rpm).(34%)

Todos os testes foram realizados em ambiente com temperatura não controlada, vale salientar que os resultados podem sofrer alterações caso sejam executados em ambiente controlado. Os valores da temperatura ambiente foram mensurados durante todas as simulações e estão indicados nos gráficos.

Realizou-se conversas com especialistas da área de refrigeração, que estimaram em R\$ 7.000,00 o custo de implementação para aplicar este sistema em câmaras climatizadas da Embraco, totalizando um investimento inicial de R\$ 35.000,00. No gráfico 10 pode-se observar, supondo 3 cenários de retorno de investimento que gerariam 20%, 30% e 40% na redução do consumo de energia do dispositivo, denominados regular, bom e ótimo respectivamente.

O capital investido, supondo que a câmara climatizada teria uma redução de 40% no consumo de energia, seria recuperado em 14 meses, como pode ser observado no gráfico 15.

Gráfico 15 Retorno de capital investido



Fonte: Autores

5. CONCLUSÃO

A partir dos capítulos descritos anteriormente, pode-se averiguar que o objetivo específico de construir um dispositivo para simular condições de temperatura dos testes referentes a norma citada no título deste trabalho foi alcançado, assim como o desenvolvimento de um controle de temperatura independente para os atuadores, visto que segundo a lógica de programação desenvolvida, é possível atuar com os mesmos simultaneamente ou individualmente.

Através dos resultados dos testes obtidos, constatou-se que a refrigeração é de suma importância para o atendimento dos limites de temperatura especificados pela norma, visualizou-se na sua aplicação uma maior centralização dos valores resultantes, podendo assim afirmar que esta situação possui uma boa estabilidade térmica, ao contrário de quando a refrigeração está totalmente desligada, onde foi possível observar uma maior oscilação nos valores e conseqüentemente uma maior probabilidade dos mesmos ultrapassarem os limites determinados, portanto aconselha-se a aplicação do controle com refrigeração.

Notou-se também que ao desequilibrar o ambiente com uma carga térmica (lâmpada) simulando uma condição de teste real, que as tolerâncias não foram ultrapassadas quando se aplicou o controle de refrigeração, na ausência deste, houve a superação do valor limite superior, logo, o sistema sem refrigeração não possui condições de atender os requisitos, todo via, afirma-se que o controle com refrigeração atende os requisitos de tolerância de temperatura citados na norma IEC 62552.

Analisou-se a partir dos valores resultantes dos testes que a hipótese levantada no início do trabalho se confirma, visto que a aplicação de um controle para variar a capacidade de refrigeração do compressor resultou em uma economia de energia de aproximadamente 40,77% para um *set point* em 35°C, 41,44% para um *set point* 25°C e 33,82% para um *set point* de 15 °C, servindo de fundamentação para a implantação deste tipo de controle em regime industrial, entretanto, para tal é necessário verificar a integração do compressor a ser utilizado com um inversor comercialmente disponível, assim como também a capacidade de refrigeração do mesmo e seu envelope de aplicação.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo da possibilidade de aproveitamento do calor rejeitado pelo condensador para o aquecimento, outra sugestão é utilizar materiais isolantes térmicos com propriedades conhecidas a fim de equacionar todo sistema e posteriormente criar uma nova estratégia de controle, podendo assim aumentar a estabilidade e reduzir ainda mais o consumo de energia.

6. REFERÊNCIAS

MALVINO, Albert. **Eletrônica: Volume 1**. 7.ed. Porto Alegre: AMGH, 2007.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 8.ed. São Paulo: Editora érica, 2012

BEGA, Egidio Alberto. **Instrumentação Industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBP, 2006

WIRZ, Dic. **Refrigeração comercial para técnicos em ar condicionado**. 1 ed. São Paulo: Cengage learning, 2011

HAYKIN, Simon. VEEN, Barry Van. **Sinais e sistemas**. 1ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

WANG, L. **The application of labVIEW in data acquisition system of solar absorption**.

Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212002457>. Acesso em 18/08/2015

NI, Userguideandspecifications. **NI USB-6008/6009**. NationalInstruments. Manual do usuário, 2012

NI. **LabVIEW system design software**. NationalInstruments. Disponível em; <http://www.ni.com/labview>. Acesso em: 17/09/2015

NI. **Whatis data acquisition?**. NationalIntruments. Disponível em: <http://www.ni.com/data-acquisition.com>. Acesso em 28/09/2015

NI. **Explicando a teoria PID**. NationalInstruments. Disponível em: <http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/>. Acesso em: 25/08/2015

WEG. **Guia de aplicação de inversores de frequência**, 3.ed. Jaraguá do Sul: WEG, 2005.

PALADINI, Pacheco Edson. **Avaliação Estratégica da Qualidade**, 2.ed. São Paulo: Atlas, 2011

BRAGA, Newton. **Rele de estado sólido**. Disponível em:

<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/comofunciona/1436-art210>. Acesso em: 12/10/2015.

NOVUS. **Rele de estado sólido**. Disponível em: www.novus.com.br/catalogos.

Acesso em: 12/10/2015

COSTA JUNIOR.E.F. **Conceitos fundamentais de propriedades termodinamicas**.

8.ed. Goiânia: Enciclopédia biosfera,2012

FERRAZ,F.. **Apostila de refrigeração**. Santo Amaro: Centro federal de educação tecnológica da Bahia, 2008.

GHIRARDELLO.A. **Apostila sobre modulação PWM**. ColegioPolites. Disponível em

www.eletronica.org/arq-apostilas. Acesso em 02/09/2015

NI. **Determinação de exatidão absoluta**. NationalInstruments. Disponível em :

www.ni.com/white-paper/8909/pt. acesso em 17/10/2015

NI. **Conceitos básicos de amostragem analógica**. NationalInstruments. Disponível

em: www.ni.com/white-paper/3016/pt

CAPELI, Alexandre. **Inversores de frequência**. Disponível em :

<http://docslide.com.br/documents/revisata-mecatronica-atual-edicao-002.htm>. Acesso em: 24/10/2015

Silva, Clodoaldo. **Inversores de frequência**. Disponível em:

<http://www.clubedaeletronica.com.br/eEletricidade/PDF/Inversor-de-frequencia.pdf>.

Acesso em: 25/10/2015

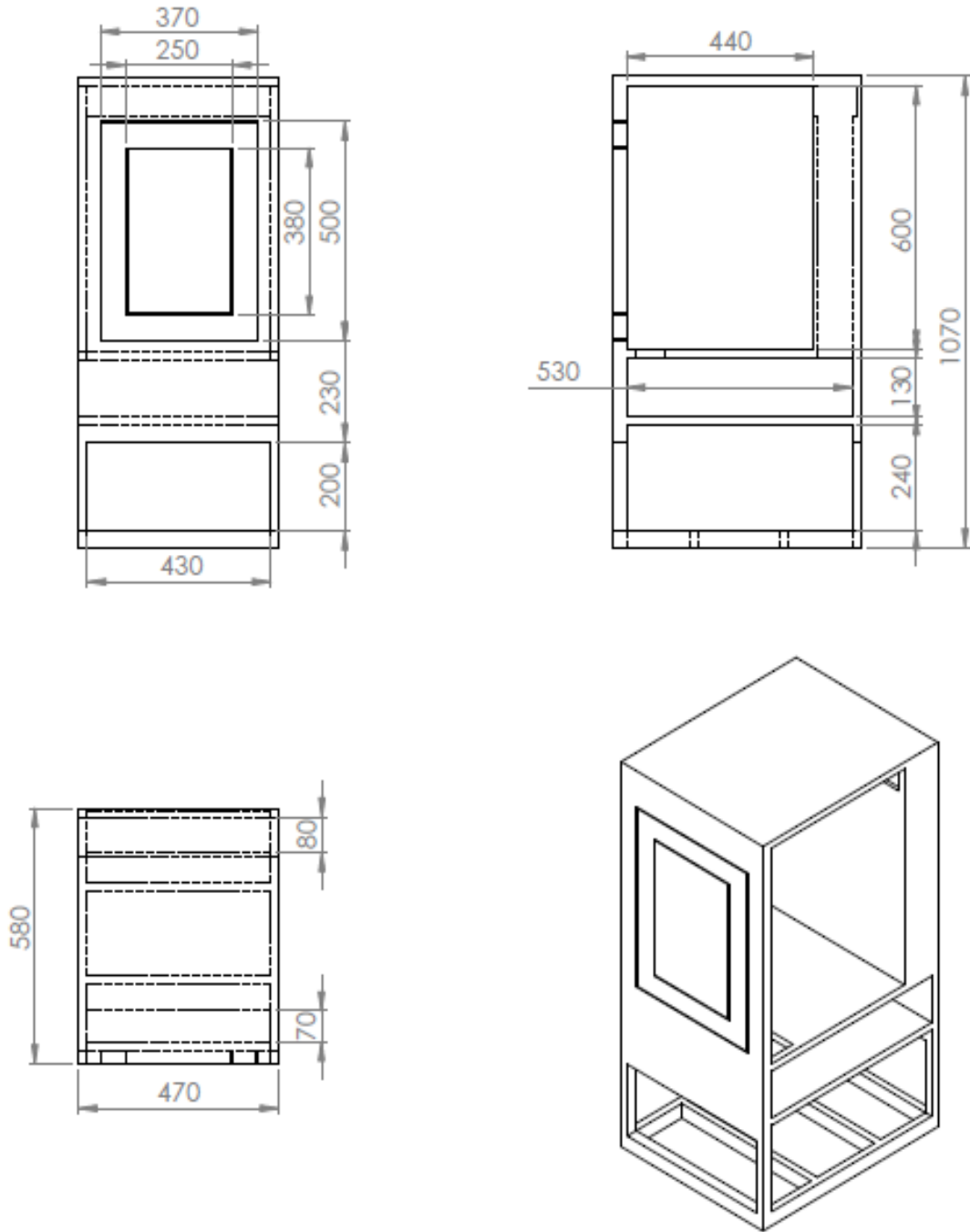
SILVA, Jesué Graciliano da.**Introdução a tecnologia da refrigeração e da climatização**, 1ed. São Paulo: Artiliber,2013

TOMAZELLI, Ana lucia. **Norma para apresentação de trabalhos acadêmicos:**

Monografias e TCC. Disponível em:

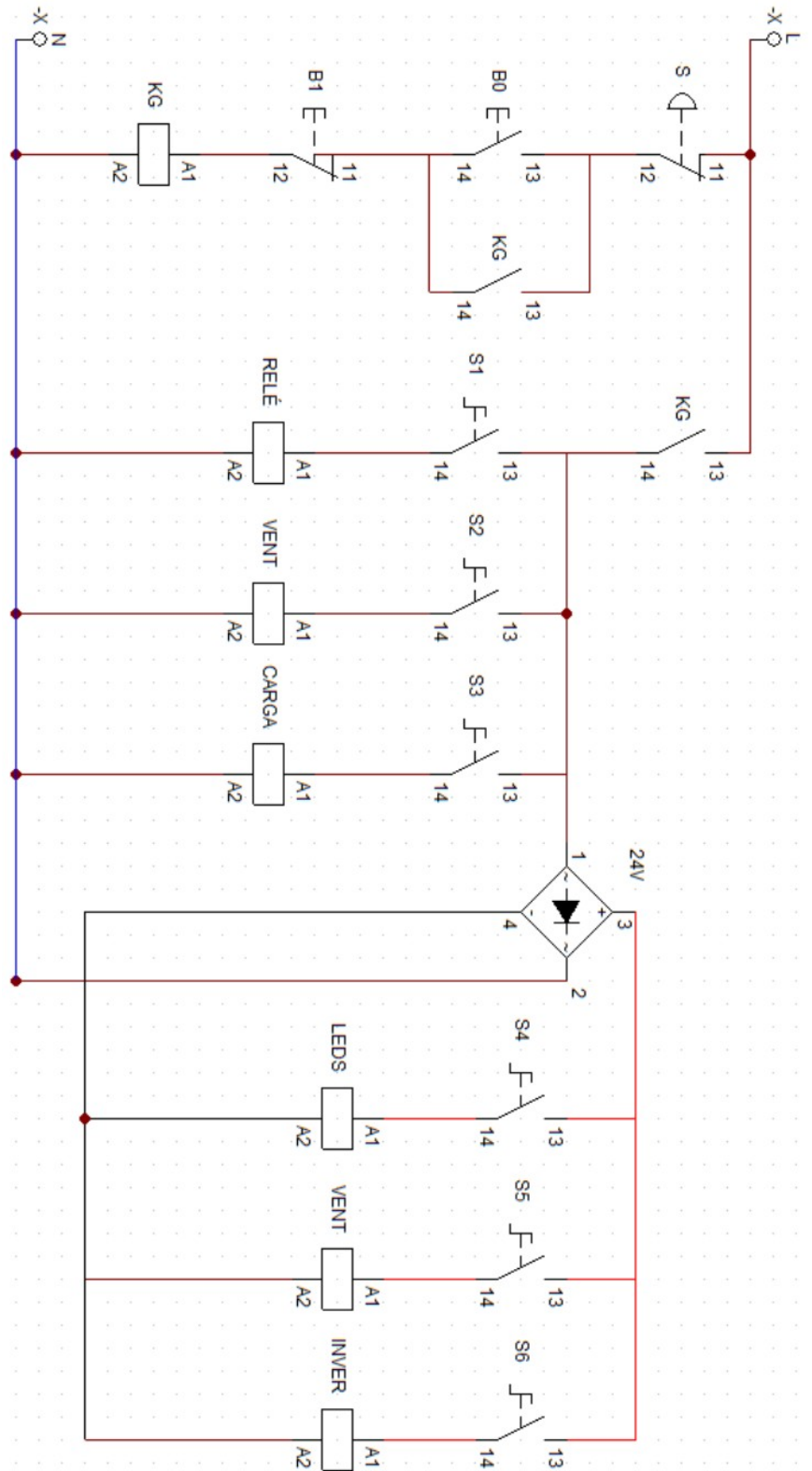
http://florianopolis.ifsc.edu.br/images/stories/sitepdf/TCC_-_MANUAL.pdfAcesso em: 25/07/2015

APÊNDICE A.- PROJETO GABINETE




SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAMENTO SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:				ACABAMENTO:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
						TÍTULO:	
DES.	NOME	ASSINATURA	DATA			Gabinete - Desenho 3D	
VERIF.							
APROV.							
MANUT.							
QUALID							
				MATERIAL:		ESCALA:1:20	FOLHA 1 DE 1
				PESO:			


APÊNDICE B- ESQUEMA ACIONAMENTO



ANEXO A- DATA SHEET COMPRESSOR

		COMPRESSOR TECHNICAL DATA	
COMPRESSOR DEFINITION			
Designation	VEM Y4HM		
Nominal Voltage/Frequency	47 V 53-150 Hz		
Engineering Number	513900047		
A - APPLICATION / LIMIT WORKING CONDITIONS			
1 Type	Hermetic reciprocating compressor		
2 Refrigerant	R-134a		
3 Nominal voltage and frequency	47 / 53-150	[V / Hz]	
4 Application type	High Back Pressure (Mobile)		
4.1 Evaporating temperature range	-5°C to 35°C	(23°F to 95°F)	
5 Motor type	BPM		
6 Starting torque	LST - Low Starting Torque		
7 Expantion device	Capillary tube		
8 Compressor cooling		Operating voltage range	
		50 Hz	60 Hz
8.1 LBP (32°C Ambient temperature)	-	-	-
8.2 LBP (43°C Ambient temperature)	-	-	-
8.3 HBP (32°C Ambient temperature)	-	-	-
8.4 HBP (43°C Ambient temperature)	-	-	-
9 Maximum condensing pressures/temperature			
9.1 Operating (gauge)	16.2	[kgf/cm ²] (230 psig)	/ °C - °F
9.2 Peak (gauge)	20.6	[kgf/cm ²] (293 psig)	
10 Maximum winding temperature	130	[°C]	
B - MECHANICAL DATA			
1 Commercial designation	1/10	[hp]	
2 Displacement	3.97	[cm ³] (0.242 cu.in)	
2.1 Bore [mm]	19.000		
2.2 Stroke [mm]	14.000		
3 Lubricant charge	350	[ml] (11.84 fl.oz.)	
3.1 Lubricants approved			
3.2 Lubricants type/viscosity	ESTER / ISO22		
4 Weight (with oil charge)	7.39	[kg] (16.29 lb.)	
5 Nitrogen charge	0.2 to 0.3	[kgf/cm ²] (2.84 to 4.27 psig)	
C - ELETRICAL DATA			
1 Nominal Voltage/Frequency/Number of Phases	47 V 53-150 Hz / DC (Three phase)		
2 Starting device type	Inverter		
2.1 Starting device	519307005/519307009		
3 Start capacitor	-	[µF(VAC minimum)]	
4 Run capacitor	-	[µF(VAC minimum)]	
5 Motor protection			
6 Start winding resistance	1.28	[Ω at 25°C (77°F)] +/- 8%	
7 Run winding resistance	1.28	[Ω at 25°C (77°F)] +/- 8%	
8 LRA - Locked rotor amperage (53/15 Hz)	7.70	[A] - Measured according to UL 984	
9 FLA - Full load amperage LMBP (53/15 Hz)	7.70	[A] - Measured according to UL 984	
10 FLA - Full Load Amperage HBP (53/15 Hz)	-	[A] - Measured according to UL 984	
11 Approval boards certification			
UPDATE: 16APR2014		513900047	

ANEXO A- DATA SHEET COMPRESSOR

	COMPRESSOR TECHNICAL DATA
---	----------------------------------

D - PERFORMANCE - CHECK POINT DATA

TEST CONDITIONS: @24V2000RPM			ASHRAEHBP32 Static		Evaporating temperature (Condensing temperature		7.2°C (44.96°F) 54.4°C (129.92°F))		
Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%			
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
1178	297	345	128	5.34		9.20	2.32	2.70	

TEST CONDITIONS: @24V3000RPM			ASHRAEHBP32 Static		Evaporating temperature (Condensing temperature		7.2°C (44.96°F) 54.4°C (129.92°F))		
Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%			
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
1698	428	498	186	7.76		9.13	2.30	2.68	


TEST CONDITIONS: @24V4500RPM			ASHRAEHBP32 Static		Evaporating temperature (Condensing temperature		7.2°C (44.96°F) 54.4°C (129.92°F))		
Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%			
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
2517	634	738	319	13.32		7.89	1.99	2.31	

E - PERFORMANCE - CURVES

TEST CONDITIONS: @24V2000RPM			ASHRAE32 Static		(Condensing temperature 35°C (+95°F))				
Evaporating temperature	Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5 (+23)	787	198	231	77	3.21	4.53	10.18	2.56	2.98
0 (+32)	972	245	285	79	3.28	5.61	12.34	3.11	3.62
+5 (+41)	1189	300	348	80	3.36	6.91	14.79	3.73	4.33
+10 (+50)	1438	362	421	82	3.44	8.43	17.51	4.41	5.13
+15 (+59)	1719	433	504	84	3.53	10.15	20.51	5.17	6.01

TEST CONDITIONS: @24V2000RPM			ASHRAE32 Static		(Condensing temperature 45°C (+113°F))				
Evaporating temperature	Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5 (+23)	750	189	220	91	3.81	4.32	8.25	2.08	2.42
0 (+32)	931	235	273	95	3.97	5.38	9.82	2.48	2.88
+5 (+41)	1142	288	335	98	4.13	6.64	11.57	2.92	3.39
+10 (+50)	1383	349	405	102	4.29	8.11	13.50	3.40	3.96
+15 (+59)	1655	417	485	106	4.45	9.77	15.60	3.93	4.57

ANEXO A- DATA SHEET COMPRESSOR

	COMPRESSOR TECHNICAL DATA
---	----------------------------------

E - PERFORMANCE - CURVES


TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 55°C (+131°F))					
@24V2000RPM		Static								
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE			
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%			
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
-5 (+23)	713	180	209	102	4.23	4.10	7.05	1.78	2.06	
0 (+32)	892	225	261	109	4.55	5.15	8.19	2.06	2.40	
+5 (+41)	1098	277	322	117	4.87	6.39	9.41	2.37	2.76	
+10 (+50)	1333	336	391	124	5.19	7.81	10.70	2.70	3.14	
+15 (+59)	1596	402	468	132	5.50	9.42	12.07	3.04	3.54	

TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 65°C (+149°F))					
@24V2000RPM		Static								
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE			
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%			
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
-5 (+23)	659	166	193	108	4.54	3.79	6.08	1.53	1.78	
0 (+32)	837	211	245	121	5.10	4.83	6.96	1.75	2.04	
+5 (+41)	1041	262	305	134	5.64	6.05	7.81	1.97	2.29	
+10 (+50)	1271	320	372	148	6.18	7.45	8.63	2.18	2.53	
+15 (+59)	1527	385	447	162	6.72	9.02	9.43	2.38	2.76	

TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 35°C (+95°F))					
@24V3000RPM		Static								
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE			
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%			
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
-5 (+23)	1122	283	329	111	4.62	6.46	10.08	2.54	2.96	
0 (+32)	1391	350	408	118	4.88	8.04	11.82	2.98	3.46	
+5 (+41)	1698	428	498	125	5.16	9.88	13.62	3.43	3.99	
+10 (+50)	2045	515	599	132	5.47	11.98	15.49	3.90	4.54	
+15 (+59)	2430	612	712	140	5.82	14.35	17.42	4.39	5.10	

TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 45°C (+113°F))					
@24V3000RPM		Static								
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE			
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%			
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
-5 (+23)	1084	273	318	129	5.37	6.24	8.44	2.13	2.47	
0 (+32)	1352	341	396	137	5.68	7.81	9.89	2.49	2.90	
+5 (+41)	1656	417	485	146	6.04	9.63	11.35	2.86	3.33	
+10 (+50)	1998	504	586	155	6.44	11.71	12.84	3.23	3.76	
+15 (+59)	2378	599	697	166	6.89	14.04	14.33	3.61	4.20	

ANEXO A- DATA SHEET COMPRESSOR

	COMPRESSOR TECHNICAL DATA
---	----------------------------------

E - PERFORMANCE - CURVES


TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 55°C (+131°F))				
@24V3000RPM		Static							
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE		
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%		
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5 (+23)	1029	259	302	145	6.08	5.92	7.08	1.78	2.07
0 (+32)	1293	326	379	157	6.53	7.47	8.26	2.08	2.42
+5 (+41)	1593	401	467	169	7.05	9.26	9.41	2.37	2.76
+10 (+50)	1928	486	565	183	7.63	11.29	10.53	2.65	3.09
+15 (+59)	2298	579	673	198	8.27	13.57	11.62	2.93	3.40

TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 65°C (+149°F))				
@24V3000RPM		Static							
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE		
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%		
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5 (+23)	968	244	284	156	6.52	5.57	6.18	1.56	1.81
0 (+32)	1226	309	359	173	7.20	7.08	7.11	1.79	2.08
+5 (+41)	1517	382	444	191	7.96	8.82	7.97	2.01	2.33
+10 (+50)	1842	464	540	211	8.80	10.79	8.74	2.20	2.56
+15 (+59)	2200	554	645	233	9.72	12.99	9.44	2.38	2.77

TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 35°C (+95°F))				
@24V4500RPM		Static							
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE		
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%		
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5 (+23)	1644	414	482	191	7.98	9.46	8.66	2.18	2.54
0 (+32)	2066	521	605	209	8.71	11.94	9.84	2.48	2.88
+5 (+41)	2479	625	726	228	9.51	14.42	10.80	2.72	3.16
+10 (+50)	2883	726	845	249	10.38	16.89	11.55	2.91	3.39
+15 (+59)	3278	826	960	271	11.31	19.36	12.09	3.05	3.54

TEST CONDITIONS:		ASHRAE32			(Condensing temperature 45°C (+113°F))				
@24V4500RPM		Static							
Evaporating temperature	Cooling capacity			Power consumption	Current consumption	Gas flow rate	EFFICIENCY RATE		
	+/- 5%			+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 7%		
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5 (+23)	1616	407	473	205	8.57	9.30	7.82	1.97	2.29
0 (+32)	2014	508	590	232	9.67	11.64	8.66	2.18	2.54
+5 (+41)	2417	609	708	258	10.74	14.06	9.39	2.37	2.75
+10 (+50)	2824	712	828	283	11.78	16.55	10.01	2.52	2.93
+15 (+59)	3236	816	948	308	12.79	19.11	10.54	2.66	3.09

ANEXO A- DATA SHEET COMPRESSOR


	COMPRESSOR TECHNICAL DATA
---	----------------------------------

E - PERFORMANCE - CURVES

TEST CONDITIONS: @24V4500RPM		ASHRAE32 Static			(Condensing temperature 55°C (+131°F))					
Evaporating temperature		Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5	(+23)	1544	389	453	225	9.43	8.88	6.84	1.72	2.01
0	(+32)	1923	484	563	259	10.81	11.11	7.45	1.88	2.18
+5	(+41)	2319	584	679	289	12.07	13.48	8.05	2.03	2.36
+10	(+50)	2733	689	801	317	13.20	16.01	8.66	2.18	2.54
+15	(+59)	3166	798	928	341	14.20	18.69	9.27	2.34	2.72

TEST CONDITIONS: @24V4500RPM		ASHRAE32 Static			(Condensing temperature 65°C (+149°F))					
Evaporating temperature		Cooling capacity +/- 5%			Power consumption +/- 5%	Current consumption +/- 5%	Gas flow rate +/- 5%	EFFICIENCY RATE +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-5	(+23)	1450	365	425	239	9.93	8.34	6.08	1.53	1.78
0	(+32)	1811	456	531	276	11.51	10.46	6.56	1.65	1.92
+5	(+41)	2204	555	646	308	12.87	12.82	7.14	1.80	2.09
+10	(+50)	2629	662	770	335	14.00	15.40	7.84	1.98	2.30
+15	(+59)	3085	778	904	356	14.90	18.22	8.66	2.18	2.54

ANEXO A- DATA SHEET COMPRESSOR

		COMPRESSOR TECHNICAL DATA		
F - EXTERNAL CHARACTERISTICS				
1 Base plate	Universal			
2 Tray holder	No			
3 Connectors				
3.1 SUCTION	6.2	+0.05/+0.05	[mm]	(0.244" +0.002"/+0.002")
3.1.1 Material	Copper			
3.1.2 Shape	Slanted 42° up + 45° to Back			
3.2 DISCHARGE	6.1	+0.10/+0.00	[mm]	(0.240" +0.004"/+0.000")
3.2.1 Material	Copper			
3.2.2 Shape	Slanted parallel BP+24° to Back			
3.3 PROCESS	8.2	+0.12/-0.08	[mm]	(0.323" +0.005"/-0.003")
3.3.1 Material	Copper			
3.3.2 Shape	Slanted 45° up + 45° to Back			
3.4 Oil cooler (Copper)	No		[mm]	
3.5 Connector sealing	Rubber Plugs			