

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE EM AUTOMAÇÃO

GABRIEL PACHECO  
GABRIELE ROQUITSKI  
IGHOR ALEXEI FRANKIV

**SISTEMA MICROCONTROLADO DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA  
ANÁLISE DE MOTOVENTILADORES APLICADOS A  
REFRIGERADORES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2013

GABRIEL PACHECO  
GABRIELE ROQUITSKI  
IGHOR ALEXEI FRANKIV

**SISTEMA MICROCONTROLADO DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA  
ANÁLISE DE MOTOVENTILADORES APLICADOS A  
REFRIGERADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Automação - DAELT - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Amauri Amorin Assef

CURITIBA

2013

Gabriel Pacheco  
Gabriele Roquitski  
Ighor Alexei Frankiv

## Sistema microcontrolado de aquisição de dados para análise de motoventiladores aplicados a refrigeradores

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 08 de Abril de 2013.

---

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.  
Coordenador de Curso  
Engenharia de Controle e Automação

---

Prof. Amauri Amorin Assef, Me.  
Coordenador dos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Amauri Amorin Assef, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Amauri Amorin Assef, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alceu André Badin, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marco Jose da Silva, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos em primeiro lugar a Deus que nos iluminou durante esta caminhada. Agradecemos também aos nossos familiares, que nos deram força e coragem, apoiando nas dificuldades. Agradecemos de forma especial a Luciane, pela confecção das caixas e suportes para fixação. Pelos colegas de profissão, pela compreensão e incentivo para a concretização do trabalho. Ao professor orientador Me. Amauri Amorim Assef, por todo apoio e dedicação para a realização do trabalho.

## RESUMO

**PACHECO, Gabriel; ROQUITSKI, Gabriele; FRANKIV, Ighor A. Sistema microcontrolado de aquisição de dados para análise de motoventiladores aplicados a refrigeradores. 2013. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.**

Neste trabalho foi descrito um sistema microcontrolado para a aquisição de dados de rotação e temperatura referentes aos motoventiladores utilizados em refrigeradores do tipo *Frost Free* da empresa Electrolux. Para o desenvolvimento do sistema de aquisição foram utilizados como componentes principais o microcontrolador PIC16F877A, sensor LM35, LED infravermelho e fototransistor. O sistema proposto atingiu um percentual de desvio abaixo de 1%, comparado com a metodologia atual, principalmente na faixa de operação em regime do teste dos modelos utilizados pela empresa, que é de 1800-3100 RPM. Com os diversos ensaios realizados verificou-se que o sistema proposto apresentou-se de maneira confiável e adequado para a aplicação exigida.

**Palavras Chaves: Aquisição de Dados. Microcontroladores. Refrigeradores. Motoventilador.**

## **ABSTRACT**

**PACHECO, Gabriel; ROQUITSKI, Gabriele; FRANKIV, Ighor A. Microcontrolled system for data acquisition on refrigerators applied motor fans analysis. 2013. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.**

For this work, a microcontrolled system has been described for rotation and temperature data acquisition on motor fan used in Frost Free refrigerators designed by Electrolux. For this acquisition system development the following components have been used: a PIC16F877A microcontroller, a LM35 sensor, an infrared LED and a phototransistor. The suggested system reached deviation lower than 1% comparing to the current methodology, mainly on the band operation that the given company uses for testing their models, which is from 1800 to 3100 RPM. According to the several performed trials it was possible to verify that the proposed system performed in a reliable and suitable way for the required application.

**Keywords: Data acquisition. Microcontrollers. Refrigerators. Motor fans.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aplicações de um microcontrolador dentro de um refrigerador .....	14
Figura 2 – Refrigerador <i>Frost Free I-Kitchen</i> (modelo DT80X).....	15
Figura 3 – Painel <i>touch screen</i> do refrigerador <i>Frost Free</i> DT80X.....	15
Figura 4 – Motoventilador, LED emissor e fototransistor receptor.....	17
Figura 5 – Suporte do motoventilador e tampa com indicação do LED emissor .....	18
Figura 6 – Visualização da montagem final do conjunto para a realização do teste .	18
Figura 7 – Sistema de refrigeração <i>Frost Free</i> , perfil em corte .....	24
Figura 8 – Exemplo de um evaporador placa plana - <i>rollbond</i> .....	25
Figura 9 – Exemplo de um evaporador tubo-aletas.....	26
Figura 10 – Motor de pólo sombreado .....	27
Figura 11 – Estator do motor de pólo sombreado .....	27
Figura 12 – Rotor do motor de pólo sombreado.....	28
Figura 13 – Evaporador sem a formação de geada (a) e Evaporador obstruído (b) .	29
Figura 14 – Sistema de medição.....	30
Figura 15 – LM35 operando na escala <i>full-range</i> de temperatura.....	32
Figura 16 – Princípio de funcionamento de um tacômetro .....	33
Figura 17 – Diagrama esquemático do circuito com o LED emissor e fototransistor	34
Figura 18 – Diagrama dos pinos do microcontrolador PIC16F877A .....	36
Figura 19 – Configuração dos pinos e circuito operacional típico do MAX232.....	42
Figura 20 – Multímetro Fluke modelo 289 / Aquisição de temperatura .....	43
Figura 21 – Circuito comparador básico com o LM339 .....	46
Figura 22 – Fluxograma do <i>firmware</i> programado .....	47
Figura 23 – Fluxograma das interrupções do <i>Timer0</i> .....	49
Figura 24 – Protótipo em protoboard.....	52
Figura 25 – Protótipo em placa padrão .....	53
Figura 26 – Ensaio de validação do <i>firmware</i> .....	54
Figura 27 – Distância entre os sensores na peça .....	58
Figura 28 – Ensaio de validação dos sensores LED infravermelho e fototransistor ..	58
Figura 29 – Suporte de fixação do motoventilador: (a) Modelo 3D e (b) Resultado final.....	59
Figura 30 – Placa final desenvolvida: (a) Modelo 3D e (b) Resultado final .....	60
Figura 31 – Forma de onda de entrada e saída do LM339 .....	61

Figura 32 – Sistema completo para os testes .....	61
Figura 33 – Hélice contendo uma fita refletiva .....	62
Figura 34 – Ensaio do motor 13, com o tacômetro e com o sistema proposto.....	64
Figura 35 – Comparação entre o termopar e o LM35 do protótipo.....	66
Figura 36 – Localização dos sensores no produto .....	67
Figura 37 – Produto pronto para o início dos ensaios .....	68
Figura 38 – Recebimento dos dados via comunicação serial .....	68
Figura 39 – Dados salvos em um arquivo de texto .....	69
Figura 40 – Produto final .....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de aquisição da rotação .....	57
Gráfico 2 – Valores de RPM dos 20 motores analisados .....	64
Gráfico 3 – Rotação do motor 13 com o chaveamento do motoventilador .....	70
Gráfico 4 – Temperatura do <i>freezer</i> com o motor 13 .....	71
Gráfico 5 – Curva de rotação do motor 6 .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculos dos períodos do <i>prescaler</i> .....	38
Tabela 2 – Parâmetros mínimos e máximos para USART e COM.....	41
Tabela 3 – Pinagem do LCD .....	51
Tabela 4 – Desvio de medição do <i>firmware</i> .....	55
Tabela 5 – Medições em RPM com o tacômetro e a placa de aquisição .....	63
Tabela 6 – Resultados das medições com o termopar e o LM35.....	65

## LISTA DE SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
CI	Circuito Integrado
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MCU	<i>Microcontroller Unit</i>
PC	Computador Pessoal
PCI	Placa de Circuito Impresso
PDIP	<i>Plastic Dual Inline Package</i>
PIC	<i>Programmable Interrupt Controller</i>
RPM	Rotações Por Minuto
SBCI	Sensor Baseado em Circuito Integrado
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	13
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS	16
1.3 PROBLEMA E PREMISSAS	19
1.4 OBJETIVOS	20
1.4.1 OBJETIVO GERAL	20
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.5 JUSTIFICATIVA	21
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	23
2.1 O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	23
2.1.1 EVAPORADOR	24
2.1.2 MOTOVENTILADOR	26
2.1.3 EFEITOS DA QUANTIDADE DE AR SOBRE A CAPACIDADE DO EVAPORADOR	28
2.2 SENSORES	30
2.2.1 SENSORES DE TEMPERATURA	31
2.2.2 SENSORES ÓPTICOS	32
2.3 MICROCONTROLADORES	35
2.3.1 ESTRUTURAÇÃO INTERNA DE UM MICROCONTROLADOR	35
2.3.2 MÓDULOS UTILIZADOS	36
2.4 COMUNICAÇÃO SERIAL	39
3.1 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	43
3.2 COMPONENTES PRINCIPAIS	45
3.2.1 PIC16F877A	45
3.2.2 LM35	45
3.2.3 DISPLAY LCD 16X2	45
3.2.4 SENSORES LED INFRAVERMELHO E FOTOTRANSISTOR	46
3.2.5 CI MAX232	46
3.2.6 LM339	46
3.3 DESENVOLVIMENTO DO <i>FIRMWARE</i>	47
3.4 SIMULAÇÃO	50
3.5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	52
3.6 TESTES DE DESENVOLVIMENTO	53
<b>4 RESULTADOS FINAIS</b>	59
4.1 VALIDAÇÃO DO LM339	60
4.2 ENSAIOS FINAIS	62
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	73
<b>REFERÊNCIAS</b>	75
<b>APÊNDICE A</b> - <i>FIRMWARE</i> DESENVOLVIDO EM LINGUAGEM C	79
<b>APÊNDICE B</b> - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO FINAL DO PROTÓTIPO	86
<b>APÊNDICE C</b> - DESENHO DA CAIXA UTILIZADA NOS TESTES EM LABORATÓRIO	88

# 1 INTRODUÇÃO

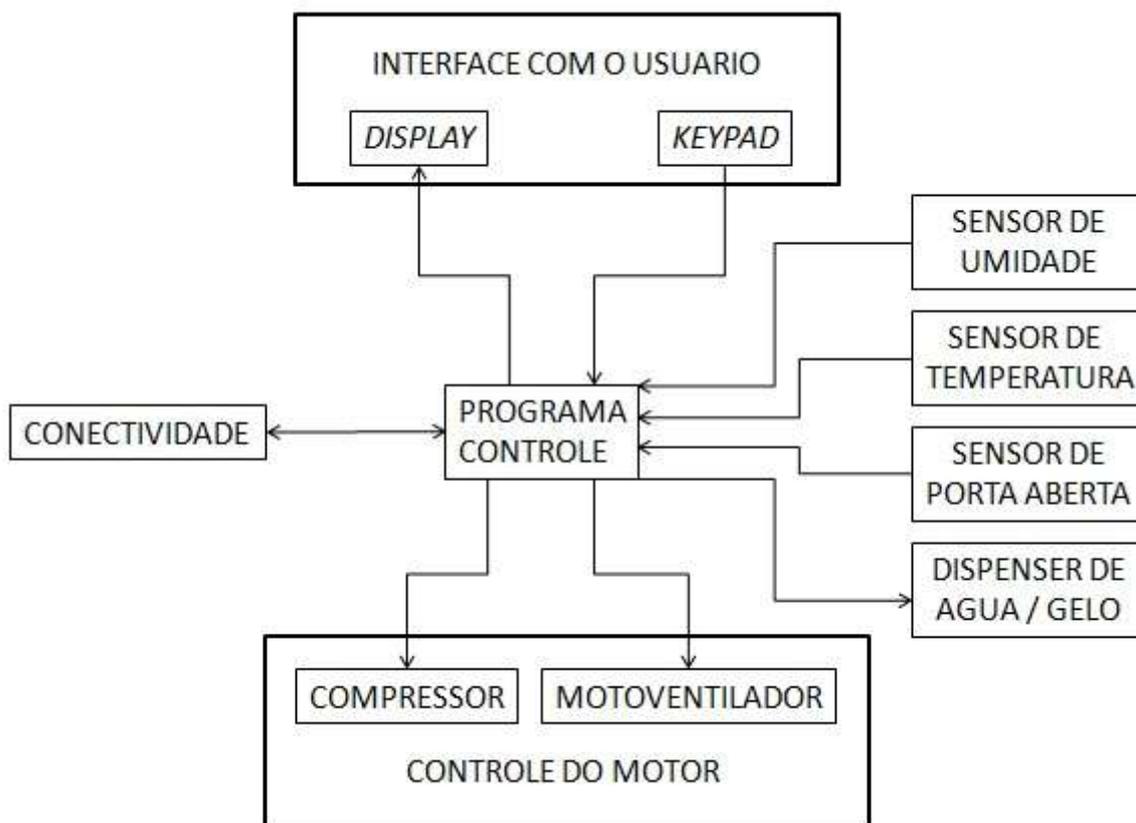
## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Na última década, a rápida evolução da microeletrônica, juntamente à expansão de mercado, possibilitou a produção de microcontroladores com custo reduzido. Dessa maneira, permitiu sua utilização em sistemas para leitura, aquisição de dados e processamento de sinais (ROSÁRIO, 2005, p.IX; VILELA et. al., 2001, p.25).

A aquisição automática de dados, através de microcontroladores, torna-se uma ferramenta estratégica de qualidade, pois permite a coleta, armazenamento, processamento e transmissão, eliminando possíveis erros e perdas dos dados. Outra vantagem do uso de um sistema de aquisição associado a microcomputadores é a comunicação de forma eficaz com diversos *softwares* comerciais tais como: planilhas eletrônicas, editores de texto, gráficos, entre outros (VILELA et al., 2001).

Atualmente, os microcontroladores estão presentes em inúmeros aparelhos eletroeletrônicos como: microondas, lavadoras de roupas, secadoras, refrigeradores, entre outros. Nesses aparelhos, onde há uma interface com o homem, tipicamente existe um microcontrolador responsável diretamente pelo funcionamento do circuito. Através da interface (painel), o usuário poderá configurar os parâmetros desejados e o microcontrolador irá agir de acordo com as funções do produto e ações do usuário.

Em grande parte dos refrigeradores atuais, conforme mostra a Figura 1, existem sensores que enviam sinais para um microcontrolador e através de parâmetros escolhidos pelo usuário esse dispositivo poderá exercer um controle sobre o equipamento, atuando em componentes do sistema de refrigeração, como são os casos do compressor e motoventilador. O *firmware* gravado dentro do microcontrolador pode ainda, nos casos dos refrigeradores mais modernos, atuar e permitir conectividade com a rede mundial de computadores (FREESCALE, 2012).



**Figura 1 – Aplicações de um microcontrolador dentro de um refrigerador**  
 Fonte: Adaptado de Freescale (2012).

Um bom exemplo da aplicação de microcontroladores em refrigeradores é a linha de produtos *Infinity I-Kitchen* da empresa Electrolux. O refrigerador dessa linha de produtos, o modelo DT80X da Figura 2, possui um painel *touch screen* (Figura 3), onde é possível escolher os parâmetros como, por exemplo: temperatura do *freezer* e do refrigerador, acionamento do *Ice Maker* (produção automática de gelo), além de sensores que controlam automaticamente a temperatura do refrigerador de acordo com a temperatura externa (ELECTROLUX, 2011).



**Figura 2 – Refrigerador *Frost Free I-Kitchen* (modelo DT80X)  
Fonte: Electrolux (2011).**



**Figura 3 – Painel *touch screen* do refrigerador *Frost Free* DT80X  
Fonte: Electrolux (2011).**

Como em qualquer outro tipo de equipamento, os refrigerados também passam por uma sequência de testes e ensaios de qualidade durante todo o processo produtivo, desde a inspeção de peças até o desempenho final do produto.

Na Electrolux do Brasil S/A, localizada no bairro Guabirota em Curitiba-PR, os testes de fabricação são realizados por amostragem em lotes de componentes e peças, antes do início do processo produtivo, e em produtos finais antes do envio para o cliente final. Um desses componentes é o motoventilador, que é submetido aos ensaios de dois departamentos: Engenharia de Produto e Engenharia de Qualidade. Esses dois departamentos realizam testes nos motoventiladores, porém possuem objetivos diferentes para a mesma característica de ensaio: a leitura da rotação do motoventilador.

## 1.2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

No ensaio da Engenharia de Produto, o objetivo é desenvolver novos motores em conjunto aos fornecedores, para atender as características exigidas para cada produto. Após o ensaio de desenvolvimento, a Engenharia de Produto libera as especificações e os desenhos para a aprovação do componente no Laboratório de Certificação da Qualidade, na própria Electrolux.

Seguindo a homologação do Laboratório de Certificação, o fornecedor é informado da aprovação, dando início ao seu processo produtivo. Na sequência, a cada lote recebido, a Engenharia de Qualidade, na Inspeção de Recebimento, retira amostras para verificação. Caso o item esteja em conformidade, entrará no processo produtivo do refrigerador.

Para os ensaios realizados pela Engenharia de Qualidade na Inspeção de Recebimento, é necessário o auxílio de um operador utilizando-se de um tacômetro digital e um dispositivo para fixação do motoventilador. Já o Laboratório de Certificação, seguindo a mesma metodologia do ensaio de desenvolvimento da Engenharia de Produto, recebe as primeiras amostras ainda na fase de desenvolvimento do motoventilador para a validação do mesmo, autorizando ou não a produção do fornecedor do componente a ser desenvolvido.

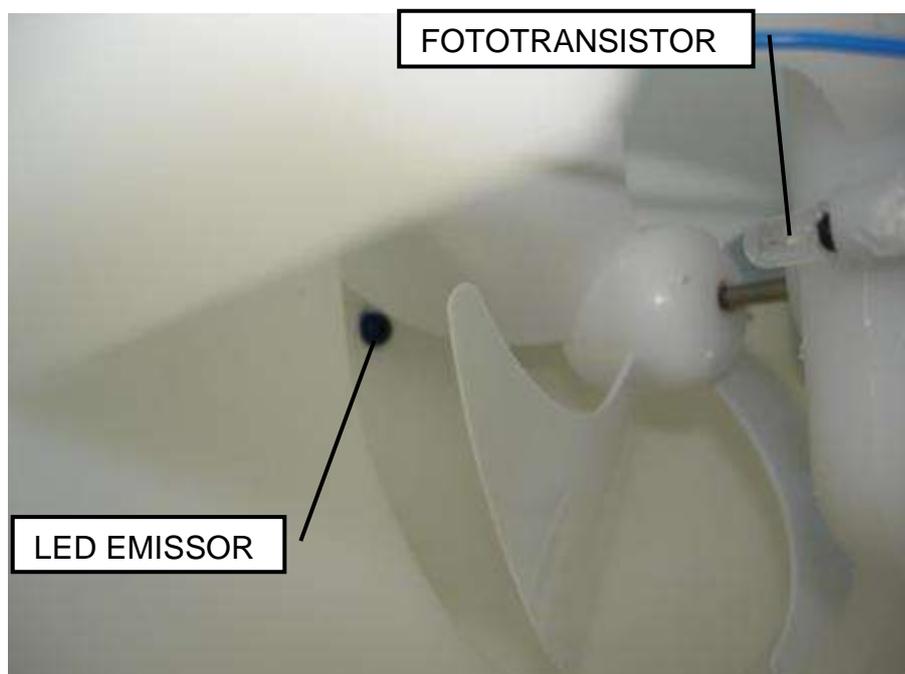
Quando ocorre alguma alteração de fornecedor, de especificação ou auditorias, o motoventilador é novamente submetido, pela Engenharia de Qualidade, ao ensaio de certificação. Como metodologias, são realizados ensaios de variação de temperatura, as quais são registradas juntamente com a rotação, para verificar o desempenho do componente.

Para o ensaio de desenvolvimento, é necessária a análise do comportamento do motoventilador nas diferentes temperaturas de funcionamento do produto, pois quanto menor a temperatura do ar dentro do compartimento do congelador, mais denso este se apresenta, ocasionando uma queda na rotação do motoventilador.

O valor apresentado da rotação varia, para cada produto, diretamente com a temperatura, e também é influenciado pelo volume interno do compartimento do congelador (onde se encontra o motoventilador).

Durante o ensaio da Engenharia de Produto, utiliza-se um sensor de temperatura (termopar), um LED (*Light Emitting Diode*) infravermelho, um fototransistor, além de um osciloscópio e um multímetro digital para as medidas.

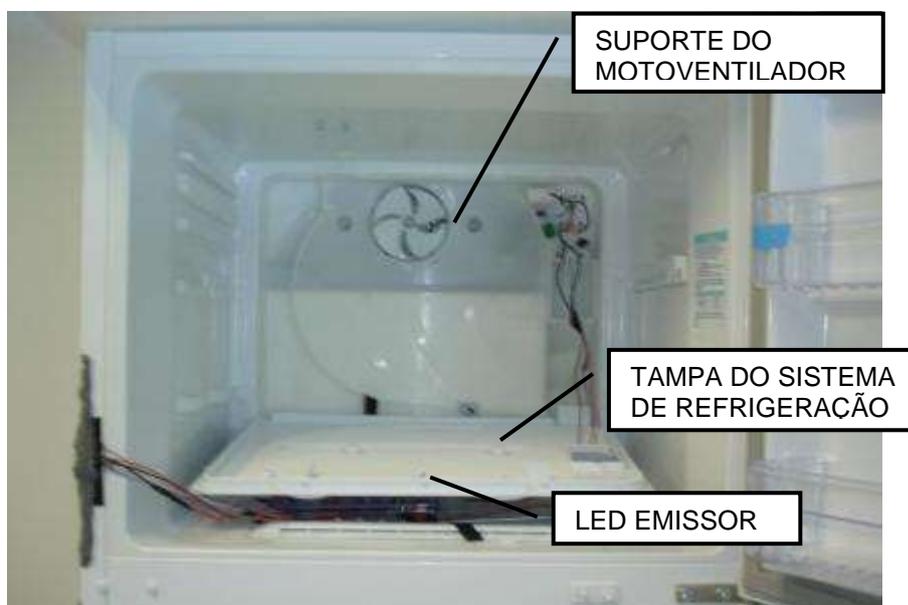
A Figura 4 ilustra a disposição do LED infravermelho e do fototransistor para as medições de rotação do motoventilador. O fototransistor (receptor) de cor transparente é posicionado no suporte do motoventilador e o LED (emissor) de cor azul é localizado na tampa do sistema de refrigeração.



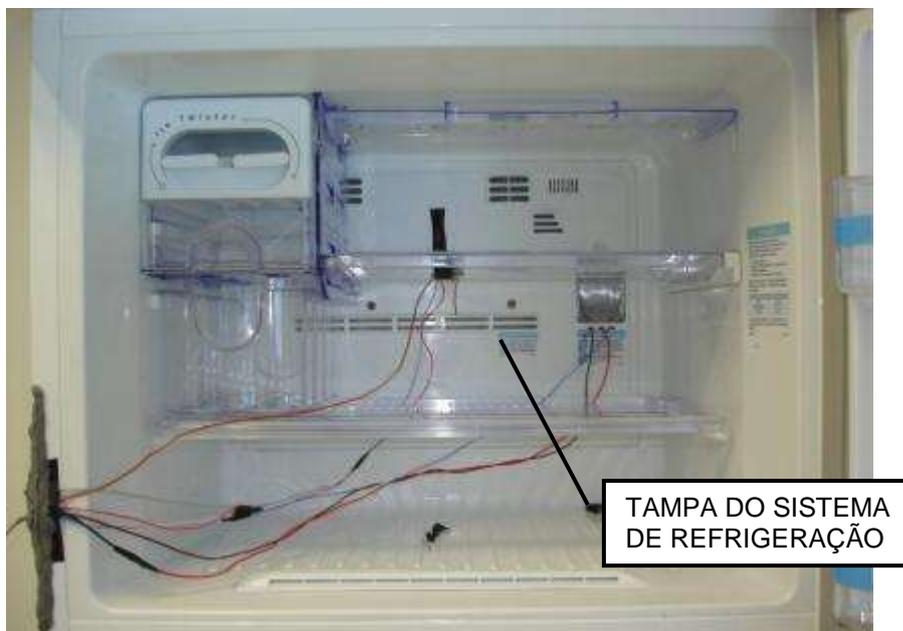
**Figura 4 – Motoventilador, LED emissor e fototransistor receptor**  
Fonte: Autoria própria.

As Figura 5 e Figura 6 ilustram o refrigerador com todas as ligações necessárias para o início do teste. Uma observação importante é que a passagem dos cabos para a parte externa do produto deve ser isolada para minimizar a

transferência de calor através do cobre, o que afetaria a temperatura interna do refrigerador *Frost Free*.



**Figura 5 – Suporte do motoventilador e tampa com indicação do LED emissor**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 6 – Visualização da montagem final do conjunto para a realização do teste**  
Fonte: Autoria própria.

Em ambos os ensaios, todos os dados (temperatura e rotação) coletados pelos equipamentos de medição (multímetros, osciloscópios e tacômetros) são registrados manualmente e, logo após, transcritos em uma planilha do *software*

Microsoft Office Excel. Após o registro destes dados, é feita uma análise do comportamento do motoventilador e do seu funcionamento, através da comparação com os valores especificados pelo departamento de Engenharia de Desenvolvimento de Produtos da empresa Electrolux do Brasil S/A.

Como a empresa não possui um equipamento específico, que atenda os dois ensaios, são utilizadas as duas metodologias descritas anteriormente, as quais utilizam equipamentos que poderiam estar disponíveis para ensaios de outros componentes. Além disso, nos ensaios de desenvolvimento e de certificação, para se atingir as temperaturas negativas em torno de  $-31^{\circ}\text{C}$  demanda-se um tempo elevado, em torno de quatro horas. O objetivo desse trabalho é justamente desenvolver um sistema que possa atender as necessidades dos dois ensaios com um único equipamento, fazendo os registros de forma automática e consequentemente, otimizando o tempo do operador e recursos da empresa.

### 1.3 PROBLEMA E PREMISSAS

A demanda de tempo, o registro manual feito pelo operador e a variação da precisão dos equipamentos de medição são as principais dificuldades para a realização dos ensaios.

Como atualmente o registro dos ensaios é realizado de forma manual, possíveis arredondamentos nos valores medidos poderão influenciar em futuras falhas no dimensionamento do motoventilador. Consequentemente, esses erros podem vir a prejudicar o real desempenho de um refrigerador.

Conforme apontado anteriormente, os testes de certificação e de desenvolvimento de um motoventilador tem uma longa duração. Isso ocorre, principalmente, devido ao tempo que se leva para estabilizar e alcançar as temperaturas negativas (até  $-31^{\circ}\text{C}$ ) necessárias para a avaliação do componente. Devido a este tempo, o operador ou acompanha o ensaio de forma integral, deixando outras atividades de lado, ou realiza o registro em intervalos regulares de tempo, que é o que se pratica na empresa. O grande problema dessa prática é que se podem perder algumas informações e eventos que possam surgir durante os ensaios, além do comportamento do motoventilador em determinadas temperaturas de funcionamento do refrigerador.

A idéia central deste projeto é a construção de um sistema microcontrolado que faça a aquisição dos dados dos ensaios de forma automática e confiável, possibilitando que o operador possa realizar outras atividades durante os testes. Todos os dados obtidos serão enviados para um computador, através de comunicação serial, e armazenados em um arquivo de texto para posterior análise de funcionamento.

A montagem de gráficos e a análise dos parâmetros do motoventilador, registrados em arquivo de texto, serão realizadas pelo operador, logo após a realização dos ensaios.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema microcontrolado para a aquisição dos parâmetros de rotação e temperatura referentes às condições reais de funcionamento dos motoventiladores em refrigeradores *Frost Free*, que atenda os dois parâmetros de ensaio. O mesmo sistema enviará os dados via porta serial para um computador. A análise final dos dados será realizada manualmente pelo operador.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento bibliográfico acerca dos temas: motoventiladores, microcontroladores, comunicação serial e sensores;
- Definir todos os módulos de *hardware* necessários para o projeto e estrutura do sistema;
- Definir o microcontrolador que atenda as exigências do projeto;
- Desenvolver o *firmware* do microcontrolador;
- Simulação do funcionamento do sistema;
- Desenvolver o circuito eletrônico para a aquisição de dados;
- Desenvolver um protótipo do sistema;
- Testar o protótipo do sistema;

- Obter curvas de rotação para diferentes valores de temperatura aplicados à motoventiladores, com base nos dados obtidos pelo sistema microcontrolado realizado em laboratório;
- Validar o protótipo desenvolvido.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

A automação de um processo visa melhorar a eficiência, aumentar a produtividade e reduzir custos, introduzindo novas técnicas de controle para fazer o gerenciamento das ações mais apropriadas a cada etapa de um processo (SILVEIRA; SANTOS, 1999, p.23).

Este trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de um sistema microcontrolado de aquisição de dados para análise de motoventiladores aplicados a refrigeradores. Este sistema, através do registro automático dos dados, permitirá maior confiabilidade aos ensaios, pois todos os dados adquiridos serão registrados em um arquivo digital. Além disso, o operador poderá realizar ensaios simultâneos, melhorando o processo de amostragem.

Com as medidas realizadas em intervalos de tempo fixos e com uma análise correta das informações adquiridas, espera-se maior confiabilidade nos resultados, maior eficácia dos testes e, conseqüentemente, melhoria no produto final fabricado pela empresa.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho está dividido em três etapas: pesquisa, desenvolvimento e análise final.

A primeira etapa do trabalho consiste na realização de uma pesquisa bibliográfica a respeito dos temas necessários para o desenvolvimento do trabalho. Foram pesquisados os seguintes temas: motoventiladores, microcontroladores, comunicação serial e sensores.

Em seguida, foi desenvolvido um protótipo do sistema microcontrolado juntamente com a simulação em *software*. Foi realizado o ensaio aplicado a um refrigerador *Frost Free*.

A próxima etapa desenvolvida foi à análise dos dados de ensaio para identificar a real eficácia e funcionamento do sistema.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo eles:

- Capítulo 1 – Introdução: apresentação da proposta, definição do tema, objetivos e motivação para o desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.
- Capítulo 3 – Desenvolvimento.
- Capítulo 4 – Resultados Finais.
- Capítulo 5 – Considerações Finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A refrigeração pode ser definida como a função de resfriar corpos sólidos ou fluídos em temperaturas inferiores as do ambiente, dentro de um determinado tempo e local (GOSNEY, 1982).

Durante séculos essa importante área da engenharia vem se desenvolvendo para atender às necessidades geradas pela humanidade. Atualmente é impossível imaginar o cotidiano das pessoas sem os benefícios gerados por essas tecnologias, seja para a conservação de alimentos, conforto térmico, medicina ou até na melhoria do desempenho de componentes eletrônicos (WALTRICH, 2008).

Dentro dos segmentos de refrigeração, a doméstica, que compreende refrigeradores e *freezers*, é a de maior destaque e importância econômica. No ano de 2008, segundo Waltrich (2008), o número de refrigeradores em operação no mundo já era superior a um bilhão.

Atualmente existem dois sistemas de refrigeração mais difundidos entre as empresas do ramo: o sistema *Frost Free* e o *Cycle Defrost*.

Em 2008, os produtos que utilizavam o sistema *Frost Free* já representavam 40% dos aparelhos vendidos. A grande diferença entre os sistemas *Frost Free* e os *Cycle Defrost* é o evaporador e o método de troca de calor, que é influenciado pela circulação de ar (WALTRICH, 2008). A Figura 7 ilustra o sistema de refrigeração *Frost Free*. Nela é possível observar a disposição do evaporador do tipo tubo-aletas e do motoventilador no interior do produto.

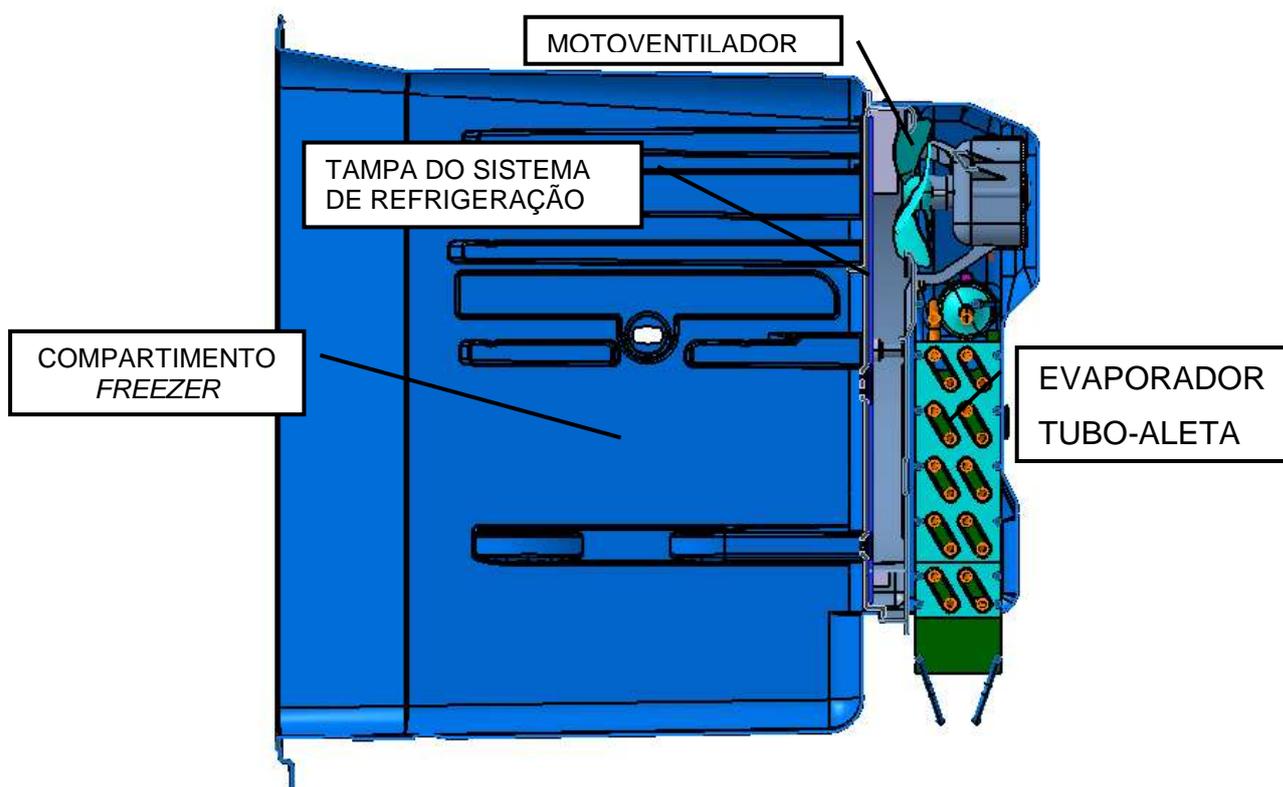


Figura 7 – Sistema de refrigeração *Frost Free*, perfil em corte  
Fonte: Autoria própria.

### 2.1.1 Evaporador

Segundo Bueno (2004), um evaporador é considerado como qualquer superfície onde exista transferência de calor, um líquido volátil se torna vapor removendo o calor de um espaço ou produto.

O evaporador possui a função de absorver o calor do compartimento do refrigerador, sendo a origem desse calor nos gêneros alimentícios armazenados, nas perdas por isolamento e na abertura e fechamento das portas (ANDERSON; PALMQUIST, 2002).

Em virtude de seus diferentes empregos na refrigeração, os evaporadores podem ser fabricados em uma variedade de tipos, tamanhos, formas e projetos, sendo classificados de acordo com o seu tipo de construção, superfície de transferência de calor, condição de operação, método de circulação do ar e aplicações (BUENO, 2004).

Assim, dentro do sistema de refrigeração, o evaporador exerce um papel fundamental, uma vez que tem influência direta na transferência de calor junto com o motoventilador. Devido a essa importância no desempenho do sistema, melhorias

em relação à eficiência podem influenciar diretamente no desempenho global do sistema e no consumo de energia do produto final. A circulação de ar nesses compartimentos pode ocorrer por dois métodos: convecção natural ou forçada (WALTRICH, 2008).

Nos refrigeradores *Cycle Defrost*, cujo funcionamento se dá por convecção natural, o evaporador é do tipo placa plana (*rollbond*) (Figura 8) e normalmente está posicionado na parte superior do refrigerador. Sua aplicação em refrigeradores de uso doméstico ocorre principalmente devido ao seu baixo custo e fácil limpeza para o usuário, podendo ser moldado em várias formas requeridas (DOSSAT, 2004).



**Figura 8 – Exemplo de um evaporador placa plana - *rollbond***  
**Fonte: Autoria própria.**

Já nos refrigeradores *Frost Free*, que operam através da convecção forçada, o evaporador é do tipo tubo-aletas (Figura 9). Estes se encontram posicionados no fundo do compartimento do congelador, e, para que ocorra a transferência de calor do evaporador para o meio, é necessário que se tenha um ventilador acoplado (motoventilador) para insuflar o ar entre as aletas (WALTRICH, 2008).

Devido à aplicação das aletas no sistema *Frost Free*, a área de superfície externa do evaporador é aumentada, permitindo uma maior área de resfriamento em um espaço reduzido (TRAINING PUBLICATIONS DIVISION, 2004).



**Figura 9 – Exemplo de um evaporador tubo-aletas**  
**Fonte: Autoria própria.**

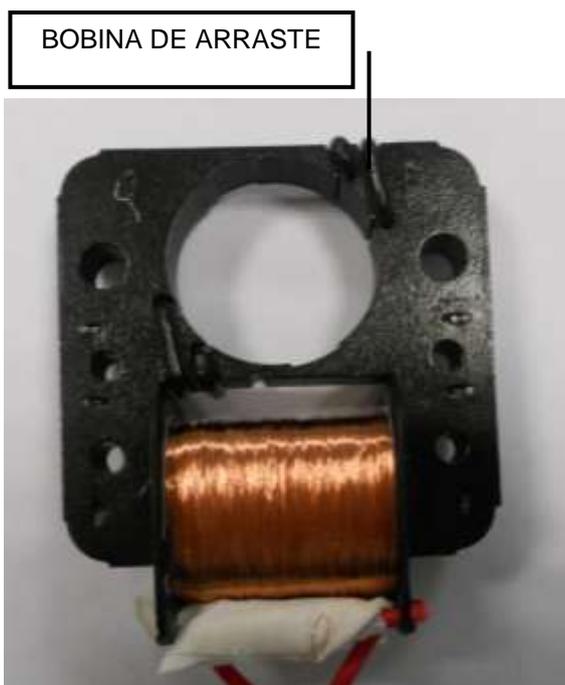
### 2.1.2 Motoventilador

Entre os vários motores existentes, conforme Dossat (2004), os motores monofásicos são os mais utilizados em sistemas de refrigeração, seja nos compressores, bombas ou ventiladores. Dentro da refrigeração doméstica aquele que mais se destaca pela robustez e pelo baixo custo é o motor de pólo sombreado, representado pela Figura 10. Estes motores, de acordo com Fitzgerald, Kingsley e Kusko (1975), também são conhecidos como motores de campo distorcido, sendo considerados os mais simples e com melhor torque entre os motores monofásicos.



**Figura 10 – Motor de pólo sombreado**  
Fonte: Autoria própria.

Do ponto de vista construtivo existem diversos tipos de motores de pólo sombreado, sendo o mais comum o de pólo salientes. Cada pólo desse motor é envolvido por uma espira de cobre em curto-circuito chamada de bobina de arraste (Figura 11). A finalidade dessa espira é o atraso do fluxo da parte abraçada em relação ao fluxo da parte não abraçada, isso ocorre através da corrente induzida nesta espira (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 1975).



**Figura 11 – Estator do motor de pólo sombreado**  
Fonte: Autoria própria.

O resultado desse atraso é similar ao de um campo girante, o qual produz o seu movimento no sentido da parte não abraçada para a espira. Correntes então passam a ser induzidas no rotor do tipo gaiola (Figura 12), e dessa forma, um baixo torque de partida é produzido (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 1975).



**Figura 12 – Rotor do motor de pólo sombreado**  
**Fonte: Autoria própria.**

Com relação ao desempenho, esses motores apresentam: baixo fator de potência (geralmente próximo de 0,58), baixo rendimento e normalmente são fabricados em potências nominais de até 50 W (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 1975).

Devido a sua simplicidade, robustez e baixo custo esses motores são ideais para aplicações com movimentação de ar, como: ventiladores, exaustores, unidades de refrigeração, entre outros (OLIVEIRA; DIAS, 2002).

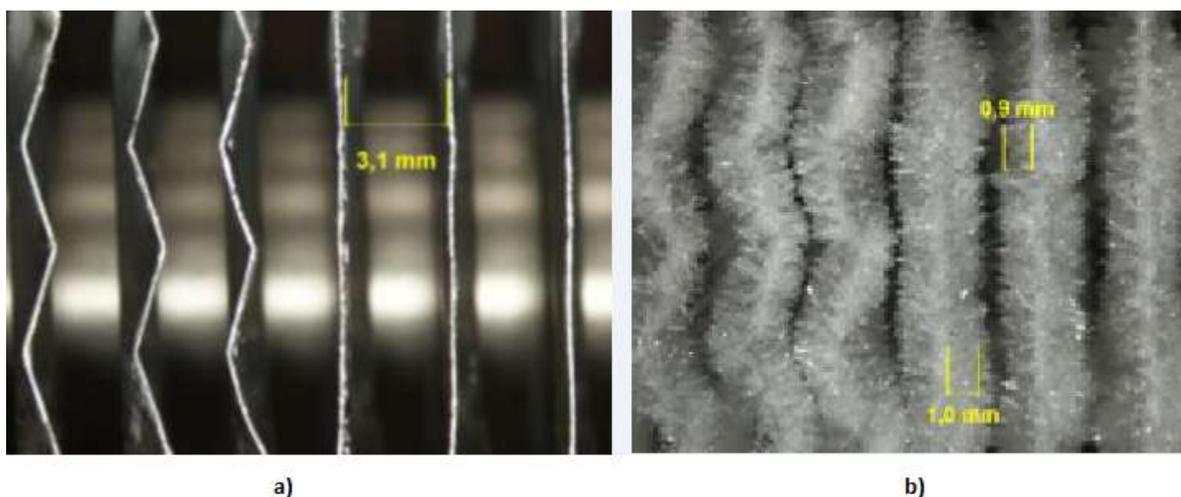
### 2.1.3 Efeitos da quantidade de ar sobre a capacidade do evaporador

Em um sistema de refrigeração diversos fatores externos afetam o desempenho do evaporador. Entre os principais fatores podem-se citar: a circulação, a velocidade e a distribuição do ar no espaço a ser refrigerado (DOSSAT, 2004).

De maneira geral, nos sistemas de refrigeração, observa-se a formação de pequenas camadas de gelo (Figura 13) sobre os evaporadores, conhecidas como

geadas. Devido a essas formações as aletas ficam obstruídas, reduzindo assim a passagem de ar sobre as mesmas (SILVA, 2012).

Porém, para Silva (2012), a redução na vazão de ar sobre as aletas é mais significativa para a redução do desempenho geral do sistema do que o efeito isolante provocado pela geada.



**Figura 13 – Evaporador sem a formação de geada (a) e Evaporador obstruído (b)**  
 Fonte: Adaptado de Silva (2012).

De acordo com Dossat (2004), em um evaporador do tipo tubo aletas, ocorrem duas situações devido às variações da circulação do ar conforme a seguir:

- Baixa circulação de ar – Resulta em temperaturas não homogêneas, pois o ar insuflado permanece em contato com as aletas por um tempo elevado. Possibilidade de ocorrer bloqueio, através das geadas, no evaporador. Ocorre o aumento da umidade que, conseqüentemente, favorece a formação de fungos e bactérias nos alimentos ou produtos armazenados.
- Elevada circulação de ar – Melhora na eficiência decorrente de uma maior quantidade de ar deslocada entre as aletas, a qual rompe a pequena camada de ar estagnada entre elas, que anteriormente atuava como isolante. Em casos onde a velocidade do ar está acima do ideal, ocorre uma excessiva desidratação sobre os alimentos e produtos armazenados, podendo ocasionar em perda de massa, valores nutricionais e qualidade dos mesmos.

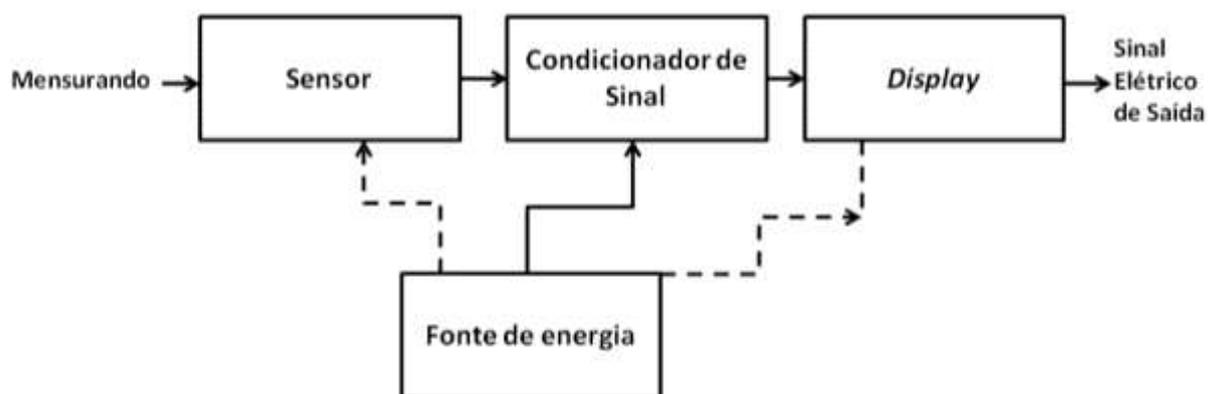
O valor “ideal” para a circulação do ar no evaporador varia conforme a aplicação e depende da umidade do local, do tipo de alimento a ser armazenado e da extensão do tempo de estocagem (DOSSAT, 2004).

## 2.2 SENSORES

Na automação, os sistemas de instrumentação atuam diretamente na leitura, controle e monitoramento de processos e operações, transferindo e registrando informações úteis decorrentes desses eventos (WERNECK, 1996, p.3).

Um sistema de medição típico, representado pela Figura 14, é composto por:

1. O sensor: Converte a grandeza a ser medida em um sinal elétrico de saída;
2. O condicionador de sinal: Converte o sinal proveniente do sensor em um sinal adequado e reconhecido pelo *display*;
3. O *display* ou elemento de registro: Elemento que possibilita o reconhecimento das informações sobre a grandeza medida;
4. A fonte de energia: Elemento que provê a alimentação para os dispositivos do sistema (NORTON, 1989, p.2).



**Figura 14 – Sistema de medição**  
Fonte: Adaptado de Norton (1989, p.2).

Os sensores são componentes ativos ou passivos que respondem a estímulos na entrada (temperatura, luz, som, etc.) convertendo-os em sinais elétricos na saída, sob a forma de tensão, corrente ou carga elétrica.

Os sensores passivos produzem diretamente, a partir dos estímulos de entrada, os sinais elétricos na saída. Já os sensores ativos necessitam de uma fonte externa de excitação para gerar o sinal de saída (MAZZAROPPI, 2007).

Os sensores são classificados quanto as suas especificações, seus estímulos, princípios físicos de conversão, materiais de fabricação e suas aplicações (FRADEN, 1996).

As características mais comuns desses instrumentos são: faixa ou *range*, resolução, histerese, erro, precisão e sensibilidade (WERNECK, 1996). Podem ainda ser divididos em resistivos, indutivos, capacitivos, eletromagnéticos, termoelétricos, fotovoltaico, piezoelétrico, entre outros de acordo com o seu princípio de funcionamento (NORTON, 1989).

### 2.2.1 Sensores de Temperatura

Existem vários tipos de sensores de temperatura que são indicados de acordo com uma aplicação específica e/ou faixas de temperatura. Os sensores mais comuns são os termopares, detector resistivo de temperatura, termistores e os sensores baseados em circuitos integrados (SBCIs) (ZANCO, 2006, p.134).

Uma das vantagens da utilização dos SBCIs é a simples interface com os microcontroladores, além de serem de fácil instalação e obtidos a baixo custo (ZANCO, 2006, p.137).

Entre os diversos SBCIs existentes para leitura da temperatura, o CI LM35, fabricado pela empresa National Semiconductor, é um dos sensores que se destaca pelo simples manuseio e por seu circuito precisar de poucos componentes eletrônicos para operação. Por ser calibrado em graus Celsius, não exige reajuste de variáveis, sendo mais vantajoso em relações aos sensores com escala em KELVIN (CRESPI; CERON, 2012).

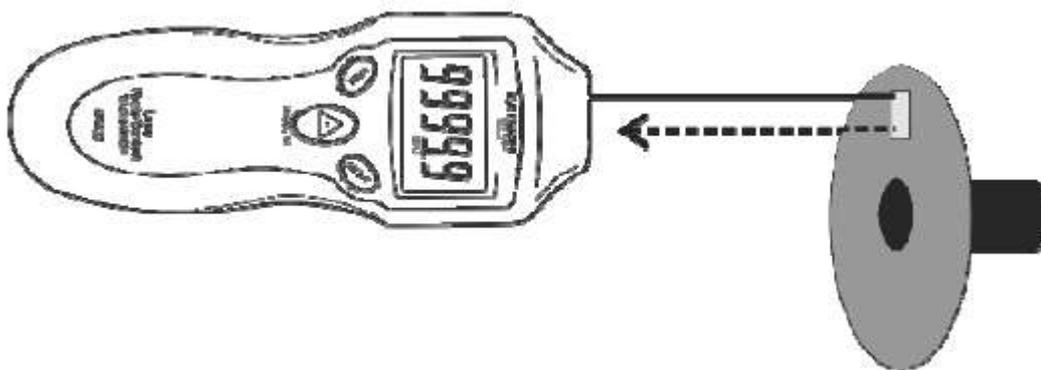
O LM35 opera em uma faixa de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  e tem em sua saída uma tensão linear proporcional à temperatura a ser medida com resolução de 10 mV por grau Celsius (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000, p.1), atendendo aos requisitos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

O circuito representado pela Figura 15, mostra a configuração que foi usada para medir temperaturas negativas e positivas dentro da escala *full-range* ( $-55^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ ) de temperatura conforme nota de aplicação do fabricante do LM35.



laser) que ao serem refletidos pela hélice do motoventilador são detectados. Assim, é feita a contagem, pelo tacômetro digital, de quantas reflexões foram detectadas por segundo, mostrando o valor da rotação do motoventilador em RPM no seu *display* (ICEL LTDA, 2013).

Para que o feixe de luz que incide na superfície do motoventilador seja refletido para o tacômetro, faz-se necessária a aplicação de uma faixa de fita refletiva (aproximadamente 12 mm). No caso do objeto ser totalmente polido e refletivo é preciso que se aplique uma fita isolante preta ou pinte de preto a superfície do objeto para, depois, aplicar o pedaço de fita refletiva (ICEL LTDA, 2013).



**Figura 16 – Princípio de funcionamento de um tacômetro**  
 Fonte: Extech Instruments (2013, p.4).

- LED emissor

Para os sistemas ópticos, o LED é um exemplo de fonte emissora de luz, que emite desde a radiação infravermelha até a ultravioleta (HAAG; KRENZINGER, 2006, p. 130).

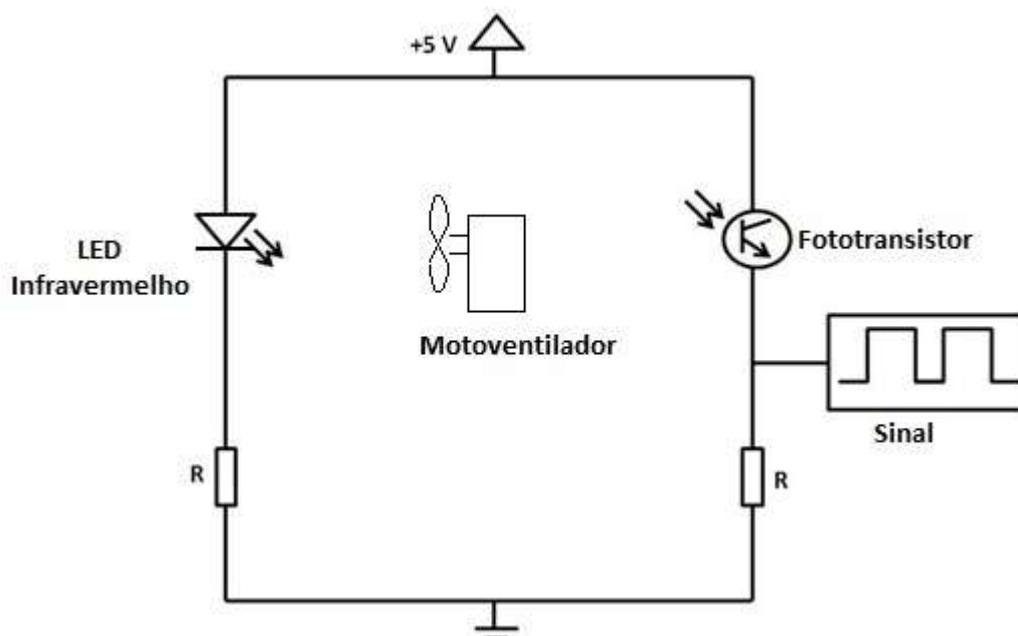
- Fototransistor

Os fototransistores representam os receptores de energia luminosa, sendo dispositivos semicondutores com junção p-n coletor-base sensíveis à luz, também sendo capazes de fornecer um ganho operacional como os transistores convencionais. O aumento da intensidade de luz incidente sobre a junção coletor base provocará a polarização do fototransistor, fazendo com que a corrente na base

aumente proporcionalmente. Dessa maneira, tem-se que a corrente que é induzida na junção base implicará na variação da corrente na junção coletora, conduzindo a corrente do coletor para seu emissor (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1999).

No projeto, para a leitura da rotação do motoventilador, foi escolhido o mesmo sistema de medição utilizado pela Engenharia de Produto com um LED operando na faixa do infravermelho (emissor) e um fototransistor (receptor).

A Figura 17 mostra o diagrama esquemático do funcionamento do circuito de medição usando um LED emissor e um fototransistor. A hélice do motoventilador ocasiona o bloqueio do feixe luminoso.



**Figura 17 – Diagrama esquemático do circuito com o LED emissor e fototransistor**  
**Fonte: Autoria própria.**

O funcionamento do sistema óptico usado segue o seguinte princípio: quando o fototransistor recebe o feixe luminoso proveniente do LED infravermelho, a saída do sistema permanece em nível lógico alto (1). Quando há um bloqueio do sinal luminoso, através da passagem da hélice do motoventilador entre emissor e receptor, o receptor passa a enviar nível lógico baixo (0), compatíveis com níveis TTL (*Transistor-Transistor Logic*).

Portanto, por meio do microcontrolador, é possível verificar se o sistema emissor/receptor está em estado lógico alto ou baixo em função do tempo, assim

determinando o tempo de bloqueio, que é utilizado para detectar a frequência de operação do motoventilador.

## 2.3 MICROCONTROLADORES

### 2.3.1 Estruturação interna de um microcontrolador

Os tópicos que diferenciam os diversos tipos de microcontroladores existentes no mercado são descritos pela quantidade de memória interna de armazenamento de dados e instruções de programas, a velocidade que o programa é processado, a quantidade de portas configuráveis de entrada e saída, as quantidades e os tipos de periféricos existentes, a arquitetura utilizada (Harvard ou Von-Neumann) e o conjunto de instruções existentes nos circuitos internos do microcontrolador (MARTINS, 2005, p. 15).

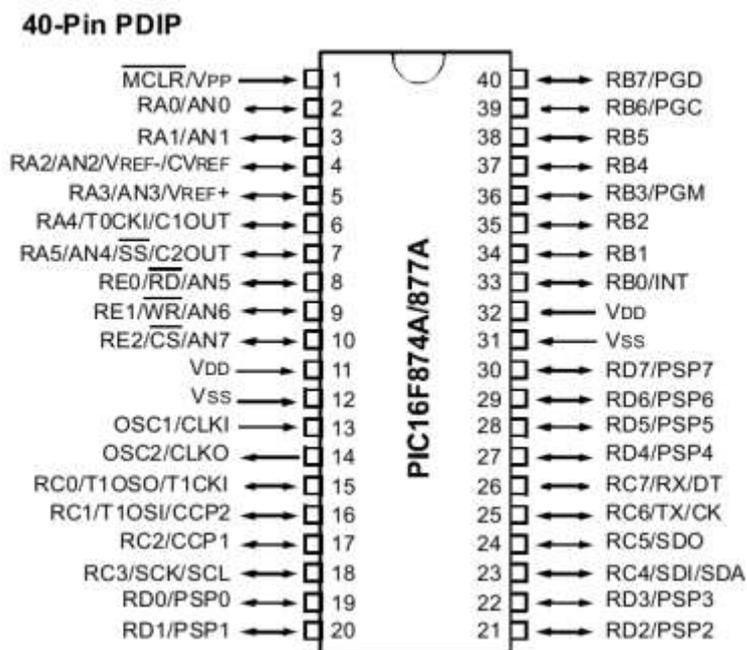
Analisando estes dados juntamente com as necessidades do projeto a ser realizado, foi escolhido um microcontrolador que agrupa os recursos necessários, possui uma grande disponibilidade nas lojas de eletrônica locais, um baixo custo e que já foi abordado e estudado no decorrer da graduação. Este microcontrolador é um PIC (*Programmable Interrupt Controller*) modelo 16F877A, com barramento interno de dados de 8 *bits* e arquitetura Harvard. A seguir é apresentada uma lista das principais características e recursos do microcontrolador PIC16F877A:

- Possui 40 pinos, o que possibilita a construção de um *hardware* mais complexo, capaz de ter uma ampla interação dos recursos e funções;
- 33 portas de entrada ou saída configuráveis;
- Memória de programa FLASH com 8 *kwords*;
- Memória RAM com 386 *bytes*;
- Três temporizadores (*timers*), sendo dois de 8 *bits* e um de 16 *bits*;
- Possui módulo de comunicação serial;
- Conversores e comparadores analógicos de 10 *bits*.

Outro motivo para a escolha de um microcontrolador PIC foi à facilidade de programação em linguagem C, além da disponibilidade de módulo programador para

gravação do *firmware* em conjunto com o *software* MPLAB IDE, sendo o último ofertado gratuitamente pelo próprio fabricante, Microchip Technology Inc.

A Figura 18 ilustra a distribuição dos pinos do microcontrolador PIC16F877A com encapsulamento PDIP (*Plastic Dual Inline Package*), de 40 pinos, utilizado no trabalho.



**Figura 18 – Diagrama dos pinos do microcontrolador PIC16F877A**  
 Fonte: Microchip Technology Inc. (2012).

### 2.3.2 Módulos utilizados

#### Interrupção do *Timer0*

Uma interrupção tem a finalidade de interromper o programa em andamento para realizar outra função específica. De acordo com Souza (2005, p. 31), as rotinas de atendimento de instruções são realizadas pelo *hardware*, tornando-se velozes e disponíveis a qualquer momento.

Durante uma interrupção, o programa principal é parado e a interrupção entra em andamento. Ao final da função especificada na interrupção em questão, o programa retorna o seu funcionamento principal diretamente ao ponto onde houve a interrupção.

No projeto, o *Timer0* foi utilizado para realizar a temporização de um segundo, que representa a janela de tempo necessária para a leitura do número de rotações. Para isso, foi realizado um estudo sobre o melhor valor para carga dos registradores de configuração do módulo, bem como o número de interrupções necessárias para a janela de tempo de 1 segundo, utilizando-se como referência um cristal de 8 MHz ( $f_{CLK}$ ). Nesse cenário, o período do *clock* configurado na entrada do *prescaler* do *Timer0* equivale a:

$$T_{TMR} = \frac{4}{f_{CLK}} = \frac{4}{8M} = 0,5 \mu s \quad (1)$$

Ao passar pelo *prescaler*, ocorre uma divisão da frequência de *Timer0*. Isto equivale a uma multiplicação do período:

$$T_{PRE} = T_{TMR} \times DIV \quad (2)$$

Onde: *DIV* representa o fator de divisão do *prescaler*.

Para gerar cada estouro do *Timer0* são necessárias 256 contagens, resultando no período de cada estouro  $T_{EST}$  dado pela equação (3):

$$T_{EST} = T_{PRE} \times 256 \quad (3)$$

Por fim, calcula-se o número de estouros ( $N_{EST}$ ) que são necessários para se obter 1 segundo:

$$N_{EST} = \frac{1}{T_{EST}} \quad (4)$$

Como  $N_{EST}$  somente pode ser inteiro existe um erro de aproximação. A seguir, a Tabela 1 demonstra todos estes cálculos em função do divisor *DIV* escolhido.

Tabela 1 – Cálculos dos períodos do *prescaler*

<i>Prescaler</i>	$T_{PRE}$	$T_{EST}$	$N_{EST}$	Erro	Erro %
1:2	1 $\mu$ s	256 $\mu$ s	3906	64 $\mu$ s	0,0064
1:4	2 $\mu$ s	512 $\mu$ s	1953	64 $\mu$ s	0,0064
1:8	4 $\mu$ s	1,024 ms	976	576 $\mu$ s	0,0576
1:16	8 $\mu$ s	2,048 ms	488	576 $\mu$ s	0,0576
1:32	16 $\mu$ s	4,096 ms	244	576 $\mu$ s	0,0576
1:64	32 $\mu$ s	8,192 ms	122	576 $\mu$ s	0,0576
1:128	64 $\mu$ s	16,384 ms	61	576 $\mu$ s	0,0576
1:256	128 $\mu$ s	32,768 ms	30	1696 $\mu$ s	1,69

Fonte: Aatoria própria.

Observando a tabela nota-se que há três faixas de erros. Considerando que o erro 0,0576% seja aceitável (576  $\mu$ s) e que, se o intervalo entre as interrupções for relativamente pequeno, haverá um grande número de interrupções e a execução do programa normal pelo microcontrolador poderá ser prejudicada, foi escolhido o divisor *prescaler* igual a 1:128. Com isso, são necessários 61 estouros para a janela com tempo igual a 999,424 ms para cálculo da velocidade do motoventilador em RPM.

### **Timer1**

O módulo do *Timer1* de 16 *bits* foi configurado como contador de eventos externos, ou seja, foi utilizado para detectar o *clock* oriundo dos pulsos enviados pelos sensores acoplados no motoventilador. O número de contagens do *Timer1* é lido a cada segundo e dividido por 4, devido ao número de pás do motoventilador, para o cálculo da velocidade em RPM.

### **Módulo A/D**

O módulo conversor analógico para digital (A/D) foi utilizado para realizar o ajuste da temperatura proveniente do sinal analógico enviado do sensor LM35 para o PIC e convertê-lo em um sinal digital de 10 *bits*. O projeto utiliza dois canais de

conversão A/D, ADC0 e ADC1, que recebem o sinal analógico para o cálculo da temperatura negativa ou positiva a ser medida.

## **Módulo USART**

O periférico USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) foi configurado para realizar a comunicação serial do sistema proposto com um computador. Através deste módulo são enviados os parâmetros de temperatura e rotação do motoventilador via porta serial na taxa de transferência (*baud rate*) de 9600 *bits* por segundo (bps). Um CI MAX232 é utilizado como conversor de nível lógico TTL para o padrão de interface TIA/EIA-232-F, necessário para o padrão de comunicação RS-232.

## 2.4 COMUNICAÇÃO SERIAL

Nos dias atuais é comum que haja um interfaceamento entre um sistema microcontrolado e um computador pessoal (PC). Este tipo de operação é de extrema importância em equipamentos que realizam verificações periódicas, como uma análise de variáveis importantes para o dimensionamento de componentes externos de um sistema.

No trabalho em questão, a comunicação serial permite o registro e transferência de dados técnicos de rotação e temperatura para um computador para posterior análise, visando um melhor dimensionamento do motoventilador utilizado no sistema de refrigeração.

A comunicação serial pode ser feita através das diversas portas de comunicação do PC: porta serial (COM), paralela (LPT), USB, ethernet, infravermelho, entre outras (ZANCO, 2006, p. 252).

Dentre tantas possibilidades de interfaceamento entre um microcontrolador e um computador, um dos módulos periféricos mais simples é o USART, conhecido como porta COM (ZANCO, 2006, p. 265), e que, apesar do avanço da interface USB, ainda está presente na maioria dos computadores. O padrão de comunicação serial utilizado pelos computadores é o RS-232, o qual precisa ter seus níveis de tensão adequados para a comunicação com o microcontrolador. O CI MAX232

realiza esta adequação aos níveis de sinais exigidos pelo padrão RS-232 (ZANCO, 2006, p. 252).

Souza e Lavinia (2002, p. 243) relatam a grande vantagem de se utilizar a USART, que é o módulo interno do PIC responsável pela comunicação serial. Ela possui os recursos de comunicação separados em dois módulos independentes que podem ser utilizados simultaneamente, podendo transmitir e receber dados ao mesmo tempo.

Segundo Zanco (2006, p. 254), utilizando a USART no modo assíncrono a comunicação acaba sendo realizada em duas vias de dados, sendo uma para transmissão (TX) e outra para a recepção dos dados (RX). A via de dados deve se responsabilizar pelo sincronismo e para que isto ocorra deverá existir uma taxa de transferência ou *baud rate* pré-definido. Zanco (2006, p. 253) decreve o *baud rate* como sendo “o período do *bit*, também chamado de intervalo de sinalização”.

As vias de comunicação serial ao possuírem o estado padrão em nível lógico alto ficam em uma situação de *stand-by*. Quando a transmissão é iniciada, a via de TX é forçada a pulsar para o nível lógico baixo, denominado de *start bit*, e permanece neste nível durante o período  $T_{BIT}$ , e ao ser reconhecido pela via RX inicia a sincronização para a recepção do *byte*. A via TX envia 8 *bits* de dados do mesmo período do *start bit* e, após o período determinado, a via RX coleta estes 8 *bits*. O último processo da comunicação é quando a via TX envia um *stop bit* para garantir o retorno do sistema em *stand-by*, possibilitando uma nova transferência de dados (SOUZA; LAVINIA, 2002, p. 244).

Originalmente o padrão RS-232 utiliza um conector de 25 pinos (denominado de DB-25), entretanto o conector de 9 pinos (denominado de DB-9) é o mais utilizado nas comunicações seriais (ZANCO, 2006, p. 262-263). A Tabela 2 mostra os parâmetros mínimos e máximos de uma comunicação serial assíncrona que podem ser configurados no MCU (*Microcontroller Unit*), de acordo com o periférico USART, e nos computadores através da porta COM. Para que esta comunicação funcione corretamente os dois lados devem estar sincronizados (ZANCO, 2006, p. 265).

**Tabela 2 – Parâmetros mínimos e máximos para USART e COM**

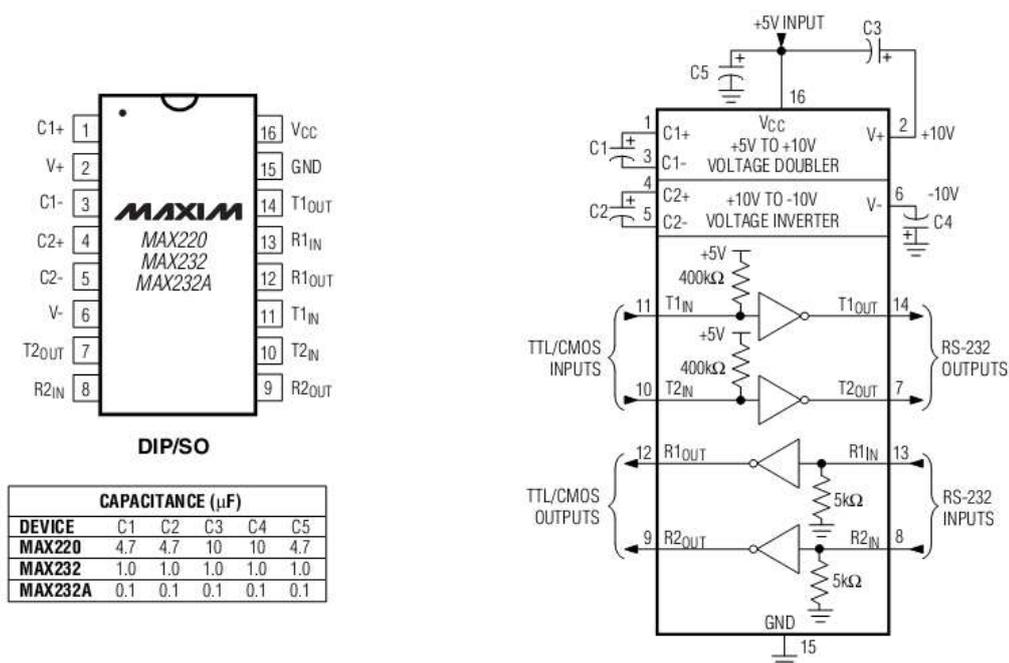
	PIC16F877A	Porta COM do PC
Taxa de transferência	110 a 1.250.000 bps	110 a 921.600 bps
Número de <i>bits</i>	8 ou 9	4 a 8
<i>Bit</i> de paridade	Não suporta	Par, ímpar, marca ou espaço
<i>Stop bit</i>	1	1, 1,5 ou 2
Controle de fluxo	Não suporta	<i>Hardware</i> , XON/XOFF ou nenhum

**Fonte: Adaptada de Zanco (2006, p. 265).**

Na Tabela 2, a taxa de transferência é o valor do *baud rate* configurado, o número de *bits* é a quantidade de *bits* configurados para o MCU e o PC, o *bit* de paridade é usado geralmente para analisar uma possível falha no *firmware* para comunicação serial programado dentro do MCU.

Os microcontroladores utilizam uma lógica TTL como modo de exibição dos níveis lógicos 0 e 1. Para que um MCU possa interfacear com o padrão RS-232 é utilizado o CI MAX232, que faz a transformação da lógica TTL para a RS-232 (quando um MCU envia um dado) e também faz a transformação inversa (quando um periférico externo manda um dado) (ZANCO, 2006, p. 267).

O RS-232 *Driver/Receiver* (como é denominado o MAX232) é fabricado por empresas como Texas Instruments e Maxim. O diagrama padrão dos pinos do MAX232 está ilustrado na Figura 19.



**Figura 19 – Configuração dos pinos e circuito operacional típico do MAX232**  
 Fonte: Maxim (2012, p. 14).

Conforme ilustra a Figura 19, o CI MAX232 possui quatro canais de conversão de lógicas sendo dois canais de entrada e dois canais de saída. Usualmente o CI MAX232 utiliza dois canais para dados (TX e RX) e dois canais para controle de fluxo (CTS e RTS) (ZANCO, 2006, p. 267).

O MAX232 pode ser ligado a um conector DB-9 (macho ou fêmea), que possibilita (através de um cabo) a comunicação serial entre a placa controladora e o computador.

Existem basicamente três modos de comunicação: O *simplex*, o *half-duplex* e o *full-duplex*. Uma comunicação *simplex* possui uma conexão que permite o tráfego de dados apenas em um sentido. Já uma comunicação *half-duplex* possui uma conexão que permite o tráfego nos dois sentidos, mas apenas em um sentido de cada vez. E a comunicação *full-duplex* possui uma conexão que permite o tráfego em ambos os sentidos simultaneamente (TANENBAUM, 2011, p.111). O CI MAX232 possui o modo de comunicação *full-duplex*, pois possui uma linha somente para transmissão e outra somente para recepção. Desta forma, enquanto um *byte* é transmitido pela linha de TX, outro pode estar sendo recebido pela linha de RX.

Neste trabalho, o *software* utilizado para o teste de comunicação entre o MCU e o computador pessoal é o RComSerial, obtido gratuitamente no site do desenvolvedor.

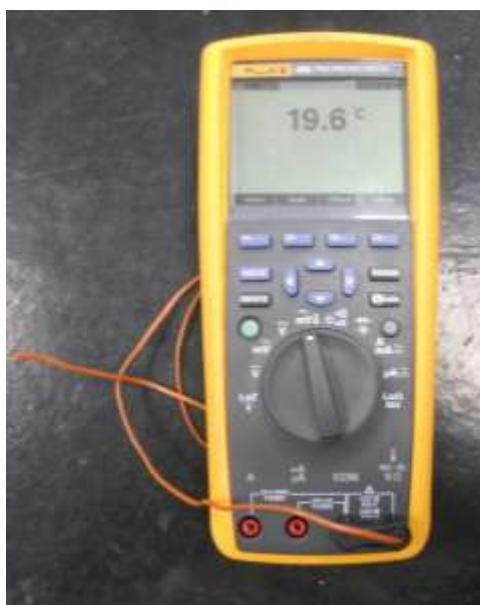
### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

Como apresentado anteriormente, dentro da empresa Electrolux, dois departamentos realizam ensaios com objetivos diferentes, porém com uma mesma característica preservada: a leitura da rotação do motoventilador. Dessa maneira, são abordadas duas metodologias de ensaio.

- Engenharia de Produto

Na Engenharia de Produto o objetivo do ensaio está voltado para o desenvolvimento. Com isso utiliza-se de sensores LED infravermelho (emissor) e fototransistor (receptor), um osciloscópio, uma fonte de alimentação de dois canais e um multímetro da marca Fluke (Figura 20) com entrada para sensor termopar.



**Figura 20 – Multímetro Fluke modelo 289 / Aquisição de temperatura  
Fonte: Autoria Própria.**

Os sensores LED emissor e fototransistor são alimentados com 5 V, e posicionados dentro do produto. Logo após, liga-se o osciloscópio para detectar a frequência do sinal gerado pelo corte do feixe luminoso vindo do sensor infravermelho. Como a hélice do motoventilador possui quatro pás, o valor da

frequência se apresenta referente a essas quatro pás, ou seja, o valor real é multiplicado por 4. Por esse motivo, o valor da frequência, ao ser transformado de Hertz para RPM, deve ser dividido por quatro, conforme equação (5):

$$RPM = \frac{Frequencia(Hertz) \times 60}{4} \quad (5)$$

Para a leitura da temperatura é utilizado um sensor do tipo termopar juntamente com um multímetro da marca Fluke modelo 289, o qual possui uma entrada que permite o funcionamento do termopar.

O ensaio possui como objetivo principal verificar o comportamento do motoventilador aplicado ao refrigerador nas suas condições reais de operação. Por esse motivo, como metodologia de teste, os valores da temperatura de ensaio variam na faixa de 21°C, temperatura ambiente antes de o produto entrar em operação, até -31°C, temperatura final de funcionamento após estabilizar o sistema de refrigeração.

- Engenharia de Qualidade

Para a Engenharia de Qualidade o principal objetivo é verificar se o motoventilador está conforme o especificado. Por esse motivo, esse ensaio verifica se a rotação está de acordo com o especificado em projeto. Assim, o motoventilador é colocado em uma bancada de teste e com o auxílio de um tacômetro verifica-se a sua rotação.

Em alguns casos especiais, quando o componente é submetido a alguma alteração é reensaiado dentro das condições especificadas pela Engenharia de Produto, verificando o comportamento aplicado ao produto e fazendo as leituras das temperaturas e das rotações do motoventilador. Com esses dados é possível verificar se a alteração compromete ou não o funcionamento do refrigerador. Se atender as especificações, a Engenharia de Produto fica autorizada a efetuar e implementar as modificações necessárias para a fabricação dos próximos lotes.

## 3.2 COMPONENTES PRINCIPAIS

Com o intuito de automatizar os ensaios aplicados aos motoventiladores foi desenvolvido um sistema microcontrolado que faz a aquisição dos parâmetros de rotação desse componente e da temperatura interna dos refrigeradores *Frost Free* e, posteriormente, o envio dos dados via porta serial para um computador. O primeiro passo dado para o desenvolvimento do sistema foi à escolha dos componentes principais e interfaces necessárias.

### 3.2.1 PIC16F877A

O PIC 16F877A foi escolhido como o principal componente deste trabalho pelos motivos deste ser o microcontrolador utilizado e estudado durante o curso de engenharia, possuir uma programação simples que pode ser realizada em linguagem C ou Assembly, possuir número suficiente de pinos de entrada e saída que podem ser configurados com novos comandos e interfaces externas, além de temporizadores e módulos A/D adequados para as funções necessárias.

### 3.2.2 LM35

Para a aquisição da temperatura foi escolhido o LM35. O principal motivo desta escolha é que este sensor, além de detectar medidas positivas, também detecta temperaturas negativas (atingidas com o produto em funcionamento). Assim como o PIC16F877A, este sensor é facilmente encontrado comercialmente e com preço acessível.

### 3.2.3 *Display* LCD 16x2

Alguns instrumentos de medição necessitam de uma interface externa para apresentar os valores reais para um operador. Para tal, foi utilizado no protótipo o *display* LCD de duas linhas e 16 colunas (16x2) para demonstração dos dados digitais, o que atende as especificações do trabalho.

### 3.2.4 Sensores LED Infravermelho e Fototransistor

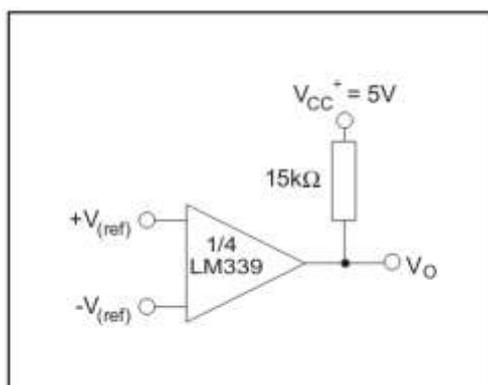
Utilizaram-se os sensores LED infravermelho e fototransistor devido ao seu funcionamento simples e seu baixo custo. O fototransistor funciona como uma chave e é através dele que o PIC recebe os sinais oriundos da rotação do motoventilador. Estes sensores são fundamentais para o funcionamento do protótipo.

### 3.2.5 CI MAX232

O CI utilizado para realizar a transformação de sinal TTL para sinal serial foi o CI MAX232, com funcionamento descrito no item 2.4.

### 3.2.6 LM339

Devido à existência de interferências externas, como a diferença na luminosidade local, e ao comprimento dos cabos do circuito dos sensores emissor e fototransistor, a forma de onda obtida em resultados preliminares em osciloscópio apresentou ruídos, gerando falsas medidas. A maneira de minimizar os efeitos das interferências e obter uma forma de onda mais estável foi utilizar o LM339 como um comparador de tensão. Com o auxílio deste componente foi ajustada a tensão de referência em 3 V para correção da forma de onda com a eliminação dos ruídos. A escolha deste comparador está vinculada a facilidade de manipulação e configuração do nível de referência. A Figura 21 representa o circuito comparador básico utilizado neste projeto.



**Figura 21 – Circuito comparador básico com o LM339**  
**Fonte: STMicroelectronics (2002, p. 5).**

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DO *FIRMWARE*

Após a escolha do microcontrolador PIC16F877A foi iniciado o desenvolvimento do fluxograma. Na Figura 22 tem-se o fluxograma do programa que detalha o funcionamento do *firmware*:

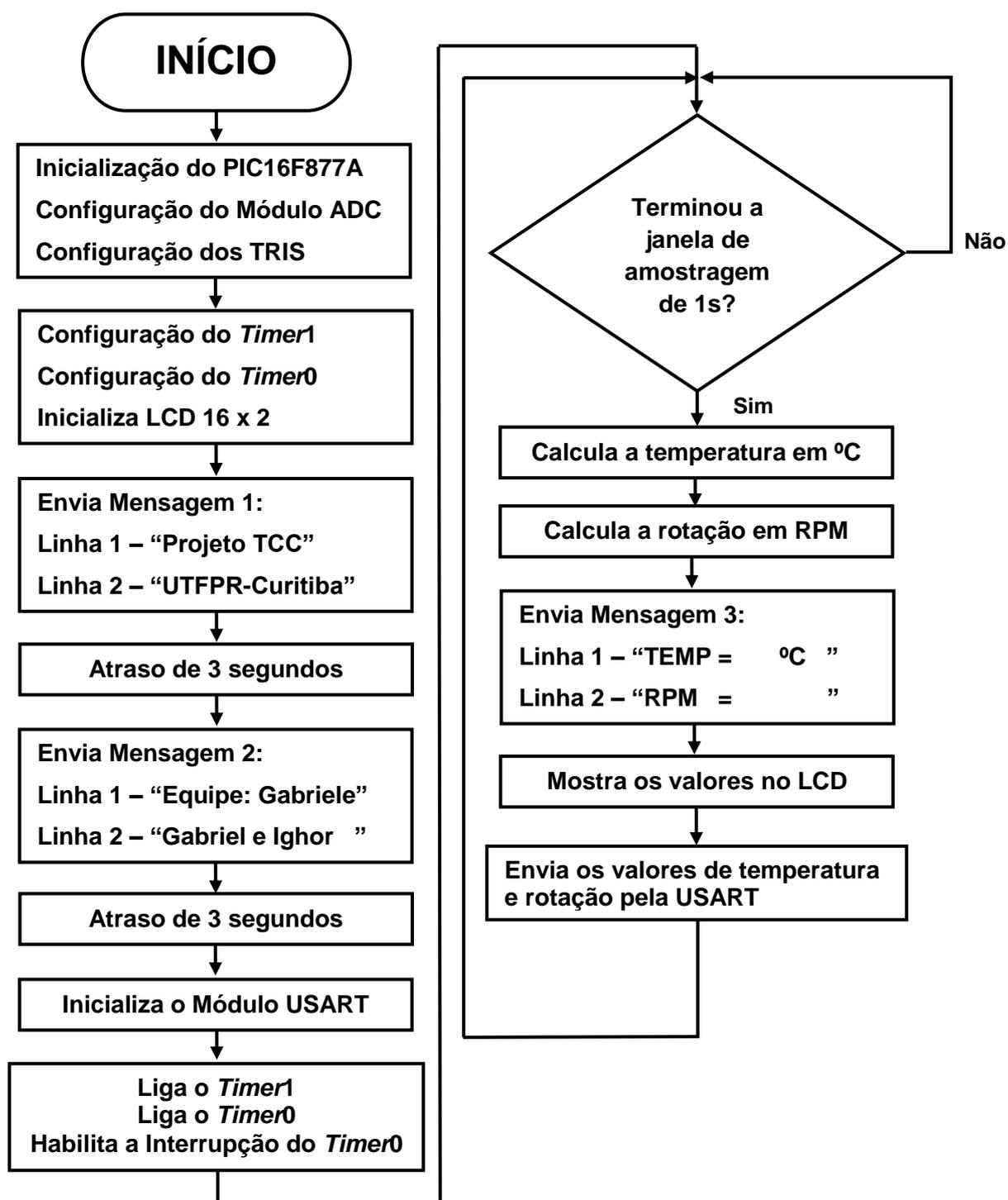


Figura 22 – Fluxograma do *firmware* programado  
Fonte: Autoria própria.

O *firmware* foi desenvolvido no ambiente de programação MIKROC PRO versão 5.61 da empresa Mikroelektronika e estruturado em linguagem C para microcontroladores da família PIC16. O código está representado no APÊNDICE A.

Para o *firmware* foram utilizadas as bibliotecas disponíveis no compilador MIKROC PRO como ADC, *Conversions* e UART. As bibliotecas possuem definições para as funções conversão analógica/digital e porta serial facilitando a programação.

O programa se inicia com as definições das variáveis e funções globais usadas ao longo do código. Inicialmente, foi configurada a função para interrupção no *Timer0* onde foi setado o *bit* TOIE (*bit* 5 do registrador INTCON) em nível lógico 1, sinalizando que as interrupções podem ocorrer. A frequência com que as interrupções do *Timer0* acontecem foi calculada através da equação (6) a seguir:

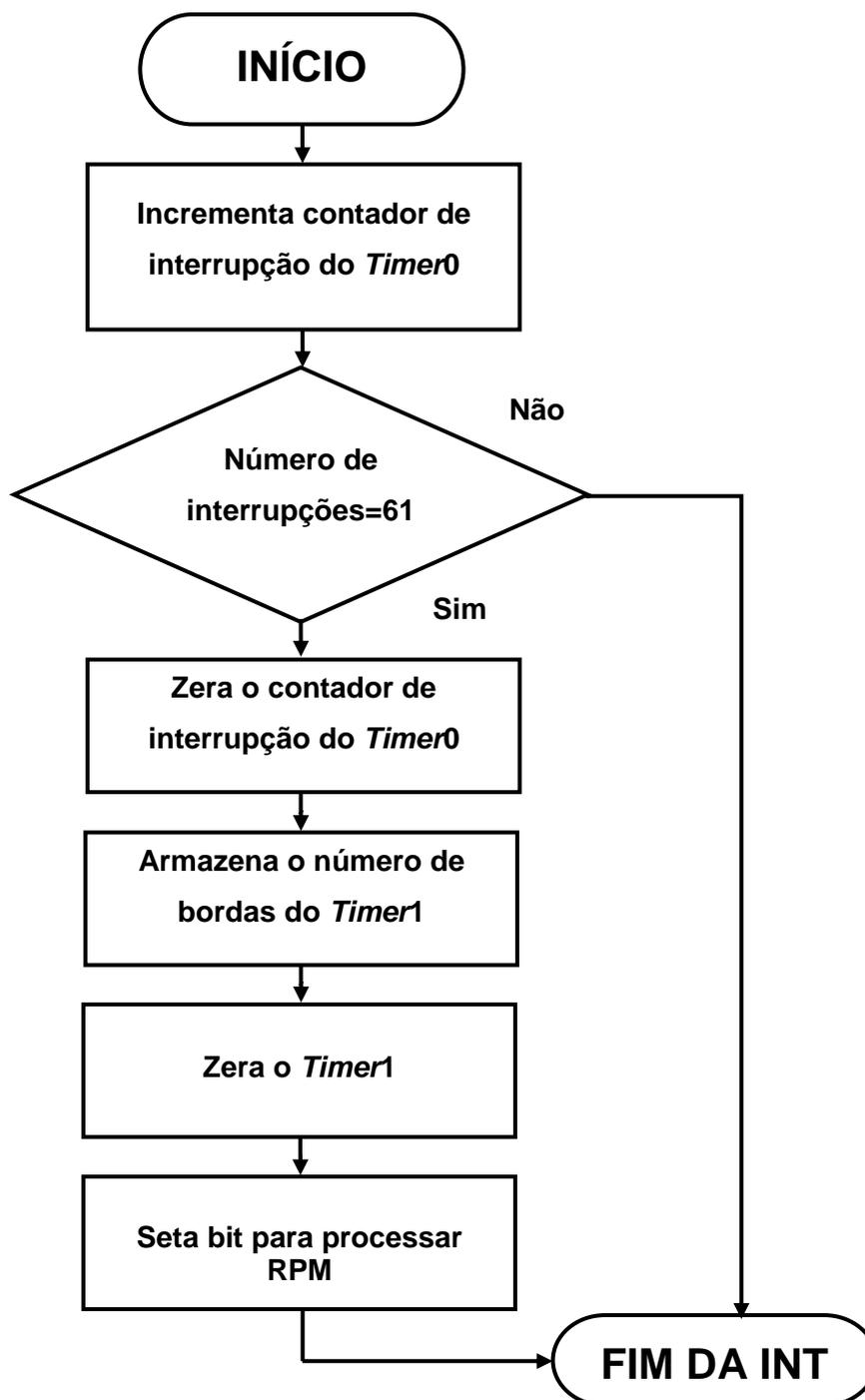
$$Frequência_{int} = \frac{CLOCK}{N \times PRESCALER} \quad (6)$$

Onde:

- *CLOCK*: Determina a velocidade de operação do microcontrolador. Como o valor do cristal é de 8 MHz tem-se um tempo de resposta de 0,5  $\mu$ s para cada ciclo de máquina, salientando que o PIC divide o *clock* por 4;
- *N*: É quantidade de incrementos do *Timer0* de 8 *bits*, o que equivale a 256 ( $2^8$ );
- *PRESCALER*: Permite o ajuste da frequência de incrementos do *Timer0*. Para a aplicação foi utilizado 1:128 (equação 7).

$$Frequência_{int} = \frac{8000000}{4 \times 256 \times 128} = 61 \frac{Interrupções}{Segundo} \quad (7)$$

Uma interrupção do *Timer0* acontece a cada 16,384 ms e é incrementada nesse intervalo de tempo até o limite de 61 interrupções, o que equivale a 1 segundo. A Figura 23 representa o fluxograma das interrupções do *Timer0*.



**Figura 23 – Fluxograma das interrupções do *Timer0***  
 Fonte: Autoria própria.

O *Timer1* foi configurado como contador de eventos externos, isto é, configurado para incrementar a cada borda de subida do pino RC0. Neste pino foi conectada a saída do condicionador de sinais do sensor que faz a leitura dos pulsos do motoventilador, isto é, a leitura da rotação em RPM.

Durante o intervalo de tempo de 1 segundo o par de registradores TMR1 (TMR1H e TMR1L) do *Timer1* é incrementado. Após 1 segundo, o valor total do

número de bordas é armazenado na variável *t1\_temp* e o *bit* da variável *calculado* é setado.

No programa principal, quando o *bit* da variável *calculado* é setado, indicando 1 segundo, são realizados os cálculos de temperatura e rotação.

Dentro do laço principal, tem-se a variável *temp\_res* que recebe a leitura do canal 0 do registrador ADC0 para temperaturas positivas, assim como, a variável *temp\_res\_neg* recebe a leitura do canal 1 do registrador ADC1 para temperaturas negativas. A temperatura final é calculada realizando-se a subtração dos valores dos canais 0 e 1. O valor resultante é normalizado para a escala de graus Celsius e convertido em ASCII para apresentação através do *display* LCD.

Ainda no laço principal, para a medição de rotação do motoventilador, é utilizada a variável *rpm\_temp*. Esta recebe a variável *t1\_temp* que armazena o número de bordas detectadas pelo módulo *Timer1* em 1 segundo. Como o resultado é requerido em RPM, multiplica-se o *t1\_temp* por 60 para transformar de Hertz para RPM e na sequência divide-se esse valor por quatro, devido à quantidade de pás existentes na hélice do motoventilador, conforme a equação (5). Na sequência, o valor da variável *rpm\_temp* é transformado em uma *string* em ASCII e enviado ao LCD.

Posteriormente aos cálculos, foi implementado no *firmware* a comunicação serial onde os valores de temperatura e de rotação são transferidos pelo módulo USART a uma taxa de transmissão de 9600 *bits* por segundo para um computador.

### 3.4 SIMULAÇÃO

De acordo com o diagrama esquemático ilustrado no APÊNDICE B foi realizada uma simulação do circuito do sistema microcontrolado para validar os resultados do *firmware*.

A saída do sinal do sensor de temperatura LM35 é um sinal do tipo analógico, com isso é necessária sua conversão para um sinal digital de modo que permita ser enviado o valor real de temperatura e apresentado no LCD. Os pinos RA0/AN0 e RA1/AN1 do PIC16F877A são utilizados para conversão dos dois sinais analógicos do circuito do LM35, de acordo com o diagrama esquemático do APÊNDICE B.

Ao analisar o diagrama do APÊNDICE B, observa-se que as saídas referentes ao PORTD do PIC estão configuradas para controle do barramento de dados do

*display* LCD, que, de acordo com o *firmware*, funciona como uma interface de saída, onde é indicado para o operador os resultados das medições de temperatura e rotação. A Tabela 3 apresenta a pinagem do LCD utilizado no projeto:

**Tabela 3 – Pinagem do LCD**

Pino	Função	Descrição
1	Vss	Terra ou GND
2	Vdd	Vcc ou +5V
3	V0	Tensão de ajuste de contraste
4	RS	1 - Dado, 0 – Instrução
5	R/W	1 - Leitura, 0 – Escrita
6	E	Sinal de ativação
7	DB0	
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	Barramento de Dados
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	BLA	Anodo p/ LED <i>backlight</i>
16	BLK	Catodo p/ LED <i>backlight</i>

**Fonte: Adaptado de Microtips Technology Inc. (2012, p.10).**

Em simulação realizada com o *software* PROTEUS, versão 7.7 da fabricante Labcenter Electronics e disponibilizada nos Laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, não foram implementados os sensores LED infravermelho e fototransistor devido à biblioteca do *software* não possuir os componentes necessários para simulação. Como solução, foi aplicado um gerador de sinais que simula os valores de frequência (*clock*) enviados ao PIC.

Por fim, os valores de temperatura e rotação são enviados através do circuito referente à comunicação serial, apresentando funcionamento correto na simulação do PROTEUS, conforme verificado no APÊNDICE B.

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

De acordo com o diagrama esquemático ilustrado no APÊNDICE B foi montado um protótipo para a realização dos testes práticos dos ensaios. Para isto foi adotada a seguinte sequência:

- a) Montagem dos componentes em *protoboard*;
- b) Testes do circuito em *protoboard*;
- c) Montagem dos componentes em placa perfurada;
- d) Testes do circuito em placa perfurada;
- e) Confecção final em placa de circuito impresso;
- f) Testes finais com a placa de circuito impresso.

Na Figura 24 observa-se a montagem realizada no *protoboard*, com o PIC16F877A, o LM35, o *display* LCD 16x2, o CI MAX232 e os demais componentes (resistores, capacitores, cristal de 8 MHz, potenciômetro, etc), observa-se a ausência do cabo que irá transmitir o sinal oriundo dos sensores emissor e fototransistor. Por este motivo o valor de RPM permanece em zero.

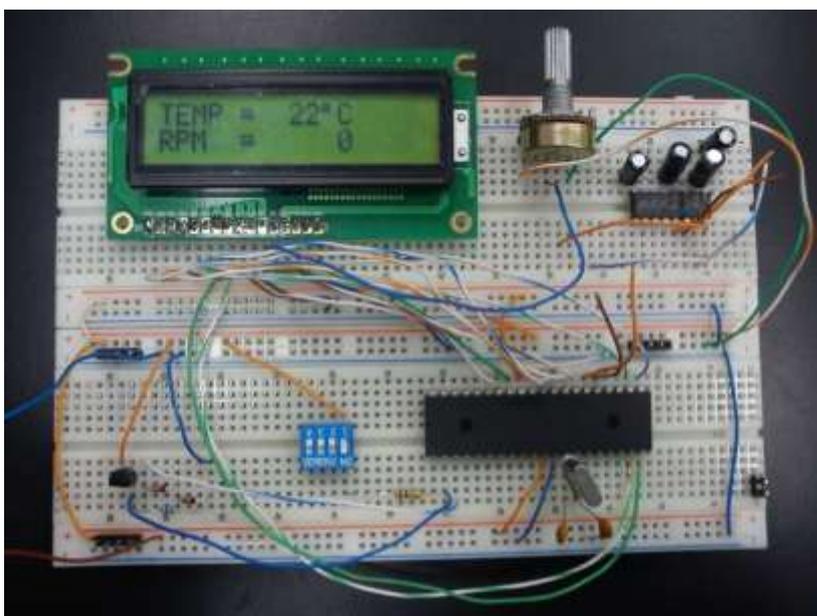
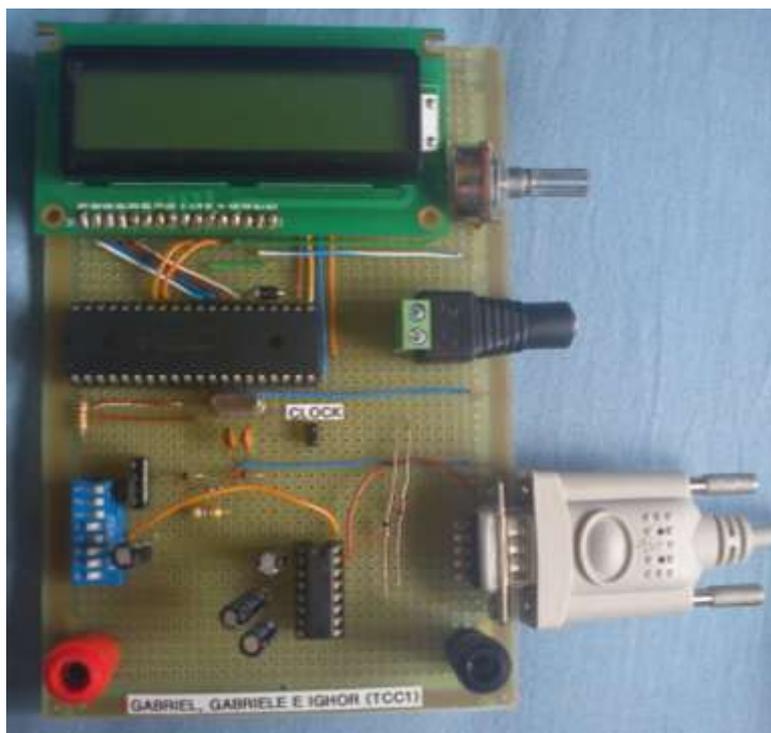


Figura 24 – Protótipo em protoboard  
Fonte: Autoria própria.

Após a montagem em *protoboard* foi realizada a confecção do protótipo com o mesmo circuito eletrônico em uma placa perfurada padrão de tamanho 10x20 cm. Este protótipo (Figura 25) foi utilizado para todos os ensaios, de validação do *firmware* e dos sensores LED emissor e fototransistor, nos quais foram obtidos os resultados que serão apresentados na sequência.



**Figura 25 – Protótipo em placa padrão**  
Fonte: Autoria própria.

### 3.6 TESTES DE DESENVOLVIMENTO

Durante o desenvolvimento, para validação de componentes, *firmware* e sensores foram realizados alguns ensaios.

O ensaio para validação do *firmware* (Figura 26) foi realizado com o auxílio de um gerador de função, o qual inseriu uma forma de onda quadrada dentro de uma determinada frequência no circuito. Na sequência, foi conectado junto à entrada de sinal do circuito um osciloscópio da marca Tektronix, modelo TDS1001B. Com o osciloscópio foi possível verificar o valor real da frequência que estava sendo aplicada no circuito.

Na sequência energizou-se o circuito, através de uma fonte de dois canais da marca Minipa modelo MPL-3303, alimentando o *display* e o microcontrolador, dando início ao funcionamento do *hardware*.

Com o *hardware* em funcionamento, foram aplicados, através do gerador de função, sinais quadrados com diferentes valores de frequência, que também foram medidos utilizando-se um osciloscópio. Na sequência, os valores de frequência verificados em osciloscópio foram comparados com os valores apresentados no *display* do protótipo. Como o valor apresentado no *display* estava em RPM realizou-se a conversão para Hertz, através da equação (5), demonstrada anteriormente.

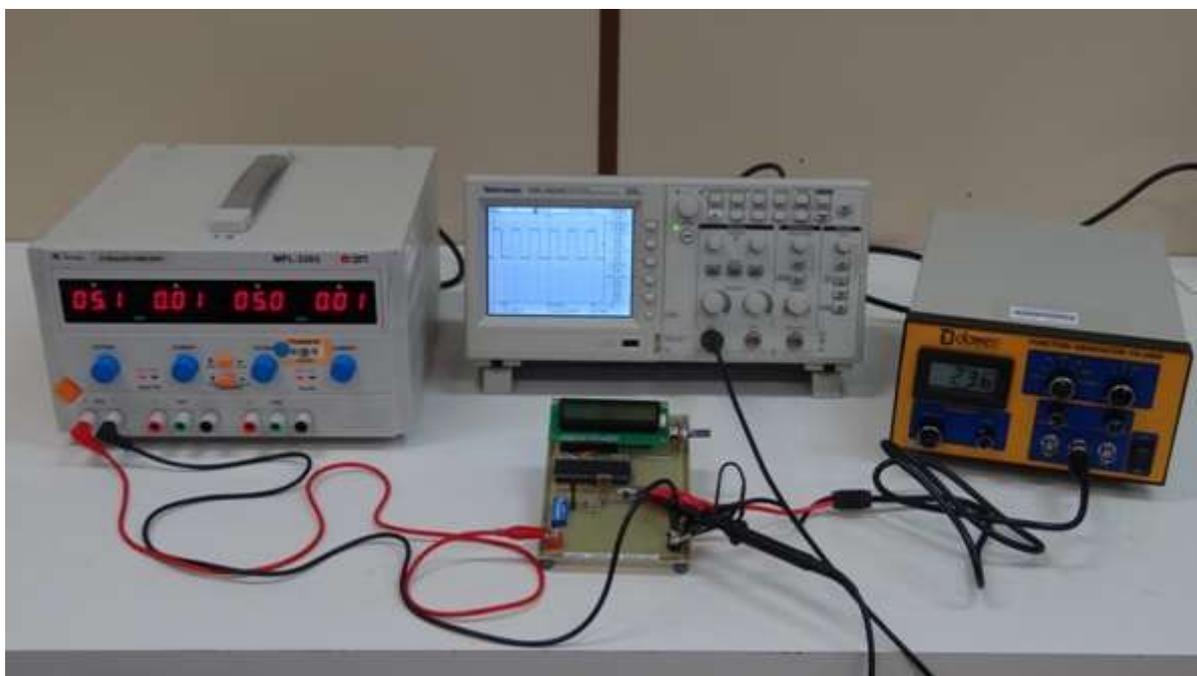


Figura 26 – Ensaio de validação do *firmware*  
Fonte: Autoria própria.

Para verificar a eficácia do protótipo e do *firmware*, a Tabela 4 mostra os valores obtidos durante o ensaio.

Tabela 4 – Desvio de medição do *firmware*

Gerador de Função (Hertz)	Osciloscópio (Hertz)	Protótipo (RPM)	Protótipo (Hertz)	Desvio de medição
5	4,5117	60	4	11,34%
10	9,56	135	9	5,86%
15	14,66	210	14	4,50%
20	20,05	300	20	0,25%
25	24,75	360	24	3,03%
50	50,4	750	50	0,79%
75	76,34	1140	76	0,45%
100	95,2	1425	95	0,21%
125	120,5	1800	120	0,41%
150	147,1	2190	146	0,75%
175	172,4	2580	172	0,23%
200	200	2985	199	0,50%
215	212,6	3180	212	0,28%
260	260,2	3900	260	0,08%
300	301,6	4515	301	0,20%
350	352,6	5280	352	0,17%
400	404,5	6060	404	0,12%
500	509,2	7620	508	0,24%
600	612,7	9180	612	0,11%
650	664,9	9960	664	0,14%
700	716,3	10740	716	0,04%
800	819,7	12285	819	0,09%
900	847,5	12705	847	0,06%
1000	947	14190	946	0,11%
1500	1445	21675	1445	0,00%
2000	1953	29220	1948	0,26%
2500	2451	36750	2450	0,04%
3000	2950	44250	2950	0,00%
4000	3969	59370	3958	0,28%
4220	4167	62325	4155	0,29%
4330	4310	64080	4272	0,88%
4410	4385	65205	4347	0,87%
4450	4425	380	25,333333	99,42%

Fonte: Autoria própria.

Para uma análise mais precisa do *firmware*, foi calculado o desvio de medição, conforme a equação (8), para os valores de frequência apresentados pelo *display* do protótipo e os apresentados pelo osciloscópio, uma vez que os valores apresentados pelo gerador de função servem apenas como referência.

$$Desvio = \left[ \frac{(f_{osciloscopio} - f_{programa})}{f_{osciloscópio}} \right] \times 100 \quad (8)$$

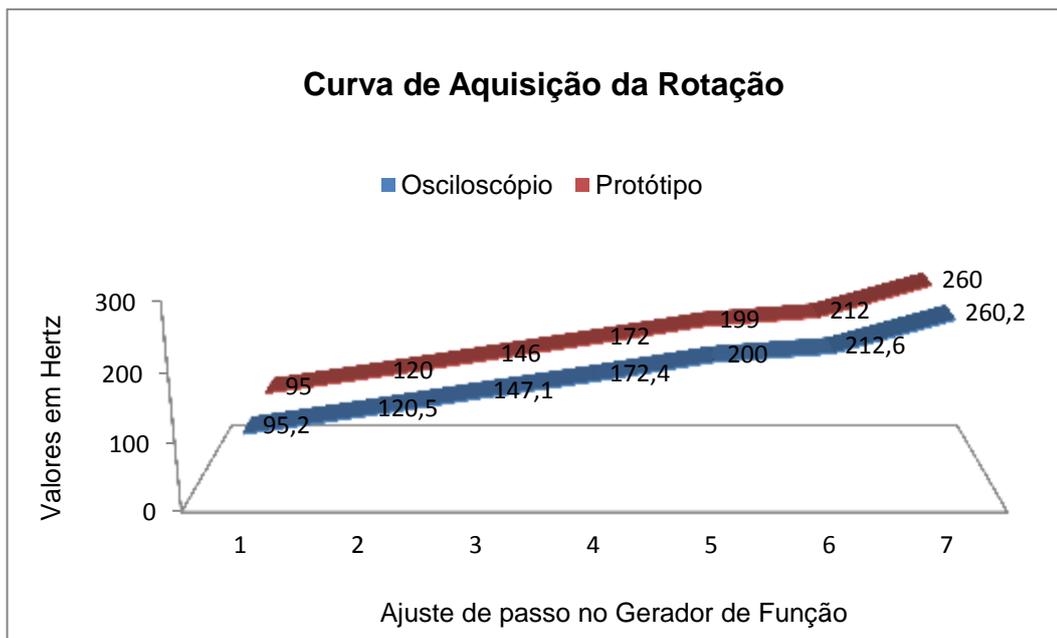
Como se pode observar na Tabela 4 o desvio de medição dentro da faixa de operação do motoventilador (1800-3100 RPM) não ultrapassou 0,75%.

Apenas para validação e conhecimento do *firmware* verificou-se o desvio de medição para outros valores, vale observar que para valores acima de 4425 Hertz o *firmware* não conseguiu detectar os valores de frequência inseridos no circuito. Isso ocorre para valores acima de 4425 Hertz (66375 RPM), devido à utilização de registradores de 16 *bits* para o cálculo do RPM. Com isso o valor máximo que é possível detectar seria próximo a 65536, resultante da equação (9):

$$2^{16} - 1 = 65535 \text{ contagens} \quad (9)$$

Por esse motivo o valor encontrado para a frequência de 4425 Hertz apresentou um desvio de medição de praticamente 100%. Porém, como o objeto de análise desse sistema não opera nessa faixa de rotação, esse valor serve apenas para verificar a faixa de funcionamento válida para o sistema.

Com os dados registrados, o Gráfico 1 faz um comparativo entre os valores apresentados pelo osciloscópio e valores apresentados pelo *firmware*. Para a construção da curva utilizou-se apenas os valores próximos das faixas de operação do motoventilador entre 100 a 260 Hertz.

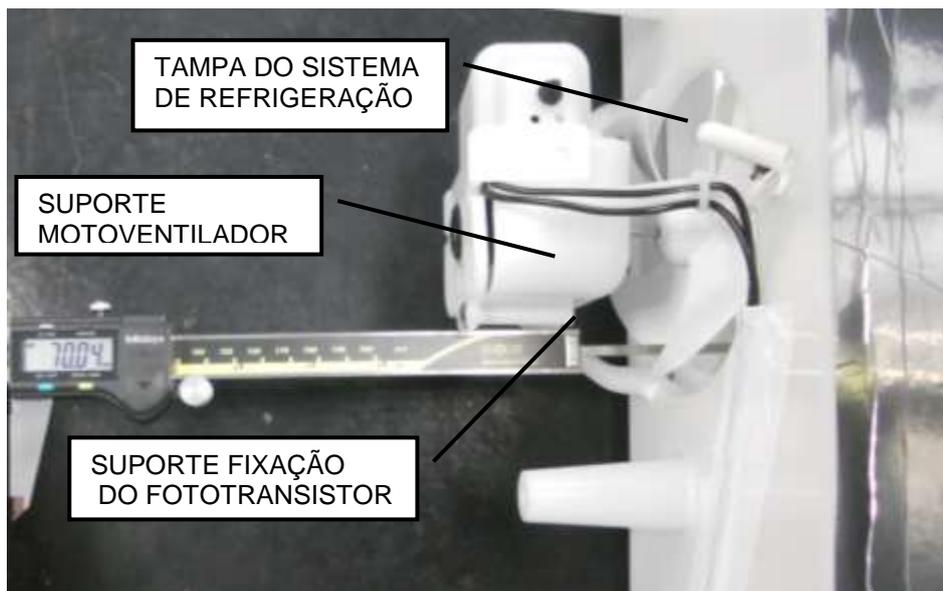


**Gráfico 1 – Curva de aquisição da rotação**

**Fonte: Autoria própria.**

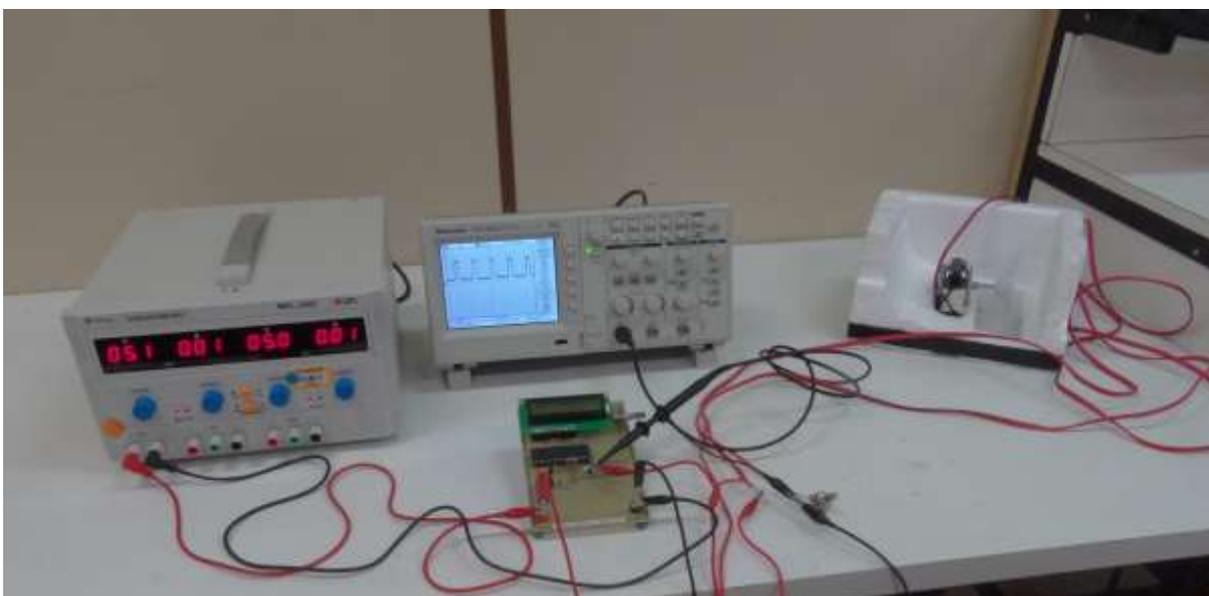
Como a diferença calculada entre o valor apresentado pelo osciloscópio e os valores apresentados pelo *firmware* são menores que 1%, as duas curvas são praticamente iguais.

Para a validação dos sensores (LED emissor e fototransistor) utilizou-se de um dispositivo feito com isopor para a fixação do motoventilador e dos sensores, respeitando a mesma distância de 70 mm entre o LED infravermelho e fototransistor conforme a distância real encontrada na peça (Figura 27) e utilizada nos ensaios de Engenharia de Produto e Engenharia de Qualidade.



**Figura 27 – Distância entre os sensores na peça**  
**Fonte: Autoria própria.**

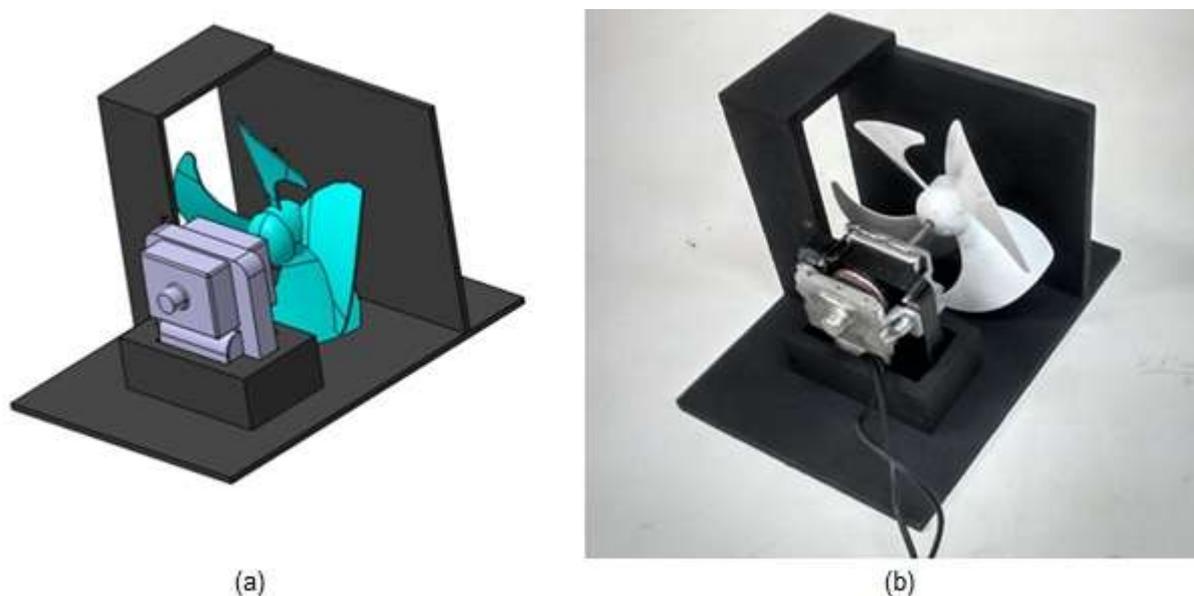
Conforme a Figura 28, foram alimentados os dois sensores e realizaram-se algumas medições.



**Figura 28 – Ensaio de validação dos sensores LED infravermelho e fototransistor**  
**Fonte: Autoria própria.**

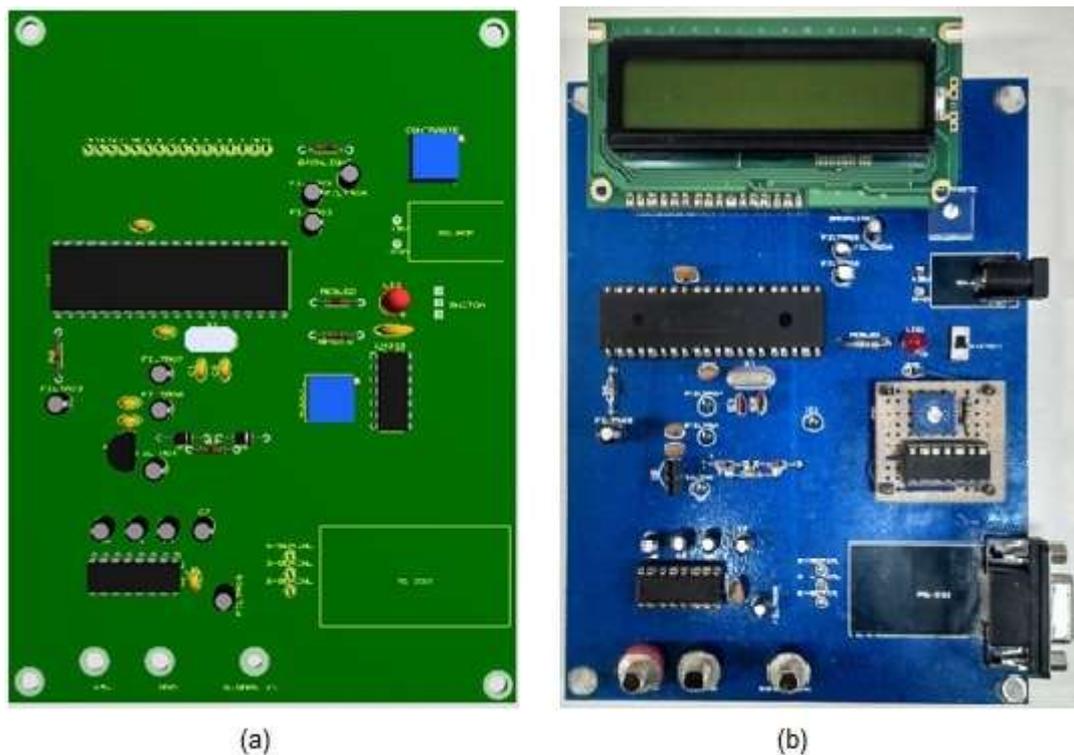
## 4 RESULTADOS FINAIS

Para a realização das análises finais do trabalho, foi desenvolvido um novo suporte de fixação em MDF (*Medium Density Fiberboard*) para os ensaios do Laboratório de Certificação e Inspeção de Recebimento. Com esse novo suporte (Figura 29), o qual respeita a dimensão de 70 mm entre os sensores LED infravermelho e fototransistor, realizaram-se os primeiros ensaios para a validação final do projeto. O projeto do suporte encontra-se no APÊNDICE C.



**Figura 29 – Suporte de fixação do motoventilador: (a) Modelo 3D e (b) Resultado final**  
Fonte: Autoria própria.

Após aprovado o sistema em placa perfurada padrão realizou-se a confecção de uma placa de circuito impresso (PCI) (Figura 30) com o objetivo de se garantir maior confiabilidade ao sistema, reduzindo problemas de interferência eletromagnética e de conexões não efetivas.

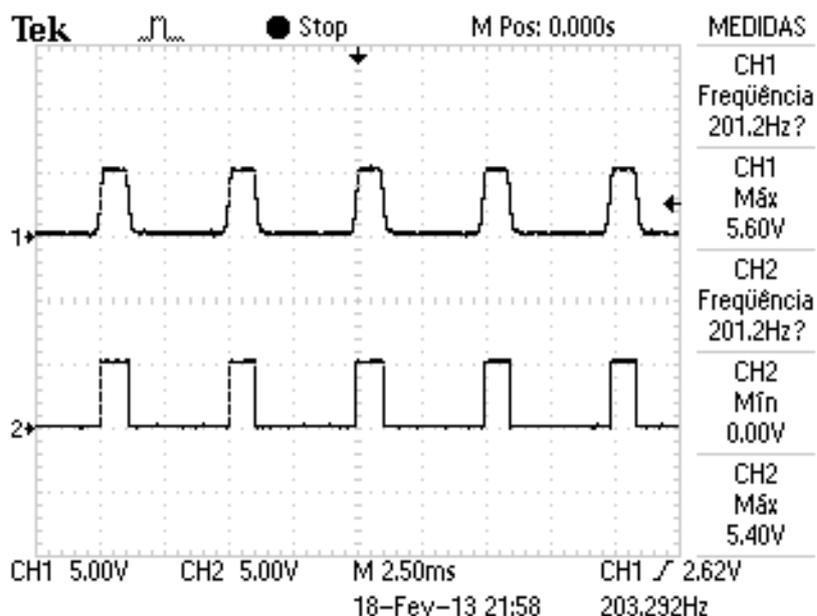


**Figura 30 – Placa final desenvolvida: (a) Modelo 3D e (b) Resultado final**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.1 VALIDAÇÃO DO LM339

Conforme apresentado no tópico 3.2, com a finalidade de se eliminar ruídos do sinal gerado pelos sensores LED emissor e fototransistor, utilizou-se o componente LM339 com uma tensão de referência em 3 V. Mesmo esses ruídos não interferindo sobre a resposta do microcontrolador, como forma de se garantir uma maior precisão na leitura desse sinal decidiu-se pela sua aplicação.

O LM339 é um comparador que realiza e define para quais valores o sistema considera nível lógico alto ou baixo. Com a aplicação desse componente foi obtido uma forma de onda adequada e sem ruídos, conforme mostra a Figura 31.



**Figura 31 – Forma de onda de entrada e saída do LM339**  
 Fonte: Autoria própria.

O canal 1 representa o sinal gerado pelos sensores e o canal 2 representa a forma de onda de saída do CI LM339. Como pode ser observado, a inclusão do LM339 não interfere na frequência do sinal. Com isso validou-se a aplicação desse componente para o sistema proposto.

Com todo o sistema desenvolvido, conforme Figura 32, deu-se início aos ensaios.



**Figura 32 – Sistema completo para os testes**  
 Fonte: Autoria própria.

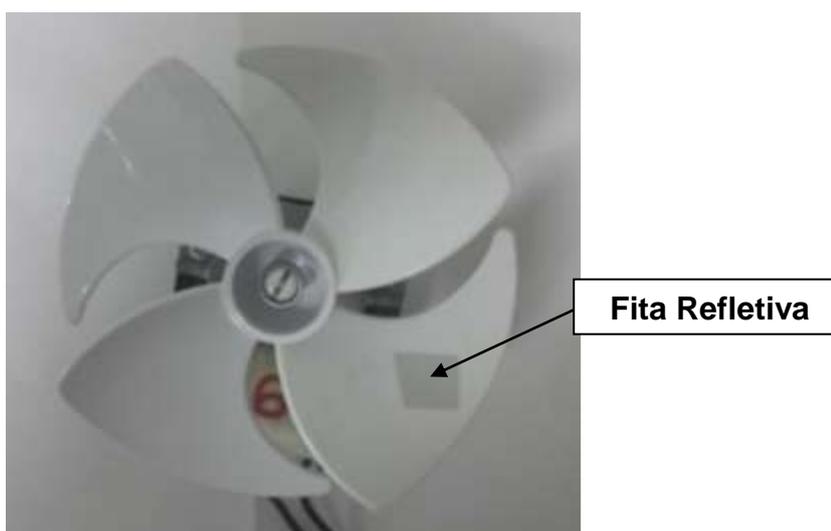
## 4.2 ENSAIOS FINAIS

Após a montagem da PCI do circuito, os ensaios foram iniciados pelo teste de Inspeção de Recebimento com o objetivo de se analisar e comparar os dois equipamentos de medição: tacômetro e o sistema proposto.

Adotou-se a seguinte metodologia de ensaio: utilizou-se 20 motores de tensão 127 V de mesmo modelo, e aplicou-se o mesmo método de ensaio da empresa, primeiramente com o tacômetro, e na sequência foi utilizado o sistema proposto com os sensores emissor e fototransistor, juntamente com o equipamento desenvolvido para a fixação desses componentes.

Atualmente o ensaio com o tacômetro é realizado manualmente. O operador com uma das mãos segura o motor e com a outra o posiciona o tacômetro. Vale salientar que para a utilização do tacômetro a hélice deve possuir uma fita refletiva (Figura 33) ou deve ser pintada na cor preta, o que é necessário devido ao material plástico utilizado na confecção desse componente, o qual gera reflexões, e também, devido ao princípio de funcionamento do tacômetro que induz as falhas.

Os 20 motores utilizados para esse ensaio são motores que estavam sobre suspeitas de falha em consumidores e estavam sobre análise da Engenharia de Qualidade. Com isso, foram avaliados motores que realmente apresentaram falhas e outros que estavam em condições normais de aplicação.



**Figura 33 – Hélice contendo uma fita refletiva**  
**Fonte: Autoria própria.**

Realizado o ensaio, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Medições em RPM com o tacômetro e a placa de aquisição**

	Tacômetro	Placa de Aquisição
Motor 1	2660	2880
Motor 2	2650	2880
Motor 3	3260	3120
Motor 4	2500	2880
Motor 5	2987	2910
Motor 6	2990	2880
Motor 7	2650	2880
Motor 8	2700	2910
Motor 9	2980	2880
Motor 10	2900	2910
Motor 11	2500	2835
Motor 12	2480	2880
Motor 13	3196	2130
Motor 14	2950	2835
Motor 15	2650	2880
Motor 16	2800	2775
Motor 17	2650	2880
Motor 18	2870	2775
Motor 19	3200	3100
Motor 20	2990	3030

**Fonte: Autoria própria.**

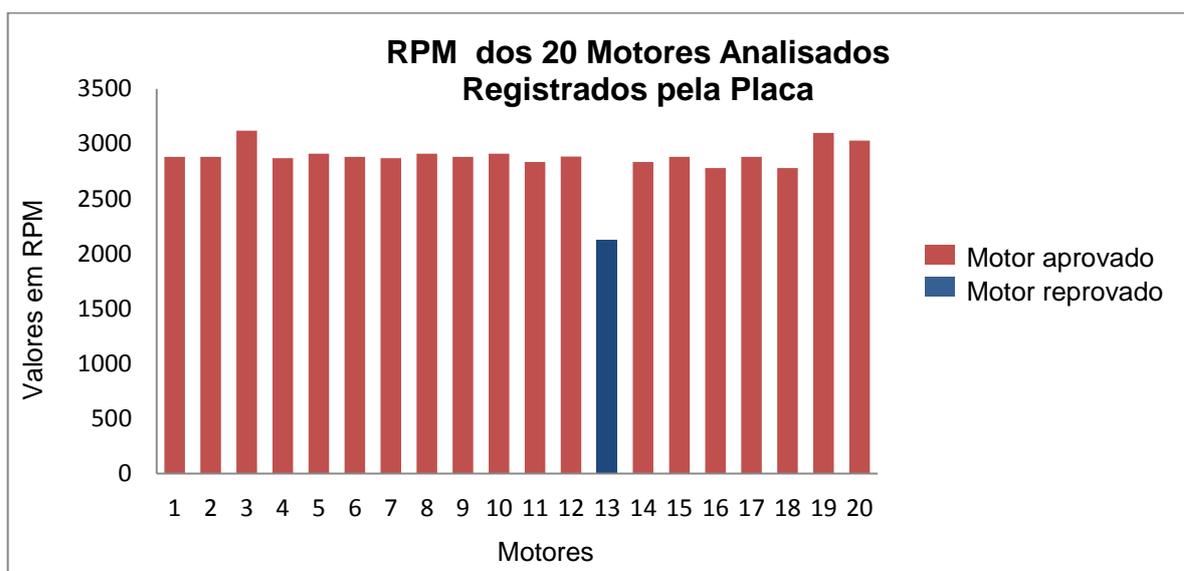
Comparando os resultados obtidos, a variação média entre o tacômetro e o sistema proposto fica em torno de 215 RPM. Isso ocorre, pois a posição em que o operador aponta o tacômetro sobre a fita provoca valores diferentes na leitura, e devido ao material da hélice.

A exceção foi à amostra de número 13, a qual apresentou uma diferença entre os sistemas em torno de 1000 RPM (Figura 34). Esse motor na sequência foi submetido ao ensaio de engenharia, juntamente com o motor de número 6.



**Figura 34 – Ensaio do motor 13, com o tacômetro e com o sistema proposto**  
**Fonte: Autoria própria.**

Com os valores obtidos pelo sistema proposto foi traçado o Gráfico 2 com o resultado dos 20 motores para análise.



**Gráfico 2 – Valores de RPM dos 20 motores analisados**  
**Fonte: Autoria própria.**

Os motores desse modelo que estão em uma faixa de operação de 2500 a 3000 RPM estão dentro do especificado em projeto. No Gráfico 2, está destacado o motor 13 como fora da faixa de operação, de acordo com os valores adquiridos pela placa. Devido a esse motivo, decidiu-se na sequência submeter os motores de número 6 (aprovado) e 13 (reprovado) ao ensaio de desenvolvimento, para verificar o seu real comportamento aplicado ao produto, que poderá ser verificado na sequência do trabalho.

## Temperatura

Com relação à validação do sensor de temperatura LM35, foi avaliada a eficácia e o seu funcionamento se comparado ao sensor Termopar usado. Ambos os sensores foram utilizados durante o ensaio de desenvolvimento registrando os valores manualmente a cada inspeção do ensaio. Os sensores foram posicionados lado a lado para não induzir variações devido à construção do refrigerador, o qual apresenta pontos com diferentes temperaturas. O registro das temperaturas para efeito comparativo ocorreu de forma manual, pois não se dispunha do módulo de aquisição para o sensor termopar. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos durante o ensaio para verificação.

**Tabela 6 – Resultados das medições com o termopar e o LM35**

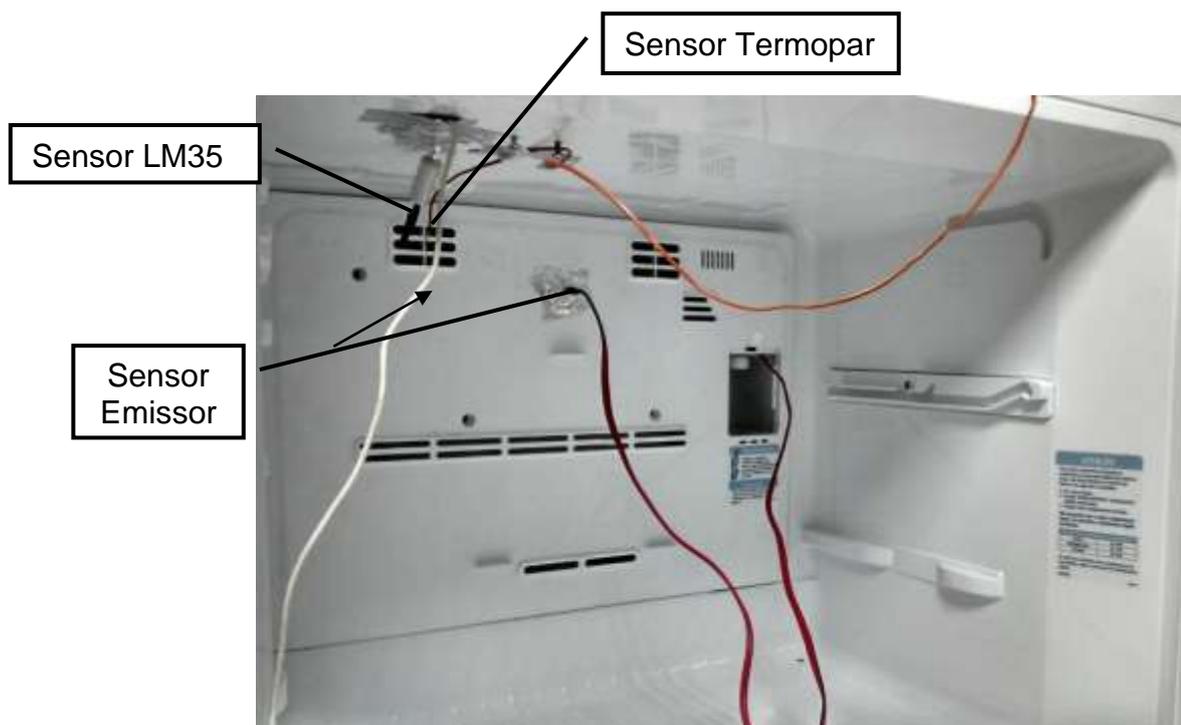
Termopar	LM35	Termopar	LM35	Termopar	LM35
20	21	4,5	5	-3,9	-3
19,5	20	3,1	4	-3,7	-3
18,3	19	3	4	-3,8	-3
17	18	3	3	-4,2	-4
16	15	3	3	-4,8	-4
15,3	15	2	2	-5,2	-5
14,2	14	2,5	2	-5,8	-5
13,7	14	0,7	1	-6,7	-7
12,1	13	0,8	1	-7,8	-7
10	11	0,9	1	-8	-9
9	10	0,5	0	-9,3	-10
8,3	8	0,2	0	-11,1	-12
7,7	8	-0,9	0	-14,9	-16
6	7	-1,4	-1	-16,8	-18
6,5	7	-1,4	-1	-22,4	-22
6,3	7	-1,5	-1	-25,7	-25
5,8	6	-1,9	-1	-28,4	-28
5,2	6	-2	-1	-30,9	-30
5	6	-2,4	-2	-33,5	-31
4,7	5	-2,4	-2	-32	-31
4,5	5	-3	-2	-32,5	-31

**Fonte: Autoria própria.**



O refrigerador utilizado para o ensaio foi o modelo DF46 da empresa Electrolux. Esse produto utiliza os mesmos modelos de motoventiladores utilizados para o ensaio.

Após o posicionamento de todos os sensores de forma adequada (Figura 36), iniciou-se o ensaio. Com o auxílio do computador, ligado ao sistema, fez-se o registro de forma automática, com o auxílio do *software* RComSerial (Figura 37).



**Figura 36 – Localização dos sensores no produto**  
**Fonte: Autoria própria.**

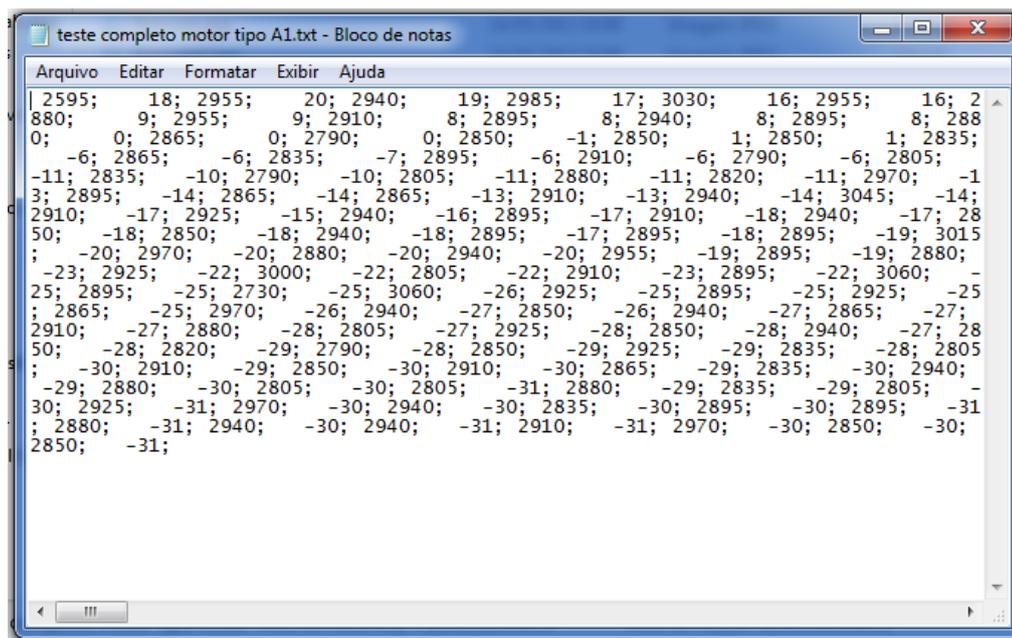
O programa RComSerial (Figura 38) possui uma função para salvar os dados recebidos em um arquivo de texto. O arquivo gerado com os dados adquiridos através do protótipo desenvolvido encontra-se visualizado na Figura 39. Como os dados apresentam-se dispersos, para facilitar a visualização, análise e construção de gráficos dos mesmos, foi utilizado o *software* Microsoft Excel, que permite abrir arquivos em formato .txt, já organizados em duas colunas distintas.



Figura 37 – Produto pronto para o início dos ensaios  
Fonte: Autoria própria.



Figura 38 – Recebimento dos dados via comunicação serial  
Fonte: Autoria própria.

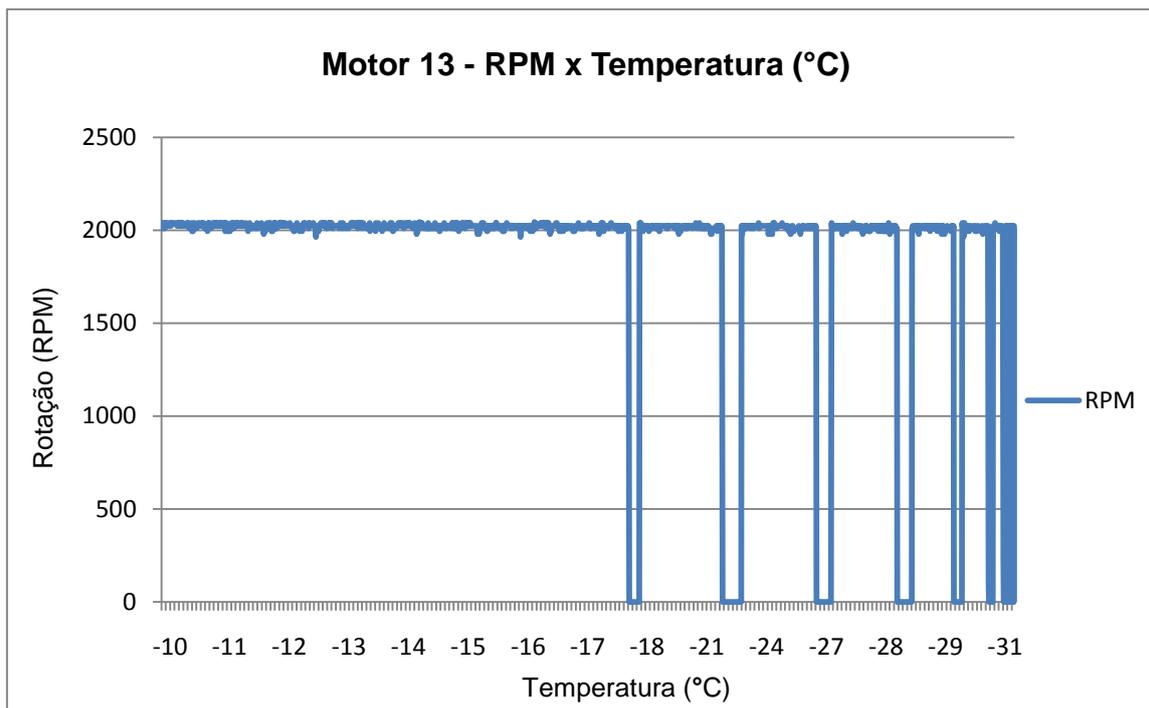


**Figura 39 – Dados salvos em um arquivo de texto**  
**Fonte: Autoria própria.**

Como o ensaio tem um tempo de aproximadamente 4 horas, durante esse período foram feitos acompanhamentos para verificar o andamento do ensaio, e o registro das temperaturas manualmente para a avaliação dos sensores.

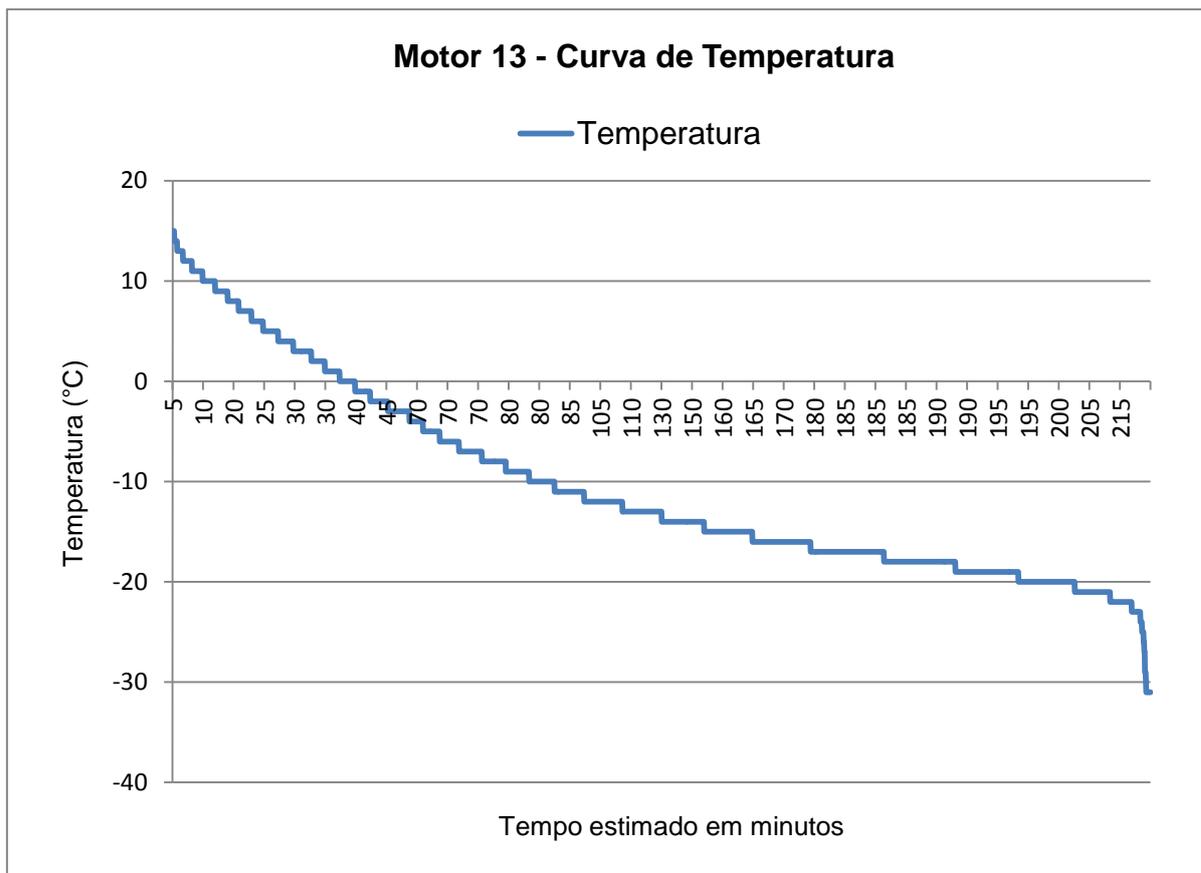
O início do ensaio se deu pelo motor de número 13, o mesmo que apresentou durante o ensaio de inspeção, visualmente e registrado pelo sistema proposto, uma rotação inferior aos demais. Durante o ensaio com esse motor, foi possível registrar algumas paradas de funcionamento do sistema (motoventilador e compressor) (Gráfico 3) que só deveriam ocorrer quando a porta do produto é aberta ou quando o produto atingiu a temperatura de funcionamento de  $-31^{\circ}\text{C}$  no compartimento do *freezer*, sendo desligado pela placa eletrônica através do sinal enviado pelo sensor de temperatura do produto.

Para a construção do Gráfico 3, devido a grande quantidade de pontos adquiridos, optou-se por demonstrar a variação do RPM com a variação temperatura entre a faixa de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $-31^{\circ}\text{C}$  para facilitar a visualização dos pontos de parada do motoventilador. O refrigerador apesar da baixa rotação conseguiu atingir a temperatura de  $-31^{\circ}\text{C}$ .



**Gráfico 3 – Rotação do motor 13 com o chaveamento do motoventilador**  
**Fonte: Autoria própria.**

A hipótese de a porta ter sido aberta foi descartada, pois pelo tempo em que o motoventilador permaneceu desligado haveria uma variação de temperatura que seria registrada pelo sistema, fato este que não ocorreu conforme pode ser observado no Gráfico 4. Com isso, pode-se concluir que devido à baixa circulação de ar e a formação de gelo, o sensor existente no produto, que se encontra localizado junto ao evaporador, foi acionado antes do compartimento do *freezer* atingir as temperaturas ideais para o funcionamento correto do refrigerador.



**Gráfico 4 – Temperatura do freezer com o motor 13**  
**Fonte: Autoria própria.**

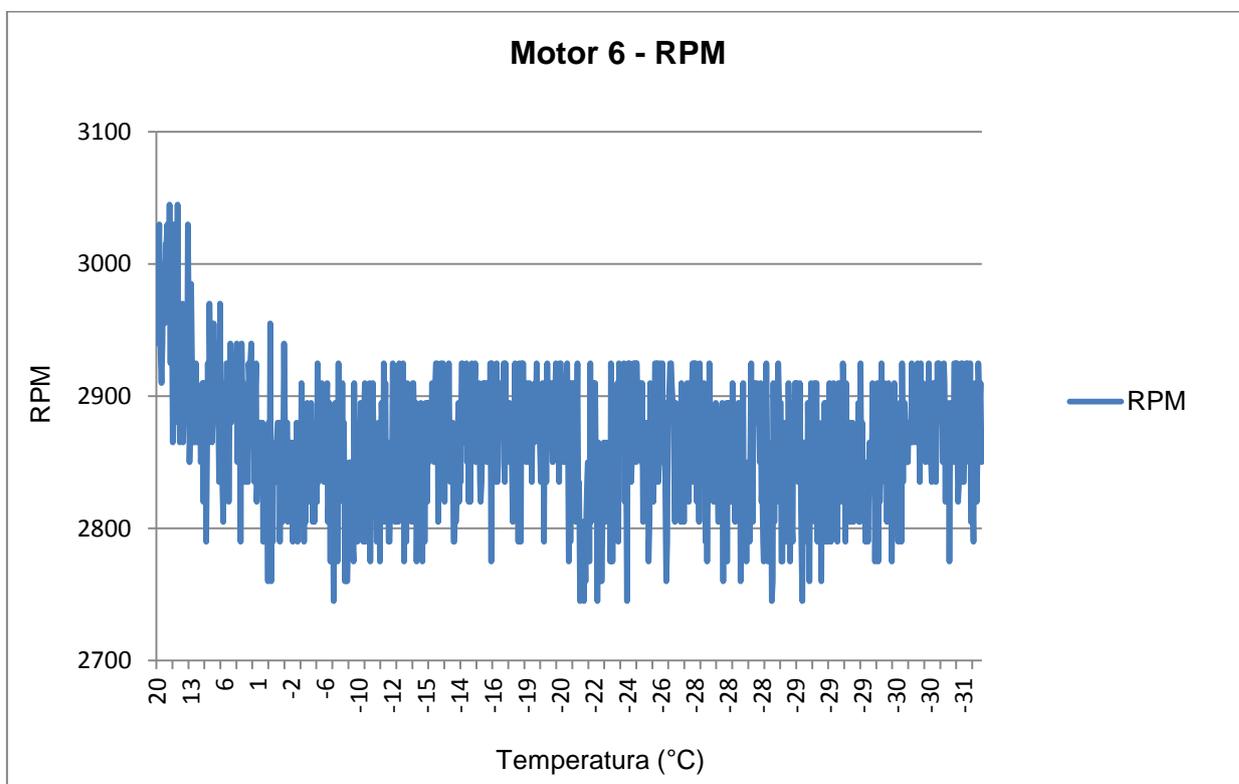
Este sensor, como foi visto anteriormente envia um sinal para a placa do refrigerador, a qual desliga o sistema apenas quando o mesmo encontra-se a  $-31^{\circ}\text{C}$  e inicia na sequência o processo de degelo a cada 8 horas (valor que varia de acordo com o produto).

Porém, conforme observado no Gráfico 4, quando ocorreu a primeira interrupção, o compartimento freezer encontrava-se em  $-17^{\circ}\text{C}$ , valor esse bem acima do ideal.

Esse fato durante os ensaios não comprometeu o funcionamento do produto, mas em uma situação normal de uso a baixa circulação de ar poderia ocasionar o bloqueio de gelo do sistema de refrigeração ou a não refrigeração ideal, comprometendo o funcionamento do produto e gerando chamados de clientes, impactando na imagem e na qualidade do produto frente ao seu consumidor.

Já o motor de número 6, operou durante todo o ensaio em condições normais estabelecidas no projeto, apresentando um escorregamento de 100 a 300 RPM, conforme pode ser observado no Gráfico 5, com as variações de temperatura. O

comportamento é considerado normal devido ao aumento de carga sobre o motor, originária da densidade do ar.



**Gráfico 5 – Curva de rotação do motor 6**  
**Fonte: Autoria própria.**

Com a análise dos valores e dos ensaios realizados, pode-se afirmar que o motor de número 13, realmente estava apresentando falhas com uma rotação abaixo do especificado, o que poderia impactar diretamente no desempenho final do produto.

Outro detalhe ainda a ser apontado, com a realização do ensaio no motor 13, foi constatado que as falhas por alguns períodos, apresentadas e detectadas pelo sistema, poderiam passar despercebidas pelo operador. Com o sistema de forma automática essas falhas podem ser detectadas, incluindo a verificação de porta aberta durante o ensaio, pois nessa situação a rotação é parada e a temperatura dentro do ambiente irá se elevar, comprovando a eficácia do sistema para a aplicação do teste.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi descrito um sistema microcontrolado para a aquisição de dados de rotação e temperatura referentes aos motoventiladores utilizados em refrigeradores do tipo *Frost Free* da empresa Electrolux. Os objetivos do trabalho foram atingidos através do desenvolvimento de um sistema compacto, com custo de produção relativamente baixo, confiável e adequado para a aplicação exigida.

Após a montagem e análise do sistema microcontrolado foi verificado que o *firmware* funcionou corretamente, atingindo um percentual de desvio abaixo de 1%, comparado com a metodologia atual, principalmente na faixa de operação em regime do teste dos modelos utilizados pela empresa, que é de 1800-3100 RPM. O desvio de medida apresentado é considerado aceitável dentro da faixa de operação, uma vez que representa uma diferença de 31 RPM no limite superior e 18 RPM no limite inferior em comparação com os valores medidos com o osciloscópio.

O *firmware* do sistema pode ser ajustado, em versão futura, para ensaios de temperatura com valores mais precisos utilizando variáveis do tipo *float*, bem como a média das medidas.

A distância utilizada entre o sensor LED infravermelho e o fototransistor foi de 70 mm, o mesmo valor encontrado na peça do produto (Figura 27) no qual o projeto foi validado, onde os testes realizados mostraram uma boa estabilidade dos resultados.

Após a análise dos resultados obtidos, e de uma avaliação no mercado a respeito das placas de aquisição disponíveis, verifica-se a eficácia do sistema para a realização dos ensaios. Como grande vantagem para a indústria, o protótipo apresentado atende a necessidade da empresa de forma segura, reduzindo o tempo de uma operação realizada de forma manual, e permitindo ao operador a realização de outras atividades rotineiras.

Comparando-se o sistema desenvolvido (Figura 40) com as placas disponíveis no mercado, foi avaliado o sistema proposto. Com isso, o protótipo desenvolvido leva vantagem com relação ao custo e flexibilidade, pois pode-se realizar qualquer alteração ou atualização necessária para novos testes.



**Figura 40 – Produto final**  
**Fonte: Autoria própria.**

Como sugestão para trabalhos futuros, o *firmware* do sistema apresentado poderia ser modificado para possibilitar o registro do tempo total de cada ensaio. Dessa maneira, será possível verificar o tempo necessário para que diferentes tipos de motores possam atingir a mesma temperatura de teste. Como outra melhoria pode-se incluir no *hardware* os circuitos eletrônicos necessários para simular a variação de tensão na rede elétrica entre os limites de 10% da tensão nominal.

Há poucos trabalhos sobre os impactos da rotação e conseqüentemente vazão e fluxo de ar sobre um evaporador em um sistema de refrigeração doméstico. Com o sistema desenvolvido, maiores estudos poderiam ser realizados visando uma melhor eficiência energética, economia de energia, melhor desempenho do produto final, além da melhor conservação dos alimentos armazenados.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, Edwin P.; PALMQUIST, Roland E. **Manual de Geladeiras Residenciais, Comerciais e Industriais**. 4. ed. Curitiba: Hemus, 2002.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

BOLTON, W. **Instrumentação & Controle**. Brasil: Hemus, 2005.

BUENO, Sandhoerts S. **Modelagem do escoamento ao longo de evaporadores de serpentina com tubos aletados**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004. Disponível: <[http://www.dem.feis.unesp.br/ppgem/teses\\_dissertacoes/2004/dissertacao\\_ssbueno.pdf](http://www.dem.feis.unesp.br/ppgem/teses_dissertacoes/2004/dissertacao_ssbueno.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2013.

CRESPI, Roger; CERON, Tágore A. **Sensor de temperatura LM35**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/71520041/LM35>>. Acesso em: 06 abr. 2012.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração**: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções. São Paulo: Hemus, 2004.

ELECTROLUX. **Lâmina do produto**. Disponível em: <[http://www.electrolux.com.br/produtos/refrigeradores/Documents/lamina\\_DT80X1.pdf](http://www.electrolux.com.br/produtos/refrigeradores/Documents/lamina_DT80X1.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2011.

EXTECH INSTRUMENTS. **Manual Foto Laser / Tacômetro de Contato Extech, Modelo RPM33**. Estados Unidos: Extech, 2013. 6 p. Disponível em: <[http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/RPM33\\_UMpt.pdf](http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/RPM33_UMpt.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2013.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; KUSKO, Alexander. **Máquinas Elétricas**: conversão eletromecânica da energia, processos, dispositivos e sistemas. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

FRADEN, Jacob. **Handbook of modern sensors**: physics, designs, and applications. 2. ed. Nova Iorque: Springer-Verlag, 1996.

FREESCALE. Disponível em:  
<<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/application.jsp?code=APLREFRI#>>  
Acesso em: 03 mai. 2012.

GOSNEY, W. B. **Principles of refrigeration**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

HAAG, Rafael; KRENZINGER, Arno. Radiômetro espectral utilizando diodos emissores de luz (LEDs) como sensores seletivos de radiação. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. Argentina, v.10, n. 8, p. 129-135, 2006. Disponível em:  
<<http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/modulos/averma/trabajos/2006/2006-t008-a018.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2012.

ICEL LTDA. **Manual De Instruções Dos Tacômetros Digitais TC-5010 TC-5020 TC-5030**. Manaus: Icel, [2013]. 9 p. Disponível em: <<http://www.igel-manauas.com.br/manual/21.pdf> >. Acesso em: 14 mar. 2013.

MARTINS, Nardêncio A. **Sistemas Microcontrolados**: uma abordagem com o microcontrolador PIC16F84. São Paulo: Novatec, 2005.

MAXIM. **Multichannel RS-232 Drivers/Receivers (MAX220-249)**. Disponível em:  
<[www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf)> Acesso em: 8 mai. 2012.

MAZZAROPPI, Marcelo. **Sensores de Movimento e Presença**. 2007. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em:  
<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001369.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2012.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **PIC® Microcontrollers**. Disponível em:  
<[www.microchip.com](http://www.microchip.com)>. Acesso em: 11 abr. 2012.

MICROTIPS TECHNOLOGY INC. **Datasheet LCD**. Disponível em:  
<[www.datasheetarchive.com/LCD%201602%20display-datasheet.html](http://www.datasheetarchive.com/LCD%201602%20display-datasheet.html)>. Acesso em: 10 out. 2012.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **Datasheet LM35**. Disponível em:  
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2012.

NOGINO, Julio C. B. Calibrador de tacômetro. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 20., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. Disponível em: <<http://xrepo01s.inmetro.gov.br/handle/10926/222>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

NORTON, Harry N. **Handbook of transducers**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989.

OLIVEIRA, Edson C. P.; DIAS, Jean C. Rendimento nos Motores Monofásicos. **WEG em Revista**, Jaraguá do Sul, ano 3, n. 16, p. 13-17, mai./jun. 2002. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-rendimento-nos-motores-monofasicos-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 3 mai. 2012.

ROGERCOM. Software RComSerial versão 1.2 (freeware). 2012.

ROSÁRIO, João M. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

SILVA, Diogo L. da. **Análise da formação de gelo e geada e seu efeito no desempenho termo-hidráulico de evaporadores do tipo tubo aletado**. 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/99238>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

SILVEIRA, Paulo R. da; SANTOS, Winderson E. dos. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica, 1999.

SOUZA, David J. de.; LAVÍNIA, Nicolás C. **Conectando o PIC**. São Paulo: Érica, 2002.

SOUZA, David J. de. **Desbravando o PIC**: ampliado e atualizado para PIC16F628A. São Paulo: Érica, 2005.

STMICROCONTROLLER. **Datasheet LM339**. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2159.pdf>> Acesso em: 12 mar. 2013.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 5.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TRAINING PUBLICATIONS DIVISION. **Refrigeração e condicionamento de ar.** Brasil: Hemus, 2004. 135 p.

VILELA, Luís A. A. et. al. Sistema para aquisição de dados de pressão e vazão usando o microcomputador. **Revista Brasileira de Agrocomputação.** Ponta Grossa, v.1, n. 2, p. 25-30, dez.2001.

WALTRICH, Paulo J. **Análise e otimização de evaporadores de fluxo acelerado aplicados a refrigeração doméstica.** 2008. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.  
Disponível: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91775>>. Acesso em: 3 mai. 2012.

WERNECK, Marcelo M. **Transdutores e interfaces.** Rio de Janeiro: LTC, 1996.

ZANCO, Wagner da S. **Microcontroladores PIC: técnicas de software e hardware para projetos de circuitos eletrônicos com base no PIC16F877A.** 1 ed. São Paulo: Érica, 2006.

## **APÊNDICE A**

*Firmware desenvolvido em linguagem C*

```

/*****

```

*Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação.*

*Sistema microcontrolado de aquisição de dados para análise de motoventiladores aplicados a refrigeradores.*

*Equipe: Gabriel Pacheco, Gabriele Roquitski e Ighor Alexei Frankiv.*

```

*****/

```

```

/*****

```

*/ Declaração de funções*

```

*****/

```

```

void inicializa_lcd ();
void lcd_inst (unsigned short INST);
void lcd_dado (unsigned short DADO);
void escreve_lcd(unsigned short a, char mens[]);

```

```

/*****

```

*/ Declaração e Definição de Variáveis*

```

*****/

```

```

const char tela1_l1[] = " Projeto TCC ";
const char tela1_l2[] = " UTFPR-Curitiba";
const char tela2_l1[] = "Equipe:Gabriele";
const char tela2_l2[] = "Gabriel e Ighor";
const char tela3_l1[] = "TEMP = C ";
const char tela3_l2[] = "RPM = ";

```

```

char res_lcd [6];
char res_adc_temp[7];
char txt[15],txt_msg[15],*txt1,*txt2;
long int temp_res;
long int temp_res_neg;
signed long int sub;
unsigned int t1_temp, rpm_temp;
unsigned short cnt = 0;
unsigned short calculo = 0;

```

```

/*****
/ Interrupção do Timer0
*****/

void interrupt() {
    INTCON = 0x20;
    cnt++;
    if (cnt == 61)
    {
        cnt = 0;
        t1_temp = ((TMR1H<<8) + TMR1L)*1.001;
        TMR1L = 0;
        TMR1H = 0;
        calculo = 1;
    }
}

/*****
/ Função para copiar uma string de constantes (ROM) para string na RAM
*****/

void strcpy_c(char *str1, const char *cstr2)
{
    unsigned short i = 0;
    do
    {
        str1[i] = cstr2[i];
    } while (str1[i++]);
}

/*****
/ Função para inicialização dos pinos e módulos do PIC
*****/

void inicializa_pic(void)
{
    ADCON1 = 0X00;
    TRISA = 0XFF;
    TRISD = 0X00;
    TRISB = 0B00001100;
    TRISC = 0B00000001;
    T1CON = 0B00000010;
}

```

```

/*****
/ Função principal
*****/

void main()
{
    unsigned short i;

    inicializa_pic();
    inicializa_lcd();
    lcd_inst(0x01);

    strcp_c(txt_msg, tela1_l1);
    escreve_lcd(0,txt_msg);
    strcp_c(txt_msg, tela1_l2);
    escreve_lcd(1,txt_msg);
    Delay_ms(3000);

    strcp_c(txt_msg, tela2_l1);
    escreve_lcd(0,txt_msg);

    strcp_c(txt_msg, tela2_l2);
    escreve_lcd(1,txt_msg);
    Delay_ms(3000);

    UART1_Init(9600);

    TMR0 = 0;
    TMR1L = 0;
    TMR1H = 0;
    T1CON.F0 = 1;
    OPTION_REG = 0B00000110;
    INTCON = 0xA0;

    while (!calculo) {}

    strcp_c(txt_msg, tela3_l1);
    escreve_lcd(0,txt_msg);
    strcp_c(txt_msg, tela3_l2);
    escreve_lcd(1,txt_msg);

```

```

while (1)
{
if (calculo)
{
calculo = 0;

temp_res = Adc_Read(0) & 0X3FF;
temp_res_neg = Adc_Read(1) & 0X3FF;
sub = temp_res - temp_res_neg;
sub/=2;
IntToStr(sub, res_adc_temp);
lcd_inst(0x87);
lcd_dado(res_adc_temp[3]);
lcd_dado(res_adc_temp[4]);
lcd_dado(res_adc_temp[5]);
lcd_dado(0xDF);

rpm_temp = 15 * t1_temp;
WordToStr(rpm_temp, res_lcd);
lcd_inst(0xC7);
lcd_dado(res_lcd[0]);
lcd_dado(res_lcd[1]);
lcd_dado(res_lcd[2]);
lcd_dado(res_lcd[3]);
lcd_dado(res_lcd[4]);

for (i=0;i<5;i++)
UART1_Write(res_lcd[i]);
UART1_Write(59);

for (i=0;i<6;i++)
UART1_Write(res_adc_temp[i]);
UART1_Write(59);
UART1_Write(13);
}
}
}

```

```
void escreve_lcd(unsigned short a, char *mens)
```

```
{
```

```
  unsigned short i;
```

```
  if (a==0)
```

```
    lcd_inst(0x80);
```

```
  else
```

```
    lcd_inst(0xc0);
```

```
  for (i=0;i<15;i++)
```

```
    lcd_dado(*mens++);
```

```
    *mens='0';
```

```
}
```

```
void lcd_inst (unsigned short INST)
```

```
{
```

```
  PORTD = INST;
```

```
  PORTB.F0 = 0;
```

```
  Delay_Cyc(1);
```

```
  PORTB.F1 = 0;
```

```
  Delay_Cyc(1);
```

```
  PORTB.F1 = 1;
```

```
  Delay_Cyc(1);
```

```
  PORTB.F1 = 0;
```

```
  Delay_ms(2);
```

```
}
```

```
void lcd_dado (unsigned short DADO)
```

```
{
```

```
  PORTD = DADO;
```

```
  PORTB.F0 = 1;
```

```
  Delay_Cyc(1);
```

```
  PORTB.F1 = 0;
```

```
  Delay_Cyc(1);
```

```
  PORTB.F1 = 1;
```

```
  Delay_Cyc(1);
```

```
  PORTB.F1 = 0;
```

```
  Delay_ms(2);
```

```
}
```

```
void inicializa_lcd ()  
{  
    lcd_inst(0x38);  
    Delay_ms(15);  
    lcd_inst(0x38);  
    Delay_ms(15);  
    lcd_inst(0x06);  
    Delay_ms(15);  
    lcd_inst(0x0e);  
    Delay_ms(15);  
    lcd_inst(0x01);  
    Delay_ms(15);  
    lcd_inst(0x0C);  
    Delay_ms(15);  
    lcd_inst(0x01);  
}
```

## **APÊNDICE B**

Diagrama esquemático final do protótipo



## **APÊNDICE C**

Desenho da caixa utilizada nos testes em laboratório

