

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

THIAGO BUKOWSKI

**SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO TÉRMICO DE  
MOTORES ELÉTRICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

CURITIBA  
2019

THIAGO BUKOWSKI

## **SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO TÉRMICO DE MOTORES ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Industrial Elétrica ênfase em Automação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Jean Carlos Cardozo da Silva, D. Sc.

CURITIBA  
2019

**THIAGO BUKOWSKI**

## **SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO TÉRMICO DE MOTORES ELÉTRICOS**

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, 26 de junho de 2019.

---

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp  
Coordenador de Curso  
Engenharia Industrial Elétrica ênfase em Automação

---

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Jean Carlos Cardozo da Silva, D.SC  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Jean Carlos Cardozo da Silva, D.SC  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Uilian José Dreyer, Dr  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gustavo Gomes Kuhn, Me  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Industrial Elétrica ênfase em Automação.

## RESUMO

BUKOWSKI, Thiago. **Sistema Supervisório para Monitoramento Térmico de Motores Elétricos**. 2019. 52. Trabalho de Conclusão de Curso 2 (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica ênfase em Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Motores elétricos estão cada vez mais inseridos nos ambientes industriais, fazem parte de um processo importante na indústria e são fundamentais para o funcionamento das plantas, por isso requerem um cuidado diferenciado com esses equipamentos. Manutenções planejadas são necessárias para que não ocorram imprevistos, os quais acarretam parada de produção, falta de disponibilidade e possíveis perdas de equipamento. Os sistemas supervisórios possuem capacidade de monitorar, controlar e diagnosticar a situação de um equipamento, possibilitando melhor acompanhamento do processo. Uma das ferramentas utilizadas para o desenvolvimento de supervisório é o LabVIEW, tem a capacidade de se comunicar através de um módulo *wireless* conectado a termopares instalados em um motor de indução trifásico. Possui interatividade com o operador, criação de um banco de dados preciso e atualizado e a possibilidade para monitorar continuamente. Os resultados deste monitoramento resultam em dados do comportamento da temperatura no tempo e com a possibilidade de criação de relatórios para análise e um estudo detalhado da situação do equipamento, podendo facilitar a montagem de um plano de manutenção mais eficiente e que possibilite maior disponibilidade durante seu tempo de operação.

Palavras-chave: Manutenção preditiva, motor elétrico, supervisório, LabVIEW, termopar, instrumentação.

## ABSTRACT

BUKOWSKI, Thiago. **Supervisory System for Thermal Monitoring of Electrical Motors**. 2019. 52. Trabalho de Conclusão de Curso 2 (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica ênfase em Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Electric motors are increasingly inserted in the manufacturing environments, as well as they are part of an important process in the industry and are fundamental for the operation of the plants, that is why a differentiated care with these equipments is required. A planned maintenance is necessary so that there are no unforeseen events that lead to production stoppage, lack of availability and possible equipment losses. Supervisory systems are developed softwares that have this ability to monitor, control and diagnose the situation of an equipment, preventing the worst scenarios from happening. One of the tools used for the development of supervisory system is LabVIEW, which has the ability to communicate through a wireless module connected to thermocouples installed in a three-phase induction motor. It has the ability to interact with the operator, creation of a precise and updated database and the competence to monitor for several periods. The results of this monitoring result in graphs with temperature behavior in a certain period of time and with the possibility of creation of reports for analysis, as well as a detailed study of the situation of the equipment, being able to facilitate the assembly of a more efficient maintenance plan and that allows its equipment not to lose the availability during its operation time.

**Keywords:** Predictive maintenance, electric motor, supervisory, LabVIEW, thermocouple, instrumentation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Instrumentação Virtual.....	19
Figura 2: Arquitetura SCADA. ....	21
Figura 3: Diagrama de Blocos do LabVIEW.....	22
Figura 4: Painel frontal LabVIEW. ....	23
Figura 5: Motor de indução trifásico WEG.....	25
Figura 6: Sensor wireless LORD MicroStrain.....	27
Figura 7: Canais de entrada dos termopares. ....	27
Figura 8: Termopares tipo K conectado ao sensor.....	28
Figura 9: Estação base wireless conectado ao computador. ....	29
Figura 10: Termopar tipo K.....	30
Figura 11: Driver do sensor wireless para o LabVIEW.....	31
Figura 12: Driver MSCL na paleta de funções do LabVIEW.....	32
Figura 13: Tabela de temperatura e termômetros. ....	35
Figura 14: Diagrama de blocos do gráfico dos sensores. ....	35
Figura 15: Representação gráfica da medição dos sensores.....	36
Figura 16: Função de leitura e gravação de dados e criação de tabela. ....	36
Figura 17: Alarme de temperatura elevada. ....	37
Figura 18: Termopar instalado na ranhura do estator. ....	38
Figura 19: Termopar instalado na tampa do rolamento da ventoinha. ....	39
Figura 20: Termopar instalado na tampa do rolamento do eixo. ....	40
Figura 21: Termopar instalado na junta do enrolamento. ....	41
Figura 22: Termopares instalados nas juntas do enrolamento.....	42
Figura 23: Motor instrumentado. ....	43
Figura 24: Sistema de instrumentação.....	44
Figura 25: Gráfico das temperaturas do motor.....	46

Figura 26: Oscilações das medições.....	47
Figura 27: Resposta térmica do motor de indução trifásico.....	48

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Temperaturas permitidas em função da classe de isolamento.....	18
--	----



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

A	Ampère
cv	Cavalo vapor
°C	Graus Celsius
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
GHz	GigaHertz
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
km	Quilômetros
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench</i>
LANOE	Laboratório de Nano-Estruturas
m	Metros
mA	miliAmpère
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
NBR	Norma Brasileira
rpm	Rotações por minuto
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
V	Volts
Vdc	Tensão contínua
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
W	Watts

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	TEMA	10
1.1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	11
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS	12
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	OBJETIVO GERAL	12
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>16</b>
2.1	MANUTENÇÃO PREDITIVA	16
2.2	TEMPERATURA NO MOTOR	17
2.3	INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL	18
2.4	SUPERVISÓRIO SCADA	20
2.4.1	SUPERVISÓRIO UTILIZADO	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>24</b>
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS	24
3.1.1	MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	24
3.1.2	SENSOR WIRELESS	25
3.1.3	ESTAÇÃO BASE WIRELESS	28
3.1.4	TERMOPAR	30
3.1.5	PLATAFORMA LABVIEW	31
3.2	MÉTODOS	34
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO E RESULTADOS</b>	<b>45</b>
4.1	RESULTADOS	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>49</b>
	REFERÊNCIAS	51

## 1 INTRODUÇÃO

Os motores elétricos estão presentes em muitas aplicações do cotidiano, são equipamentos fundamentais para o funcionamento de plantas industriais, e utilizados nas mais diversas funções. Portanto, monitorar seu desempenho é importante para evitar redução da sua vida útil, falhas prematuras e até mesmo paradas não planejadas do sistema que podem ocorrer devido a vibrações mecânicas, temperaturas elevadas de operação e manutenção não planejada.

O acompanhamento destes fatores que afetam o desempenho do motor elétrico pode ser realizado por meio de um sistema supervisor de monitoramento, o qual é desenvolvido para funções específicas com o objetivo de gerar informações relevantes e que serão analisadas de forma simples e rápida.

### 1.1 TEMA

Motores elétricos possuem amplo uso no ambiente industrial, muitas vezes instalados em locais de difícil acesso, perigosos e hostis, nestes locais a vida útil do motor é reduzida e seu desempenho pode ser prejudicado na ausência de uma manutenção planejada. Motores assim instalados requerem um intenso, contínuo e exaustivo trabalho da manutenção. Mesmo assim, ainda é difícil evitar a falha precoce do equipamento (MIRSHAWKA, 1991).

A manutenção preditiva permite a análise e monitoração de parâmetros preestabelecidos no equipamento durante seu funcionamento, o que possibilita seu uso contínuo e maior disponibilidade de operação. Com esse monitoramento é possível analisar, bem como proteger equipamentos ou sistemas de falhas ou paradas não programadas. Nesse contexto, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento em operação (PINTO, 2012).

A manutenção preditiva pode ser acompanhada de três maneiras: monitoramento subjetivo, objetivo e contínuo. O enfoque deste trabalho será no monitoramento contínuo, o qual possibilita o fornecimento de dados em tempo real para uma central de controle remota e configuração de acordo com cada situação do

equipamento ou planta. É possível monitorar variáveis típicas de processo como densidade, pressão, vazão, além de variáveis relacionadas mais diretamente com os equipamentos, tais como vibração, temperatura de mancais e dos enrolamentos de motores elétricos (PINTO, 2012).

Para analisar e controlar a temperatura das máquinas elétricas, uma forma eficaz é utilizar os sistemas supervisórios, que permitem coletar dados, monitorar e atuar nos equipamentos controlados. São sistemas digitais de monitoração e operação. Eles objetivam gerenciar variáveis do processo que continuamente podem ser armazenadas em banco de dados locais ou remotos, cuja finalidade é manter um registro dos eventos ocorridos. São dois grandes grupos de supervisório: IHM (Interface Homem-Máquina) e SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) (MORAES, CASTRUCI, 2007). O sistema supervisório SCADA é uma tecnologia que pode ser aplicada em grandes áreas, tais como: transmissão de energia, sistemas de irrigação, pequenas hidrelétricas e controle de equipamentos.

O SCADA permite visualizar e coletar dados em tempo real através de telas de controle, visualizar dados armazenados em determinados períodos, tornando-se, portanto, mais confiável o controle e permitindo uma melhor decisão para realizar manutenção preditiva (BOYER, 2004).

### 1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O controle da temperatura de uma máquina elétrica mostra-se importante já que o aumento da temperatura pode diminuir o rendimento, causar sobrecarga e conseqüentemente uma redução na vida útil, fazendo com que seja necessário manutenção e ou mesmo troca da máquina elétrica antes mesmo do previsto. Perante essas considerações feitas, avalia-se que é importante criar um controle de manutenção preditiva para melhorar sua disponibilidade e confiabilidade dentro do sistema que está instalado. Portanto menores riscos de uma parada não programada pela sua falha não ter sido prevista anteriormente e a utilização do monitoramento contínuo pelo sistema supervisório pode diminuir essas ocorrências.

## 1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

Motores elétricos, em especial motores de indução, são usados em larga escala nos ambientes industriais, para que não ocorram perdas desnecessárias, quebras repentinas, paradas de produção e gastos não previstos, manter um cronograma de manutenção, controle e monitoração constante do equipamento, se torna uma ferramenta fundamental. A equipe de manutenção pode ter mais eficiência e minimizar esses efeitos, aumentar a confiabilidade e disponibilidade do equipamento e conseqüentemente do processo. Manutenção preditiva requer monitoração contínua do equipamento para detectar e diagnosticar defeitos. Apenas quando um defeito é detectado, a equipe de manutenção pode planejar e executar seu trabalho (GIRDHAR, SCHEFFER, 2004).

Os sensores *wireless* possuem características ideais para monitoração constante, podem ser instalados sem que haja preocupação com a planta, não possui fios, conectores e sua instalação tem custo menor. Dispositivos *wireless* contendo sensores de temperatura e vibração são ideais para coletar informações necessárias para determinar os requisitos da manutenção (XUE, SUNDARARAJAN, 2008).

O SCADA permite realizar aquisições instantâneas de dados referentes a temperatura, podendo monitorar situações como sobrecarga, rendimento das máquinas elétricas e com a possibilidade de realizar manutenção preventiva nas mesmas. Essas características podem ser essenciais para que seu processo seja mais confiável.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver sistema supervisório controlado remotamente para motores elétricos em ambientes de risco, ou difícil acesso, com o uso de sensores termopares e comunicação de dados *wireless*.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a atingir o objetivo geral deste trabalho, buscar-se-á a realização das seguintes etapas:

- Utilizar sistema de medição com tecnologia *wireless* LORD MicroStrain – TC Link – 6 CH, para realizar a comunicação entre os sensores e o supervisor via USB.
- Utilizar termopares tipo K para medições internas de temperatura do motor de indução trifásico.
- Implementar um supervisor utilizando o software LabVIEW para o monitoramento e registro dos dados coletados do motor elétrico.
- Realizar a interação entre motor, sensor e supervisor.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da produção industrial a automação tornou-se cada vez mais necessária no ambiente industrial. Com isso para ter uma maior agilidade no processo é necessário ter um sistema supervisor, para facilitar o processo de controle e manutenção de equipamentos e máquinas (LUGLI, 2011).

A falta de planejamento da manutenção pode levar a custos não previstos, desnecessários e a perda de um equipamento, o que conseqüentemente geraria uma parada repentina no processo. A manutenção preditiva pode auxiliar a minimizar e detectar falhas previamente, na economia de tempo e sem o perigo de fazer uma troca desnecessária de equipamento. A utilização de sensores *wireless* LORD MicroStrain – TC LINK – 6CH junto com o SCADA é um avanço da tecnologia de controle de processos das indústrias. Permite a realização do controle de forma instantânea e, portanto, mais confiável. SCADA é um sistema fácil de interpretar já que possui uma boa interação com o responsável de um determinado processo.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi realizado o projeto de pesquisa iniciado com uma revisão bibliográfica, através da revisão da literatura existente relacionada ao tema para um melhor entendimento do assunto.

Na sequência, será apresentado o estudo das características e funcionamento do sensor *wireless* LORD MicroStrain com os termopares tipo K, que tem uso amplo, maior resistência a oxidação em altas temperaturas e variam de -200°C a 1260°C, com apoio de seus manuais disponíveis e sua comunicação entre sensor e supervisório SCADA. A medição da temperatura é realizada a partir do termopar, o módulo *wireless* faz a leitura deste sinal, transmite esta informação para a estação base (*gateway*) se comunica via USB direto com o supervisório, a comunicação *wireless* é feita pelo protocolo de comunicação IEEE 802.15.4.

A comunicação entre módulo *wireless* e supervisório, que será desenvolvido no software LabVIEW, é através do driver do próprio fabricante a MSCL (*MicroStrain Communication Library*), essa implementação usa linguagem C++ para interação entre hardware e software. Definidos os parâmetros de temperatura, são criadas telas para análise e controle das máquinas, caso ocorra problema no controle da temperatura são criados alarmes visuais e sonoros, para evitar parada no sistema ou até mesmo perda do equipamento.

Na etapa final do projeto serão realizados testes em motores elétricos em temperatura controlada e a interação entre máquina, sensor e supervisório com o objetivo de avaliar a funcionalidade do projeto.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será apresentado conforme a seguinte estrutura:

O Capítulo 1 tem caráter introdutório, com o objetivo de expor o tema a ser analisado, delimitar e justificar sua escolha, e apontar eventuais problemas a serem encontrados durante o processo e apresentar a metodologia a ser utilizada.

O Capítulo 2 é uma revisão e acréscimo de bibliografia, esclarecer conceitos e definições de sensores *wireless*, manutenção preditiva, instrumentação e supervisório, com o intuito de mostrar a comunicação.

No Capítulo 3 é a apresentação dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento para o tema do trabalho proposto e o desenvolvimento do supervisor em LabVIEW.

O Capítulo 4, apresentação de como foi aplicado o método para chegar ao resultado e aplicação do sistema desenvolvido.

O Capítulo 5 as conclusões e proposta de trabalhos futuros.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na manutenção. Seu desenvolvimento se apresenta proporcional ao surgimento de novos equipamentos, que proporcionam uma avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais atuantes, alavancados por novas tecnologias. A NBR (Norma Brasileira) 5462 define manutenção preditiva (chamada também de manutenção controlada) como a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou amostragens, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (PINTO, 2012).

A manutenção preditiva permite uma maior disponibilidade do equipamento, agindo apenas quando a degradação alcança valores limites preestabelecidos. A avaliação do estado do equipamento se dá através de medição, acompanhamento ou monitoramento de parâmetros físicos. Este pode ser feito de três formas: monitoramento subjetivo, objetivo ou contínuo (PINTO, 2012).

As máquinas rotativas, equipamentos de manobra como, disjuntores, chaves seccionadoras e materiais isolantes cada vez mais aumentam a importância da manutenção preditiva, recebendo procedimentos que visam diminuir as paradas desnecessárias de máquinas geradoras de energia elétrica e equipamentos de transmissão (REGAZZI, 2005).

Motores elétricos são componentes críticos de muitos processos industriais e são sempre integrados a outros equipamentos (BENBOUZID, 2000). As condições de monitoramento são essenciais para detectar as degradações do motor antes que evoluam para falhas permanentes e causem uma paralisação no sistema. Utilizando essas condições o motor pode ser continuamente analisado e avaliado nas suas condições normais de operação (LOISELLE, VOLOH, 2015).

A maioria dos motores não sofrem rápida deterioração, a menos que haja uma falha séria na aplicação ou na construção, permitindo que uma inspeção periódica seja suficiente para a detecção de falhas. O monitoramento on-line normalmente está voltado a falhas relacionadas eletricamente ao motor e são geralmente instalados para

proteção e, normalmente, são de ação rápida (TOLIYAT, KLIMAN, 2004). O monitoramento abrangente para avaliação contínua da condição, elétrica e mecânica de máquinas elétricas rotativas está, se tornando cada vez mais importante (SIYAMBALAPITIYA, *et al*, 1987).

Com isso o monitoramento contínuo somado a utilização de um sistema de supervisão é uma opção viável para os motores elétricos, pois permitem controlar uma série de variáveis fundamentais para o funcionamento dos equipamentos, e conseqüentemente aumentando a disponibilidade e confiabilidade do sistema.

## 2.2 TEMPERATURA NO MOTOR

As máquinas elétricas são especificadas pelas suas capacidades de saída (potência que entrega para o sistema). Os motores de corrente contínua e alternada são definidos pelos parâmetros: capacidade de saída ou potência no eixo, correntes de plena carga e tensão aplicada. Quando estão operando a plena carga há um aumento na temperatura, e não podem durar por longos e repetidos períodos para que não prejudique seu rendimento e conseqüentemente sua vida útil (KOSOW, 1977).

Os fatores que influenciam a duração desta vida são: umidade, vibração, ambientes corrosivos e temperatura. O fator mais importante é a temperatura. Um aumento da temperatura do sistema de isolamento, formados pela combinação de vários materiais, pode reduzir a vida útil do motor pela metade (SOARES, 2014).

O sistema de isolamento tem uma vida praticamente ilimitada se a sua temperatura for mantida dentro dos limites especificados de operação (classe de isolamento do motor) (SOARES, 2014).

As normas de motores NBR-7094, estabelece como temperatura ambiente de referência o valor de 40 °C, portanto, estabelecem um máximo para a temperatura ambiente e especificam uma elevação de temperatura máxima para cada classe de isolamento (SOARES, 2014).

Os valores destas temperaturas estão representados na tabela 1 abaixo.

**Tabela 1:** Temperaturas permitidas em função da classe de isolamento.

Classe de Isolamento	A	E	B	F	H
Elevação de temperatura média admissível, calculada pelo método da resistência [°C]	60	75	80	100	125
Diferença de temperatura entre o ponto mais quente e a temperatura média [°C]	5	5	10	15	15
Temperatura ambiente [°C]	40	40	40	40	40
Temperatura admissível do ponto mais quente [°C]	105	120	130	155	180

**Fonte:** Adaptado com base apostila WEG.

### 2.3 INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

Na atualidade, diversos instrumentos analógicos podem ser concentrados de maneira virtual em um único instrumento digital, possibilitando redução de custo e espaço (REGAZZI, 2005).

Um sistema de instrumentação virtual é um software usado para teste computadorizado e sistema de medição, para o controle externo de um dispositivo através do computador que mostram seus resultados e dados coletados em telas criadas e mostradas no computador. Uma interface efetiva para o controle de um instrumento virtual facilita o operador em realizar as medições e interpretar os resultados mostrados nas telas (SUMATHI, SUREKHA, 2007).

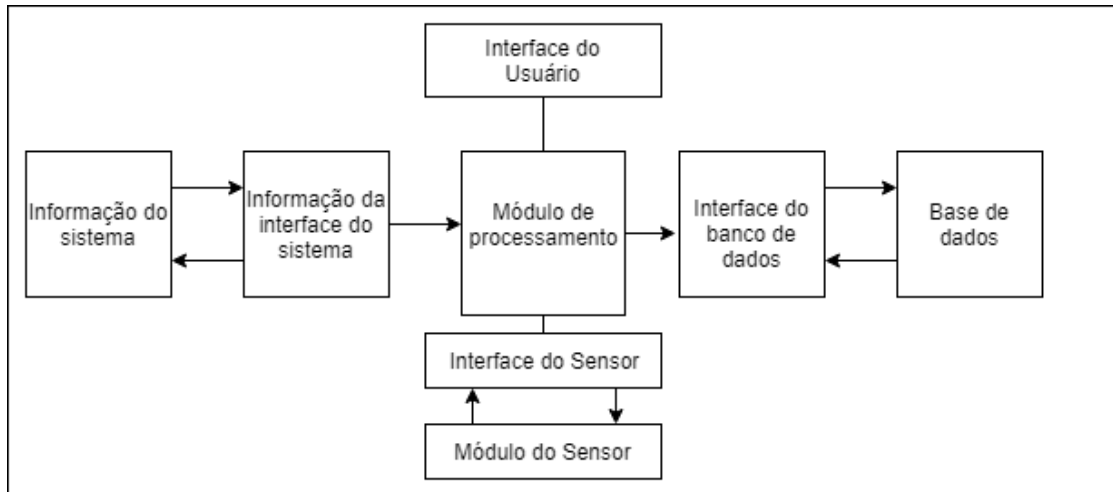
Sistema de instrumentação é composto pelos seguintes componentes:

- Módulo do sensor;
- Interface do sensor;
- Informação da interface do sistema;
- Módulo de processamento;
- Interface do banco de dados;
- Interface do usuário.

Na Figura 1 é apresentado o diagrama de blocos de uma arquitetura de um sistema de instrumentação virtual. O módulo do sensor capta o sinal físico e transforma em sinal elétrico, condiciona e converte para sinal digital. Através da interface do sensor, o módulo do sensor se comunica com o computador, uma vez

que os dados estão na forma digital do computador, os dados podem ser processados, manipulados, comparados com os parâmetros já preestabelecidos.

**Figura 1:** Sistema de Instrumentação Virtual.



**Fonte:** Adaptado de Sumathi & Surekha (2007 p. 7- 728).

Indústrias e laboratórios utilizam computadores equipados com placas de aquisição, portas seriais, paralelas para realizar as medições e controlar os sistemas. Isso faz com que possa transmitir e gerar sinais, permitindo a implementação do controle de equipamentos em diversas áreas, principalmente no setor elétrico. (REGAZZI, 2005).

## 2.4 SUPERVISÓRIO SCADA

Supervisório de controle e aquisição de dados são basicamente sistemas de controle de processo, projetados especificamente para automatizar sistemas, como controle de tráfego, gerenciamento de redes de energia, entre outros. Sistemas de controle são usados em todos os níveis da manufatura e processos industriais (SUMATHI, SUREKHA, 2007).

Tecnologia SCADA é a mais bem aplicada para processos que estão espalhados por grandes áreas, são relativamente fáceis de controlar e monitorar, e requer intervenção imediata, regular ou frequente (BOYER, 2004).

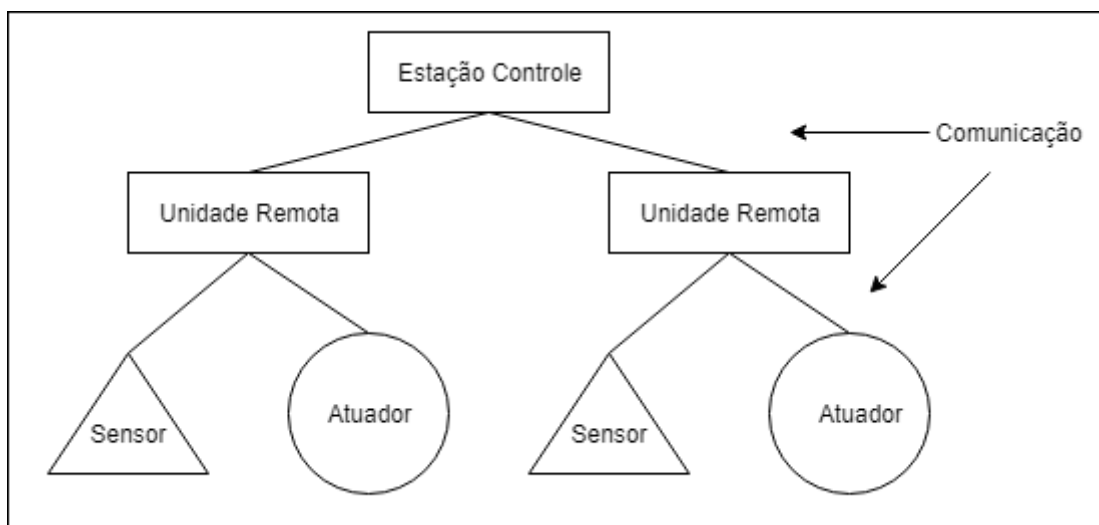
Os sistemas SCADA (*Supervisory Control Data and Acquisition*) consistem em software e hardware juntos, projetados para coletar informações de campo, transferir para um computador central e exibir as informações ao operador por meio de gráficos ou textos. Isso permite que o operador faça a monitoração ou controle de todo um sistema em tempo real. (STOUFFER, *et al.*, 2006).

Os sistemas SCADA podem verificar condições de alarmes, identificadas quando os valores de uma variável ultrapassam a faixa preestabelecida, sendo possível a gravação de registros em banco de dados, alarmes (SILVA, SALVADOR, 2005).

Esses sistemas têm a finalidade de proteger pessoas, equipamentos e produção, compõe muitas vezes em sistemas redundantes de hardware e meio físico o qual permite identificação imediata de falhas (MORAES, CASTRUCI, 2007).

São principalmente sistemas de controle, e um típico sistema de controle consiste em uma ou mais unidade remota conectada a sensores e atuadores, e transmitem a informação para uma estação de controle (SUMATHI, SUREKHA, 2007).

A Figura 2 apresenta uma arquitetura básica do SCADA.

**Figura 2:** Arquitetura SCADA.

Fonte: Adaptado de Sumathi & Surekha.

Os sensores e atuadores são dispositivos conectados aos equipamentos monitorados pelo SCADA, responsáveis por converter parâmetros físicos, tais como: velocidade, temperatura para serem lidos pela estação remota. As unidades remotas iniciam o processo de controle e aquisição de dados com as leituras dos valores dos equipamentos que estão associados.

A rede de comunicação é a plataforma de comunicação entre o SCADA e unidades remotas, podendo ser implementada por cabos Ethernet, fibras ópticas e transmissão Wi-Fi. A estação controle é a unidade responsável por armazenar informações geradas pelo sistema e agir conforme um evento ocorra, pode ser em um único computador ou distribuída em uma rede de computadores (SILVA, SALVADOR, 2005).

#### 2.4.1 SUPERVISÓRIO UTILIZADO

O sistema supervisório utilizado é o LabVIEW (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*). É uma linguagem de desenvolvimento de aplicativos como a linguagem C, Basic ou Delphi. A diferença entre a linguagem de programação gráfica (G), onde o LabVIEW se insere, e as outras convencionais é a forma de programação (REGAZZI, 2005).

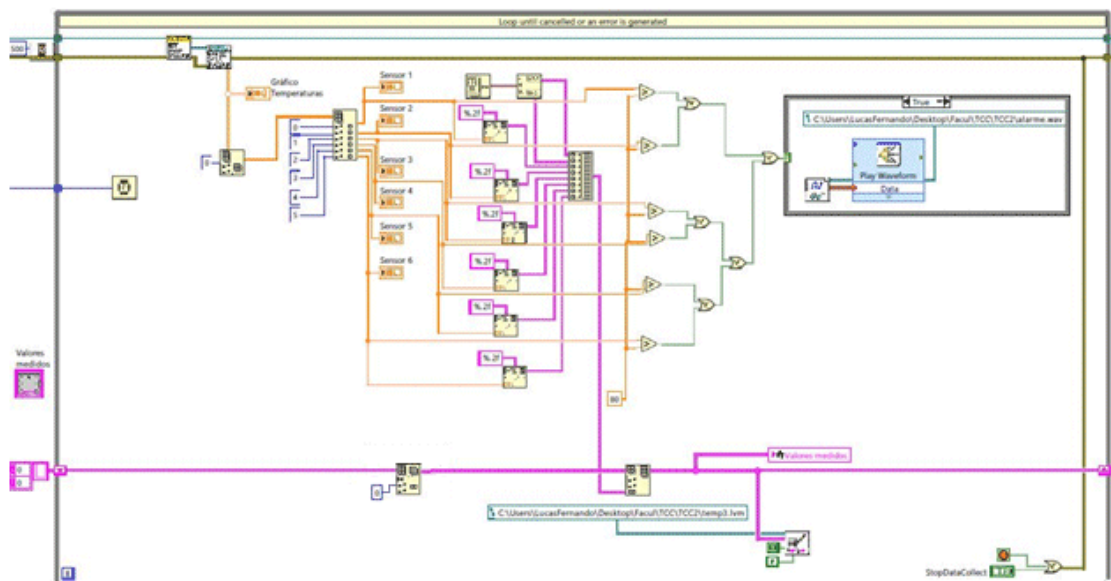
A filosofia de programação, normalmente, é fundamentada no uso de linguagem com abreviações de palavras da língua inglesa para criar linhas de comandos que, quando compiladas, geram códigos de programação interpretados ou compilados. Enquanto isso a linguagem G permite usar uma estrutura em forma de gráficos e diagramas para criar os códigos de programação em blocos, o que facilita o processo de aprendizagem (REGAZZI, 2005).

O LabVIEW é chamado de instrumento virtual, porque sua aparência e operação imita instrumentos físicos, como osciloscópios. Contém um conjunto abrangente de ferramentas para análise, aquisição, exibição e armazenamento de dados (SUMATHI, SUREKHA, 2007).

O diagrama de blocos contém o código gráfico que corresponde a linhas de programação das linguagens mais comuns, pode construir com blocos básicos como: terminais, nós e fios.

A Figura 3 representa o modelo de programação do LabVIEW, é um modelo gráfico e por meio de blocos e linhas de conexão. O diagrama de blocos apresentado na Figura 3, foi o desenvolvido no trabalho para a aquisição de dados dos sensores instalados no interior do motor elétrico, as funções deste diagrama serão especificadas na seção de materiais e métodos.

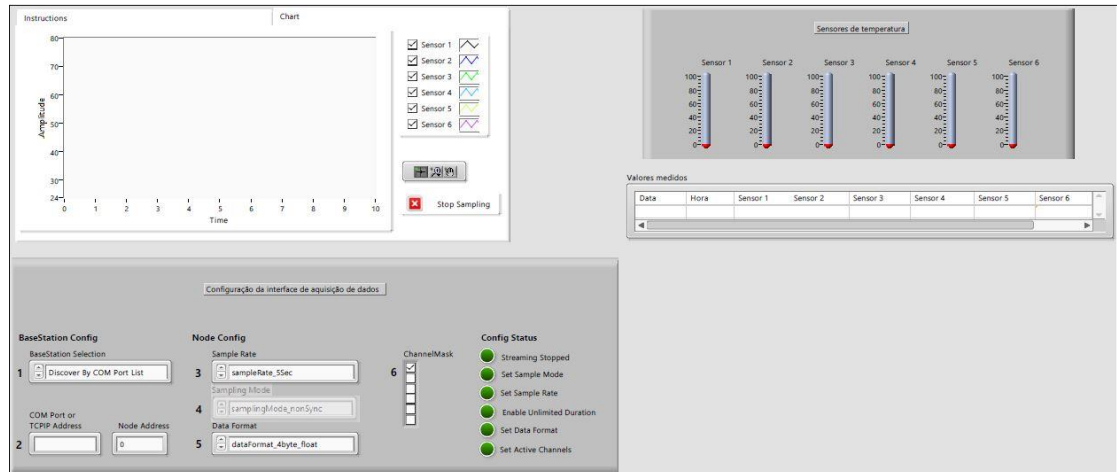
**Figura 3:** Diagrama de Blocos do LabVIEW.



**Fonte:** Autoria própria.

A Figura 4 representa o painel frontal do supervisor desenvolvido para este trabalho. É a parte interativa com o usuário, é nesta tela que o operador monitora a situação da temperatura do motor continuamente através de gráficos, termômetros e as temperaturas mostradas em uma tabela.

**Figura 4:** Painel frontal LabVIEW.



**Fonte:** Autoria própria.

O painel frontal foi dividido em três partes para que o operador possa visualizar com maior facilidade e identificar a real situação. A primeira é a configuração dos parâmetros da estação base e o módulo *wireless*, a segunda é parte gráfica das temperaturas lidas pelos termopares e enviadas a estação base e por fim os termômetros e tabela indicando numericamente e por forma de animação as temperaturas variando.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do supervisor em LabVIEW e o método utilizado na coleta de dados.

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais e equipamentos utilizados para coleta de dados estão descritos nos itens abaixo.

##### 3.1.1 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor de indução trifásico opera normalmente com velocidade constante, por ser robusto e simples sua utilização é abrangente.

O motor a ser utilizado nesse trabalho foi cedido pelo LANOE (Laboratório de Nano-Estruturas). Trata-se de um motor de indução trifásico gaiola de esquilo WEG com as seguintes dados de placa:

- Categoria: N;
- Potência: 3700 W;
- Frequência: 60 Hz;
- Tensão: 220/380 V;
- Velocidade de Rotação: 3485 rpm;
- Corrente: 13,1/7,58 A;
- Relação corrente de partida corrente nominal: 8,0 A;
- Isolação do enrolamento: Categoria B;

**Figura 5:** Motor de indução trifásico WEG.



**Fonte:** Autoria própria.

### 3.1.2 SENSOR WIRELESS

Os sensores sem fio são pequenos e leves, o que permite a instalação em locais de espaços limitados, exigem pouca energia. Sua capacidade de monitorar continuamente vibrações e temperatura permite um monitoramento contínuo do desempenho do motor, isso faz com que o motor seja reparado de forma rápida e eficaz (XUE, SUNDARARAJAN, 2008).

A rede de sensores sem fio LORD MicroStrain é um sistema de alta velocidade de aquisição de dados, varia de 2 segundos a 60 minutos, cada sistema consiste em nós da interface do sensor sem fio, uma estação base de coleta de dados e plataformas de software com interação com o usuário. A comunicação entre nó e estação base permite a coleta até dois quilômetros de distância, e podem estar conectados localmente a um computador servidor ou remotamente, por meio de redes locais e móveis (LORD User Manual).

As principais aplicações dos sistemas sem fio dos sensores são: medição de deformação, acelerômetros, monitoramento de vibração, de energia e monitoramento de temperatura (LORD User Manual).

O módulo do sistema de medição utilizado para coleta de dados neste trabalho foi o sensor *wireless* LORD MicroStrain, com 6 canais de entrada para termopares. Permite a detecção simultânea em alta velocidade, agregar dados de redes de sensores e análise de desempenho (LORD Datasheet). Possui três modos operacionais: ativo, inativo e ocioso. O modo ativo é no momento da coleta das amostras e durante este tempo não entra em nenhum outro modo, ocioso é no momento que interrompe a coleta das amostras e o inativo quando entra no modo de economia de bateria (LORD User Manual).

A aquisição de dados pode ser feita das seguintes maneiras: sincronizada, ciclo baixo, registro de dados e transmissão, caso tenha mais de um módulo conectado a estação base é possível utilizar mais de uma maneira para aquisição de dados (LORD User Manual).

O sensor possui as seguintes características:

- 6 entradas para termopares;
- Temperatura de operação da entrada termopar:  $-210\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $1820\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Protocolo de comunicação: IEEE 802.15.4;
- Faixa de rádio frequência: 70 m até 2 km;
- Rádio frequência: 2,405 até 2,47 GHz;
- Fonte: 3,2 até 9 Vdc;
- MTBF: 1.500.000 horas;
- Sensores termopares compatíveis: J, K, N, R, S, T, E e B.

As Figuras 6 e 7 apresentam as fotografias dos módulos *wireless* sem os termopares conectados e a Figura 8 a conexão dos seis termopares conectados aos canais do módulo.

**Figura 6:** Sensor wireless LORD MicroStrain.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 7:** Canais de entrada dos termopares.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 8:** Termopares tipo K conectado ao sensor.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.3 ESTAÇÃO BASE WIRELESS

A estação base *wireless* utilizada é do modelo WSDA – Base – 101 – LXRS, opera como uma rede de sensores sem fio, permite aquisição de dados entre nós sem fio e computadores que estejam conectados a estação por meio de modos contínuos e intermitentes possibilitando um registro de dados (MICROSTRAIN®, WSDA® - Base-101- Analog Output Base Station).

A comunicação do sistema é pelo protocolo IEEE 802.15.4 e inclui amostragem sincronizada sem perdas, contínua e periódica e registro de dados, uma única estação base pode coordenar muitos módulos de qualquer tipo, por exemplo controlar temperatura e vibração (LORD User Manual).

Sua comunicação pode ser realizada de três maneiras diferentes: serial, USB ou Ethernet, possui um faixa de 14 frequências avaliadas entre 2,405 e 2,47 GHz. O nível de consumo de energia pode ser escolhido de acordo com a necessidade de

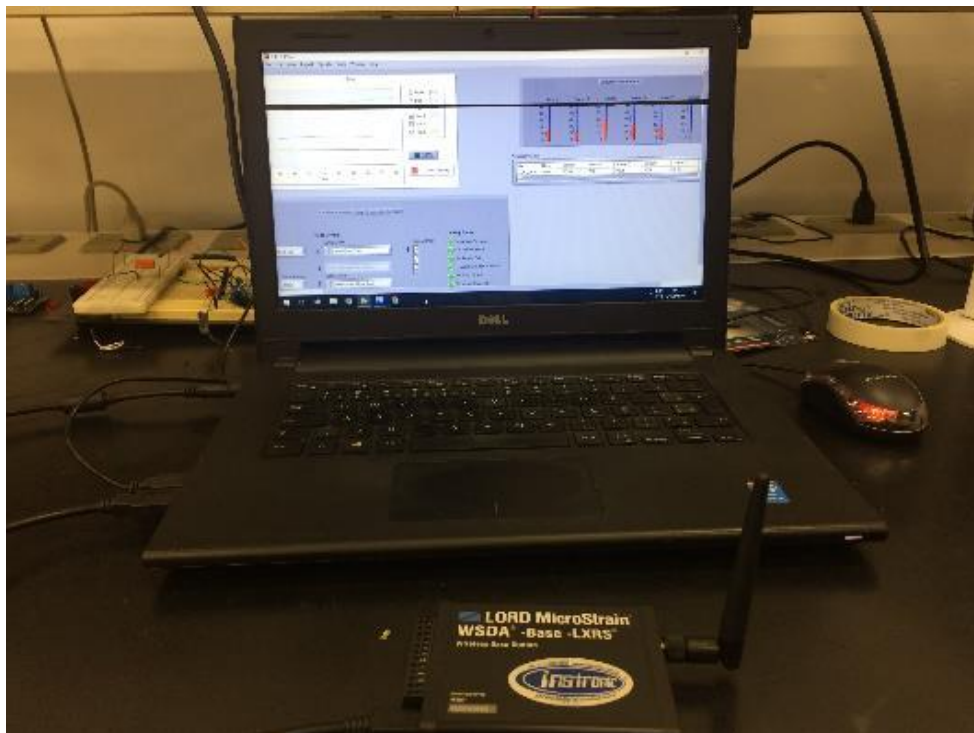
transmissão em três níveis diferentes, estendida (máximo de 2 km), padrão (máximo 1 km) e baixa (máximo 70 m).

A função da estação base é coleta dos dados do sensor e transferir para o servidor do computador. Trata-se de uma estação base *wireless* com as seguintes características:

- Conectividade: USB 2.0;
- 8 saídas analógicas: 0 a 3 Vdc;
- Protocolo de comunicação: IEEE 802.15.4;
- Faixa de comunicação *wireless*: externo: até 2 km e interno: 50 m;

A Figura 9 representa a estação base conectada via USB ao computador e transmitindo os dados coletados dos sensores termopares e mostrando as informações de modo gráfico e numérico.

**Figura 9:** Estação base wireless conectado ao computador.



**Fonte:** Autoria própria.

### 3.1.4 TERMOPAR

Termopares são capazes de medir e monitorar temperaturas entre  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Geralmente possuem baixo custo e devido a simplicidade, robustez, tamanho e faixa de temperatura medida muito utilizados. Sua sensibilidade e velocidade de resposta são adequadas para aplicações profissionais que requerem maior confiabilidade e exatidão (BENBOUZID, 2000; REGAZZI 2005).

O termopar a ser utilizado para medir a temperatura do motor elétrico será o termopar tipo K, o qual possui as seguintes características:

- Liga de Níquel – Cromo;
- Faixa de temperatura:  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A figura 10 representa o termopar tipo K utilizado no trabalho.

**Figura 10:** Termopar tipo K.



Fonte: Autoria própria.

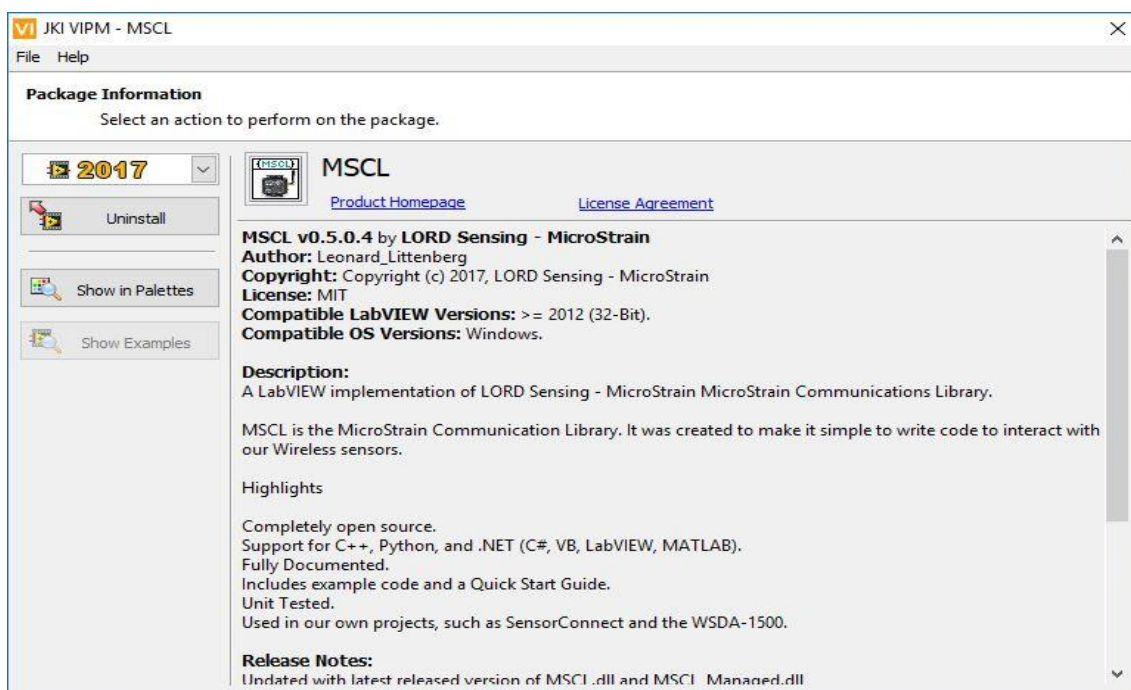
### 3.1.5 PLATAFORMA LABVIEW

A versão da plataforma LabVIEW para coleta de dados a partir do sensor Lord MicroStrain – TC Link – 6 CH e desenvolvimento do software de monitoração é a versão 2017 profissional cedida pela UTFPR.

O sensor comunica-se com o LabVIEW por meio do driver MSCL v0.5.0.4 desenvolvido pela própria LORD MicroStrain. Sua implementação tem como objetivo criar um código simples e de fácil interação com o sensor.

A Figura 11 representa a tela inicial do driver MSCL.

**Figura 11:** Driver do sensor wireless para o LabVIEW.



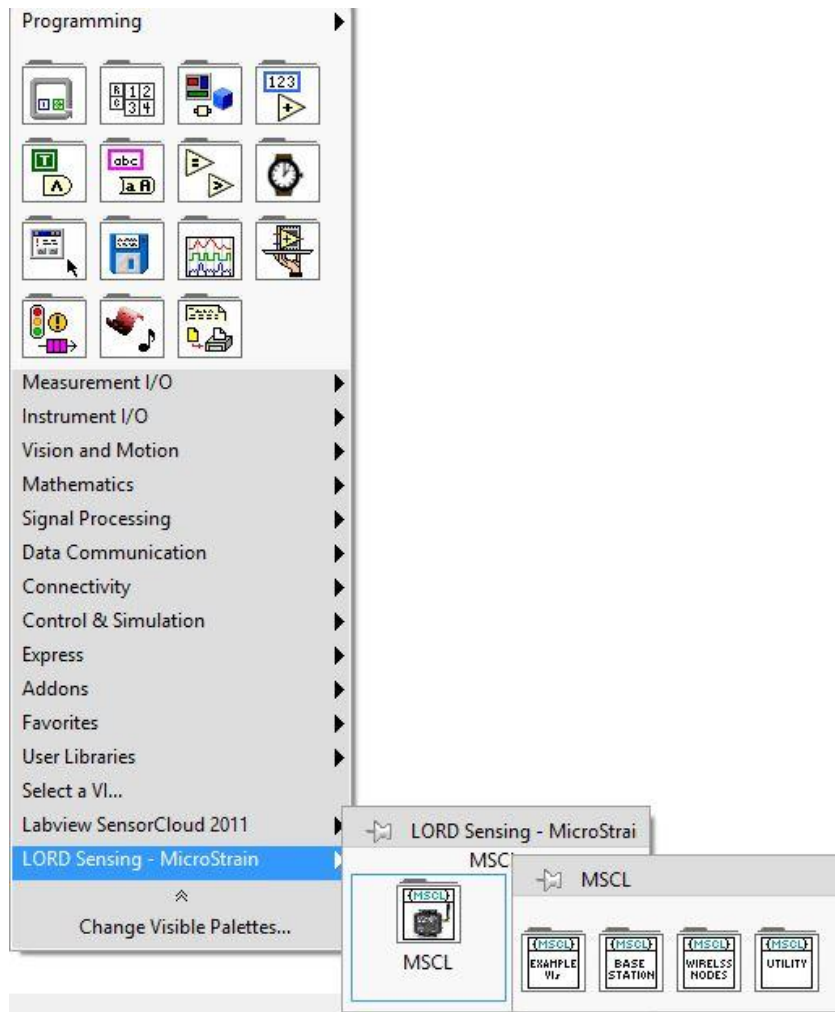
**Fonte:** Autoria própria.

O driver MSCL v0.5.4 ao instalar a extensão no LabVIEW, automaticamente cria uma paleta de funções no diagrama de blocos com todas as aplicações do driver desenvolvidas pela própria LORD MicroStrain.

A Figura 12 apresenta a paleta de funções com as opções do driver.



**Figura 12:** Driver MSCL na paleta de funções do LabVIEW.



**Fonte:** Autoria própria.

A função utilizada para o desenvolvimento do programa para aquisição de dados deste trabalho foi o *MSCL Example Config and Acquire*, foi desenvolvido e configurado com as funções específicas para aquisição de amostras em tempo real. O diagrama de blocos é composto pelas seguintes funções:

- *BaseStation Get BaseStation*: identifica o modo como a estação base está conectada ao computador, se via USB ou ethernet;
- *BaseStation List Node Adresses*: detectar o nó conectado a estação base;
- *BaseStation GetWirelessNode*: cria e retorna a referência do endereço do nó conectado a estação base;

- *WirelessNode Idle*: função impedir que o nó que esteja coletando os dados e não entre em estado ocioso;
- *WirelessNode Set Sample Mode*: função de escolher o modo de amostragem;
- *WirelessNode Set Sample Rate*: configurações da taxa de amostragem da coleta de dados da estação base;
- *WirelessNode Enable Unlimited Duration*: configuração para comunicação de aquisição em modo contínuo.
- *WirelessNode Set Data Format*: configuração do modo de leitura dos dados de duas formas, inteiro de 2 bytes ou real de 4 bytes;
- *WirelessNode Set Active Channels*: seta os canais utilizados no nó para a coleta de dados;
- *WirelessNode Start NonSync Sampling*: inicia a amostra dos dados em ciclo baixo, recomendado para utilização em até 70 metros;
- *BaseStation GetData*: retorna em formato de vetor os valores lidos pela estação base;
- *MSCL – Utility Parse DataSweep*: retorna em formato de gráfico os valores coletados pela estação base de cada sensor conectado.

Essas foram as funções utilizadas do driver para a construção do diagrama de blocos e painel frontal do fabricante da estação base e módulo *wireless* para o desenvolvimento do supervisor para aquisição de dados.

As funções acrescentadas para complementar e adaptar o supervisor aos objetivos deste trabalho foram: separar as formas de onda para cada termopar instalado no módulo *wireless*, a criação de uma tabela de valores para mostrar os dados de cada termopar nos intervalos de medição, configuração de um alarme para o valor máximo estabelecido de temperatura de trabalho do motor e configuração de data e hora com a intenção de registro dos dados.

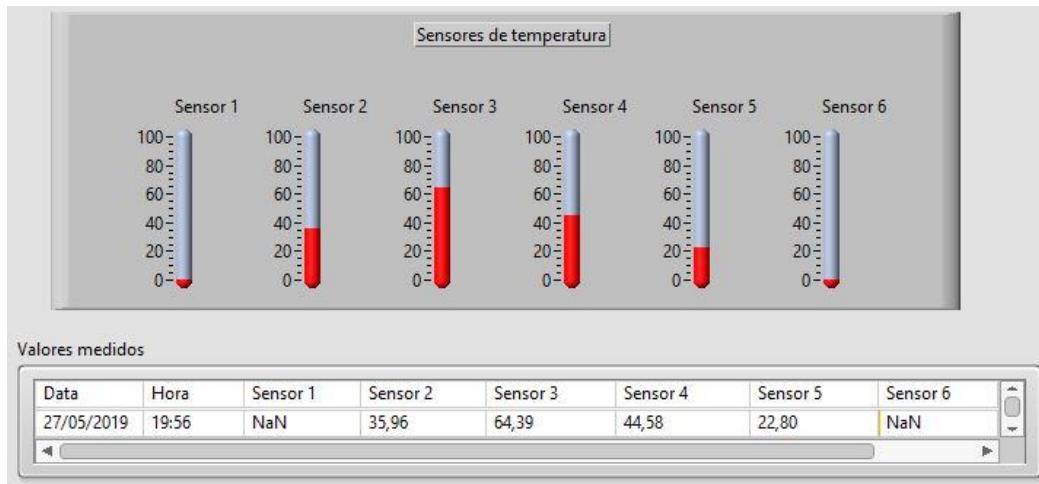
## 3.2 MÉTODOS

O primeiro passo do projeto é o estudo da comunicação do sensor *wireless* com o LabVIEW e suas funcionalidades. Iniciar a programação do diagrama de blocos usando de referência o driver e criar um programa que possibilite a aquisição dos dados dos 6 canais do módulo *wireless*, a elaboração do painel frontal de modo que a visualização dos dados seja feita de forma clara e objetiva com o intuito de facilitar a leitura do operador do supervisão. A ideia inicial é mostrar não apenas graficamente as variações da temperatura, como também uma tabela e um registro dos dados obtidos ao longo do funcionamento do sistema.

Os dados coletados do módulo *wireless* transmitidos a estação base conectada ao computador via USB foram gravados pelo LabVIEW, com a aplicação “*Write Delimited Spreadsheet.vi*”, esta função de entrada e saída de dados que possibilita a criação de um arquivo texto dos valores medidos pelos termopares e enviados a estação base através do módulo *wireless*.

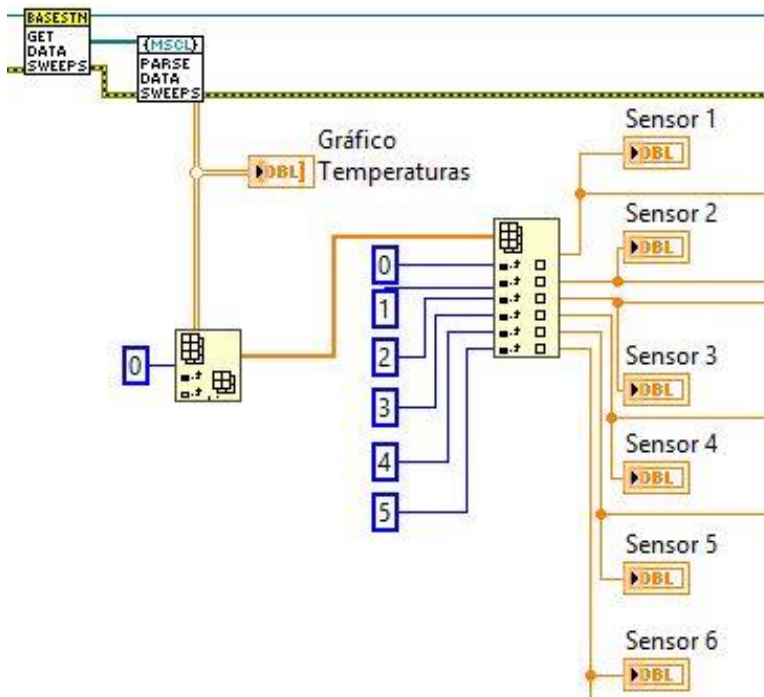
Esta função foi conectada a uma tabela chamada de valores medidos que localizada no painel frontal do supervisão mostra em tempo real as temperaturas de cada termopar. Foram inseridas as funções de data e hora para que a análise dos dados possa ser mais detalhada, com o intuito que facilitar análise, realizar um estudo mais específico dos dados para que possibilite um melhor entendimento do estado atual das partes do motor.

A Figura 13 representa, a tabela de valores medidos criada para interação com o operador no painel frontal para que facilite a visualização dos dados coletados.

**Figura 13:** Tabela de temperatura e termômetros.

**Fonte:** Autoria própria.

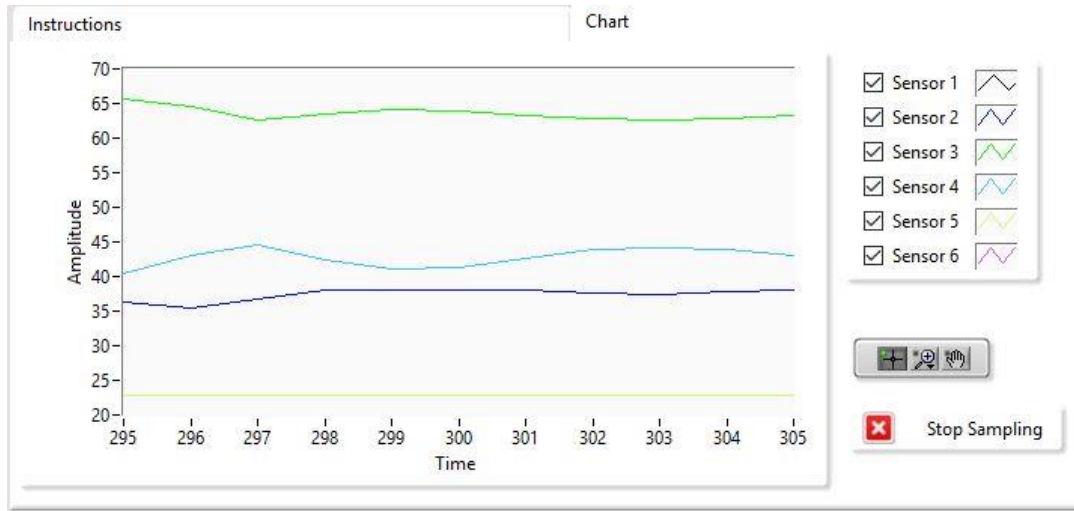
As temperaturas de cada sensor também são visualizadas através de um gráfico em função do tempo, a rotina do LabVIEW que retira as informações e separa para mostrar cada sensor está representada na Figura 14 abaixo.

**Figura 14:** Diagrama de blocos do gráfico dos sensores.

**Fonte:** Autoria própria.

O gráfico dos sensores fica representado no painel frontal conforme a Figura 15.

**Figura 15:** Representação gráfica da medição dos sensores.



**Fonte:** Autoria própria.

A Figura 16, representa o diagrama de blocos desenvolvido para criar a tabela de valores medidos, o arquivo texto que contém os dados medidos pelos sensores e utilizados para a análise dos dados de temperatura.

**Figura 16:** Função de leitura e gravação de dados e criação de tabela.



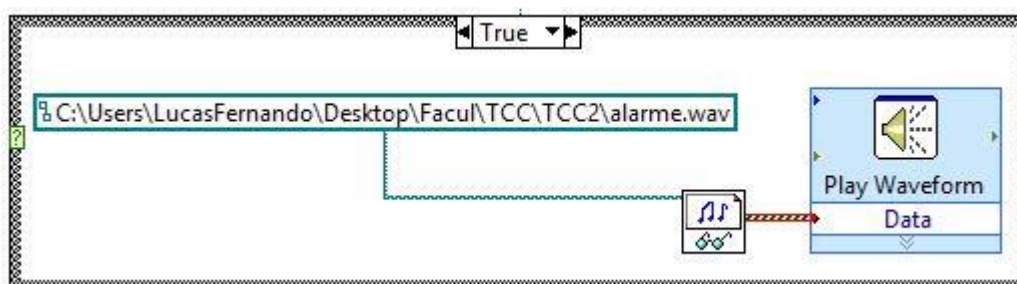
**Fonte:** Autoria própria.

De modo contínuo foi desenvolvido um alarme sonoro para o caso de temperatura elevada em alguma das partes do motor elétrico, foi criada uma lógica de

comparação entre os dados de entrada das temperaturas medidas pelo termopar com um valor de referência utilizada para fins de teste, neste caso, foi de 70°C em todas as regiões monitoradas pelos termopares.

A Figura 17 representa o diagrama de blocos da lógica do alarme, está inserida em um laço de repetição para que a cada valor de temperatura lido faça a comparação e caso verdadeiro acione o alarme.

**Figura 17:** Alarme de temperatura elevada.



**Fonte:** Autoria própria.

Após o término da programação do LabVIEW, foram realizados os testes de bancada com o motor de indução trifásico partindo a vazio. Para realização deste teste foram instalados os termopares no interior do motor e efetuado as coletas dos valores de temperatura de cada sensor nas seguintes condições: temperatura ambiente, na partida do motor e no desligamento deste.

Os dados foram coletados através da instalação de seis termopares no interior do motor de indução, sendo eles: ranhuras do estator, junta do enrolamento que equivalem a três pontos (um ao lado do eixo do rotor e dois do eixo da ventoinha), um na tampa do rolamento da ventoinha e outro na tampa do rolamento do motor. A escolha desses pontos possibilitou a medição da temperatura em diversos pontos do motor possibilitando assim o monitoramento do todo através da medição de partes específicas.

A taxa de amostragem da aquisição de dados de temperatura foi definida no intervalo de 5 segundos, possibilitando assim 12 medições a cada minuto, sendo que o programa possibilita variações de 2 segundos até 60 minutos o intervalo entre a aquisição dos dados.

A Figura 18 representa o termopar do canal 1 instalado na ranhura do estator.

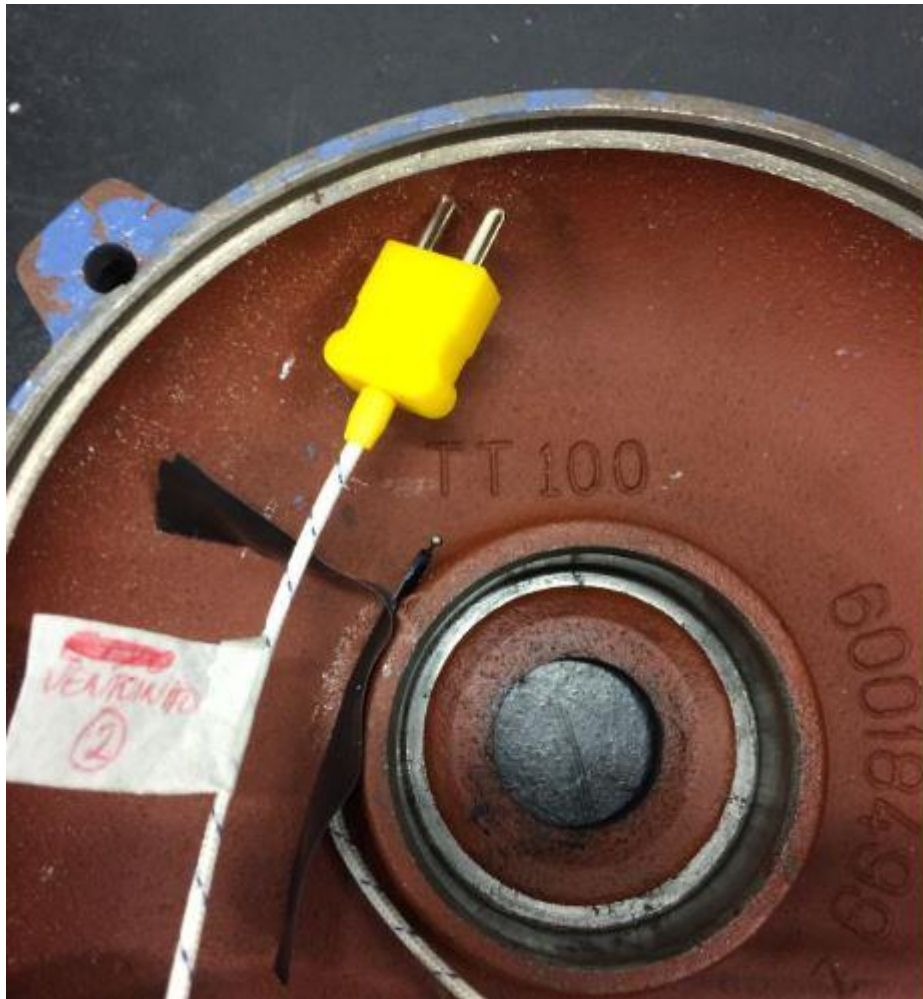
**Figura 18:** Termopar instalado na ranhura do estator.



**Fonte:** Autoria própria.

O canal 2 do módulo *wireless* foi colocado o termopar instalado na tampa do rolamento da ventoinha do motor elétrico. A Figura 19 mostra o local de instalação para medição.

**Figura 19:** Termopar instalado na tampa do rolamento da ventoinha.



**Fonte:** Autoria própria.

O canal 3 do módulo *wireless* foi colocado o termopar instalado na tampa do rolamento do eixo do motor. A Figura 20 mostra a instalação do termopar feita para a medição.



**Figura 20:** Termopar instalado na tampa do rolamento do eixo.



**Fonte:** Autoria própria.

O canal 4 do módulo *wireless* foi colocado o termopar instalado na junta do enrolamento do motor. A Figura 21 mostra o termopar instalado no motor.

**Figura 21:** Termopar instalado na junta do enrolamento.



**Fonte:** Autoria própria.

Os canais 5 e 6 do módulo *wireless* foram colocados os termopares da junção do enrolamento do motor do lado do eixo. A Figura 22 mostra a instalação realizada.

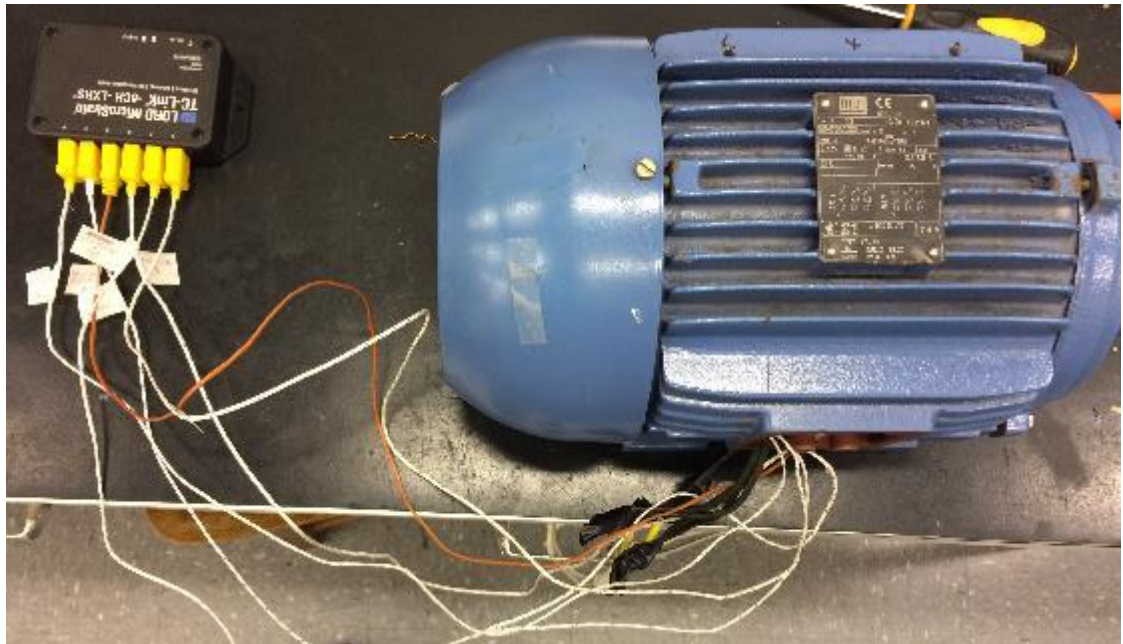
**Figura 22:** Termopares instalados nas juntas do enrolamento.



**Fonte:** Autoria própria.

O sistema módulo *wireless*, termopares e motor instrumentado está representado na Figura 23.

**Figura 23:** Motor instrumentado.

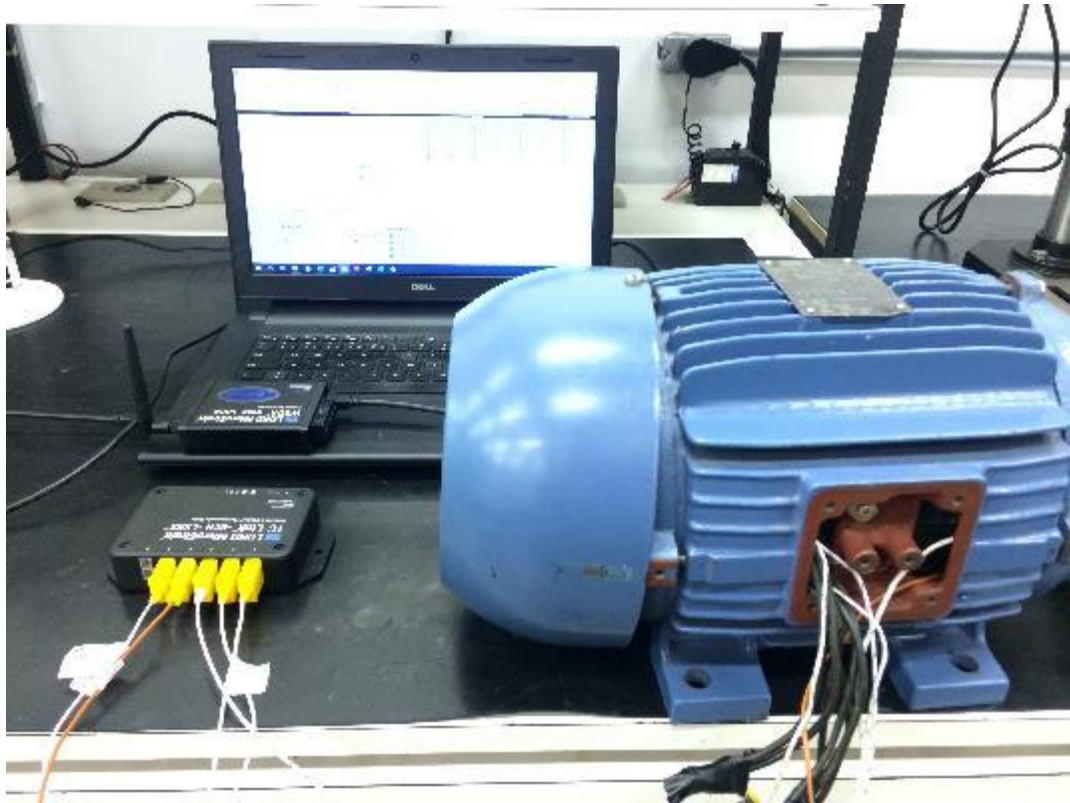


**Fonte:** Autoria própria.

O sistema como um todo é dado por: estação base, módulo *wireless*, termopares, motor e supervisor. Após montar o sistema foi utilizado para coletar os dados de temperatura durante duas horas.

Esse conjunto foi utilizado na bancada para coleta de dados de temperatura está representado na Figura 24.

**Figura 24:** Sistema de instrumentação.



**Fonte:** Autoria própria.

Os valores de temperatura coletados pelos termopares são convertidos em sinais analógicos de 4 a 20 mA pela estação base *wireless*, essa transmite via USB para estação central. A estação central é o servidor de controle e monitoramento do equipamento conectado ao sensor.

O supervisor é o responsável por mostrar os valores em tempo real das temperaturas do motor, gerar alarmes quando o parâmetro de temperatura estiver próximo do limite preestabelecido no ensaio, e caso isso ocorra o operador deve atuar de forma rápida para que não haja danos significativos no equipamento monitorado.

## 4 APLICAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos testes de bancada, realizados no laboratório LANOE, e aplicações deste supervisor desenvolvido.

### 4.1 RESULTADOS

Os resultados utilizados para este trabalho foram coletados no dia 27/05/2019, quando a aquisição de dados foi realizada com ensaio do motor a vazio durante um período de duas horas para a temperatura estabilizar, permanecer constante e ter o seu decaimento gradual ao longo do tempo.

Os testes começaram em temperatura ambiente e com os 6 termopares instalados nos canais do módulo *wireless* para efetuar uma primeira aquisição de dados no motor desligado. O supervisor funcionou corretamente nestas aquisições de temperatura ambiente.

No momento que o motor deu partida as medidas dos valores dos termopares 1 e 6 não se mostraram confiáveis. O canal 1, o qual representava o termopar instalado nas ranhuras do estator, teve a influência da corrente e campo magnético no interior do motor, sendo estas as únicas duas novas variáveis que surgiram no experimento. Devido a esse motivo, este canal foi retirado dos testes. O canal 6, por sua vez houve a substituição de termopar, termopar dos outros canais foram inseridos no canal 6 e continuava a apresentar medidas não confiáveis e condizentes com o experimento, então ele também foi retirado dos testes.

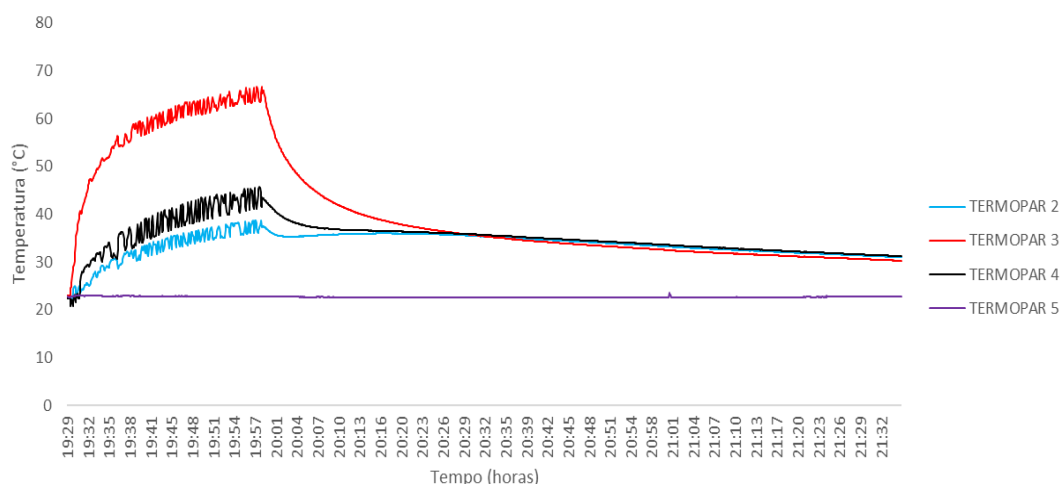
O supervisor registrou corretamente os termopares instalados nos canais 2, 3, 4 e 5 e atingiu o objetivo de coletar as amostras de dados, comprovaram uma medição eficiente e confiável durante todo período de testes de bancada. Principalmente os canais 2, 3 e 4 tiveram os melhores resultados e os que mais se aproximaram da resposta térmica de um motor elétrico.

O resultado mostrou que a temperatura do local onde o termopar 3 foi instalado aumentou consideravelmente de uma forma rápida, chegando a um pico de 66°C, isso pode indicar uma falha no rolamento do eixo do motor, o que poderia gerar uma manutenção preditiva com o auxílio do estudo dos dados coletados e realizada antes de uma possível parada não desejada do motor.

No gráfico da Figura 25, gerado a partir de uma planilha com 1520 linhas de dados com intervalo de 5 segundos entre cada medição, é apresentada a curva aproximada da variação de temperatura no tempo, no início uma elevação rápida devido a corrente elevada devido a partida direta do motor, e após alguns minutos de aquisição a temperatura permaneceu constante até o momento do desligamento, a partir deste instante a curva foi caindo lentamente.

Os termopares 2, 3, 4 e 5 estão representados respectivamente pelas seguintes cores: azul claro, vermelho, preto e roxo. O termopar 5 não apresentou variação significativa para efeito de análise, sua instalação na junção superior coletou os dados de temperatura ambiente.

**Figura 25:** Gráfico das temperaturas do motor.



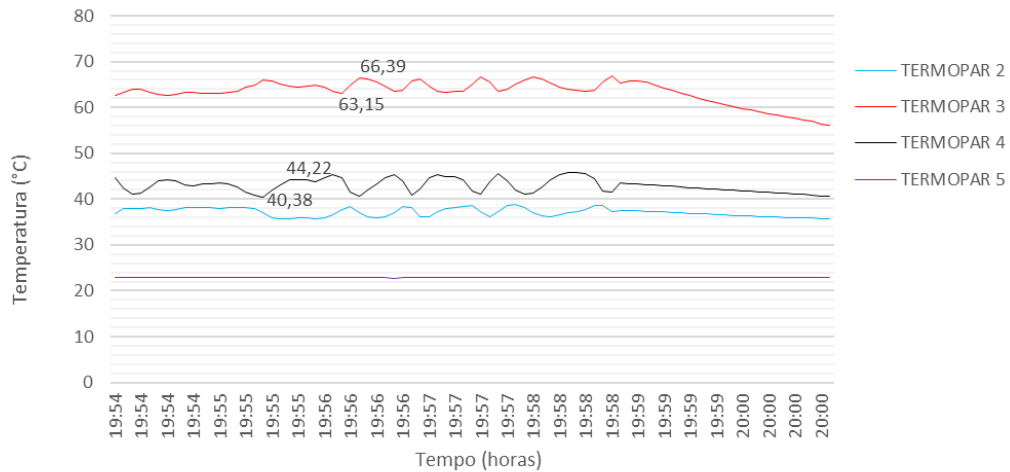
**Fonte:** Autoria própria.

A análise gráfica nos mostra que no momento de partida do motor devido a corrente de partida ser alta em relação a corrente nominal existe um aumento brusco da temperatura acompanhando a corrente.

A partir deste momento a temperatura começa a caminhar para a estabilidade após vinte minutos da partida, nesse momento também as medições mostram oscilações devido a alguns fatores: corrente que circula no interior de motor, atrito entre partes mecânicas, envelhecimento dos isolantes, correntes de Foucault, ventilação, ruídos da rede de alimentação e harmônicas. Após o seu desligamento é observado a queda contínua e lenta da temperatura, devido apenas ao resfriamento natural do motor analisado que não possui sistema de resfriamento forçado.

O gráfico da Figura 26 abaixo, mostra que as oscilações durante o funcionamento foram de 3, 4 °C em um mesmo intervalo de medição.

**Figura 26:** Oscilações das medições.



**Fonte:** Autoria própria.

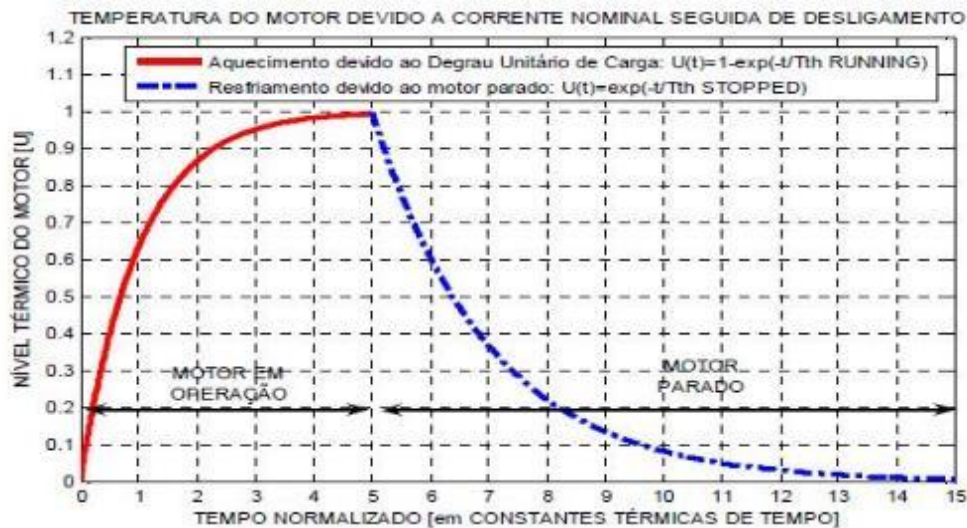
A análise destas oscilações é uma tarefa complexa devido a grande possibilidade de fatores causadores e por não ser um ambiente controlado essas variações podem ser consideradas normais.

Na maioria dos casos da indústria, o tipo de motor utilizado é o autoventilado, por motivos de confiabilidade, simplicidade de fabricação, instalação, operação e manutenção. Desta forma, a eficiência do sistema de ventilação varia totalmente de comportamento entre os estados de motor em operação e motor em repouso. O resfriamento neste caso ocorre de uma forma muito mais lenta (BULGARELLI, 2006).

A Figura 27 abaixo representa um ciclo completo de aquecimento do motor, até atingir o ponto de equilíbrio térmico e o momento em que é desligado mostrando o decaimento da temperatura lentamente (BULGARELLI, 2006).



**Figura 27:** Resposta térmica do motor de indução trifásico.



Fonte: (BULGARELLI, 2006).

Os resultados atingidos se aproximam muito com a resposta térmica do motor de indução trifásico apresentado na Figura 27, validando seu uso e corroborando os testes realizados em bancada, com isso se mostrando eficaz para o monitoramento térmico de motores elétricos.

Esse monitoramento permite que o supervisor, abordado neste trabalho, seja uma ferramenta para análise de dados e diagnósticos mais precisos das respostas térmicas observadas em diferentes partes do motor de indução, durante seu funcionamento no processo.

Isto torna possível o uso deste supervisor para umas das suas principais funções que é monitoramento contínuo de equipamentos e processos industriais. Com o banco de dados gerado pelo supervisor, a análise gráfica e o conhecimento das temperaturas admissíveis para funcionamento do motor são possíveis melhorar sua operação, seu regime de trabalho e em algumas ocasiões operar com um limite maior de carga por instantes preestabelecidos com auxílio do banco de dados de análise. E consolidar e elaborar planos de manutenção preditiva e preventiva mais específicas para o equipamento monitorado ajudando a diminuir perdas e aumentar a disponibilidade e confiabilidade do sistema ou processo que esteja inserido.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido um sistema supervisorio para monitoração térmica de motores elétricos através da plataforma LabVIEW, termopares e módulo *wireless*.

Este sistema foi criado para desenvolver uma ferramenta para monitoramento de temperatura, análise de dados e análise gráfica para facilitar a visualização do processo, de uma falha ou mesmo do funcionamento dentro da normalidade esperada.

As ferramentas utilizadas atenderam os objetivos iniciais, o módulo *wireless* se mostrou confiável, sua comunicação com a estação base foi mantida sem que houvesse perda de sinal e qualquer tipo de interferência seja elétrica ou magnética, pois opera em uma faixa de frequência específica e alta, em torno de 2,405 até 2,47 GHz.

Os dados gerados durante os três dias de medições ficaram gravados em ordem cronológica devido a programação feita no LabVIEW, portanto o estudo dos dados poderia ser realizada de forma mais precisa, conforme eventuais imprevistos apareçam, tais como: parada indesejada do motor, o alarme do supervisorio acionado devido temperatura limite de operação ser atingida.

O sistema criado para este trabalho, o conjunto do supervisorio, com módulo *wireless* e os termopares atingiu seu objetivo de capacidade de monitorar equipamentos, a fim de evitar perdas prematuramente, falhas de equipamento e paradas não previstas no sistema, gerar relatórios dos dados durante um determinado período, ou durante todo tempo que o equipamento estiver em uso.

O uso da tecnologia do módulo *wireless* facilitou a aquisição de dados, pois não houve empecilhos com cabos em excesso, após o motor estar instrumentado o seu monitoramento pode ser feito em distâncias seguras para o operador do supervisorio.

Com a disponibilidade da tecnologia *wireless* e o supervisorio desenvolvido pode realizar uma nova medição em ambiente industrial, uma pequena central hidroelétrica de forma a validar o sistema em ambientes abrasivos de difícil acesso, com isso possibilitando o estudo e a comprovação da não interferência eletromagnética devido a sua faixa frequência específica.

A utilização de termopares para medição nas superfícies do motor não se mostrou efetiva entre o estator e rotor, estudar uma solução para realização desta

medição deixaria o supervisor mais efetivo no monitoramento das temperaturas de motores elétricos.

Implementar a programação LabVIEW com um sistema de controle de ligar e desligar remotamente com acionamento do alarme já desenvolvido, fazer o acionamento de um sistema externo de resfriamento.

Realizar um estudo de manutenção preditiva conforme as temperaturas analisadas durante o período de funcionamento da máquina, realizar a troca, limpeza de peças com a finalidade de manter o rendimento.

## REFERÊNCIAS

BENBOUZID, Mohamed El Hachemi. A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection. **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS**, v. 47, n. 5, october, 2000.

BULGARELLI, Roberval. Proteção Térmica de Motores de Indução Trifásicos Industriais, 2006.

BOYER, Stuart A. **SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition**. 3rd ed. Research Triangle Park, 2004.

KOSOW, Irving L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. São Paulo, Editora Globo, 1977.

LORD Microstrain site <[http://www.microstrain.com/sites/default/files/tc-link\\_6ch\\_datasheet\\_8400-0070](http://www.microstrain.com/sites/default/files/tc-link_6ch_datasheet_8400-0070)>, acessado 12/09/2017.

LORD Microstrain site <<https://github.com/LORD-MicroStrain/LabVIEW-MSCL>>, acesso 12/09/2017.

LORD Microstrain site <<http://files.microstrain.com/8401-0032-WSDA-Base-101-LXRS-Outputting-4-to-20-mA.pdf>>, acesso 12/09/2017.

LORD Microstrain site <<http://www.microstrain.com/software/mscl>>, acesso 17/10/2017.

LORD USER MANUAL, Node Commander®, Software Suite

LOISELLE, R.; XU, Z.; VOLOH, I. Essential motor health monitoring. **IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference**, p. 1-5, 2015.

LUGLI, A. B.; SANTOS, J. B. **Redes sem fio para Automação Industrial**. 1ª Edição, Editora Érica, 2013.

MICROSTRAIN®, WSDA® - Base- 101- Analog Output Base Station, User Guide Version 8500-0017 rev 001.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção Preditiva caminho para zero defeitos**. São Paulo, Makron 1991.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Grupo Editora Nacional, 2ed, 2007.

PINTO, A. K.; NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica**. Qualitymark, 4rd ed, 2012.

REGAZZI, Rogério. **Soluções práticas de instrumentação e automação – Utilizando a programação gráfica LabVIEW**. Editora 3R.KWG, 2005.

SCHEFFER, C.; GIRDHAR, P. **Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance**, Elsevier, 2004.

SILVA, A.P.G.; SALVADOR, M. O que são sistemas supervisórios? Site Elipse, 2011. <<http://kb.elipse.com.br/pt-Br/questions/62/O+que+s%C3%A3o+sistemas+supervis%C3%B3rios%3F>>, acesso em 23/10/2018

SIYAMBALAPITIYA, D.J.T.; McLAREN, P. G.; ACARNLEY, P. P. A Rotor Condition Monitor for Squirrel Cage Induction Machines. **IEEE Transactions on industry applications**. v.23 n.2, March, April, 1987.

SOARES, S. P. Sistema de Avaliação Preditiva de Falhas em Máquinas Elétricas usando Lógica Fuzzy com análise dos parâmetros de vibração, corrente e temperature, 2014.

STOUFFER, K.; FALCO, J.; KENT, K. Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and industrial control systems security. **Recommendations of the National Institute of Standards and Technology**, 2006.

SUMATHI, S.; SUREKHA, P. **LabVIEW based advanced instrumentation systems**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

TOLIYAT, H. A.; KLIMAN, G. B. **Handbook of Electrical Motors**. CRC Press, 2ed, 2004.

XUE, X.; SUNDARARAJAN, V. The Application of wireless sensor networks for condition monitoring in three-phase induction motors. **Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo**, July 2008.

WEG, DT-6 Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção, revisão 3.07/2015.