

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PORTFÓLIO ACADÊMICO
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO EM PAINÉIS
DE COMANDOS ELÉTRICOS E ACIONAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO

BRUNO SOUSA MADUREIRA DE ANDRADE
RODRIGO FLÁVIO PEREIRA

LAVRAS-MG
2023

BRUNO SOUSA MADUREIRA DE ANDRADE
RODRIGO FLÁVIO PEREIRA

**MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO EM PAINÉIS
DE COMANDOS ELÉTRICOS E ACIONAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO**

Portfólio acadêmico apresentado ao Centro Universitário de Lavras, como parte das exigências da disciplina trabalho de conclusão de curso, na graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR

Prof^o. Me. Janílson Godinho Carvalho

LAVRAS-MG

2023

Ficha Catalográfica preparada pelo Setor de Processamento Técnico
da Biblioteca Central do UNILAVRAS

A554m Andrade, Bruno Sousa Madureira de.
Manutenção industrial: metodologias de manutenção em painéis de comandos elétricos e acionamentos de média tensão / Bruno Sousa Madureira de Andrade, Rodrigo Flávio Pereira. – Lavras: Unilavras, 2023.


51f.:il.

Portfólio acadêmico (Graduação em Engenharia Elétrica) – Unilavras, Lavras, 2023.

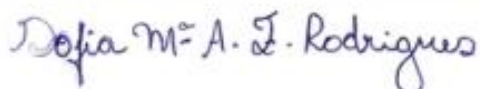
Orientador: Prof. Janilson Godinho Carvalho.

1. Manutenção industrial. 2. Painéis de comando. 3. Média tensão.
I. Pereira, Rodrigo Flávio II. Carvalho, Janilson Godinho. (Orient.). III. Título.

Portfólio intitulada "Manutenção industrial: metodologias de manutenção em painéis de comandos elétricos e acionamentos de média tensão", de autoria dos graduandos Bruno Sousa Madureira de Andrade e Rodrigo Flávio Pereira, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Me. Janilson Godinho Carvalho - UNILAVRAS (Orientador)



Profa. Drª Sofia Maria Amorim Falcon Rodrigues - UNILAVRAS (Convidada)



Profa. Drª Luciana Aparecida Gonçalves Oliveira – UNILAVRAS (Presidente da banca)

Aprovado em 11 de novembro de 2023.

Dedico aos meus pais Joelma Ferreira de Sousa Andrade e Gildo Madureira de Andrade razão da minha existência.

Bruno

Dedico esse trabalho aos meus pais Adilson e Andréa que são meus exemplos de vida. A minha esposa Thaimenne e ao meu filho João Henrique meu amor eterno.

Rodrigo

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho, antes de tudo, a Deus, porque ele é indispensável em minha vida, autor do meu destino, meu guia, meu socorro atual nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Gildo e Joelma, que me apoiaram nos momentos difíceis e compreenderam minha ausência enquanto me dedicava aos estudos.

Aos professores Janílson, Sofia, Caio, Keyla e Evandro, pelas correções e ensinamentos que foram fundamentais para alcançar o melhor desempenho no processo de formação como profissional durante curso.

Este trabalho é dedicado aos amigos e colegas que sempre me ajudaram com sua experiência e conhecimentos. As incontáveis horas de troca de ideias valeram a pena. Muito obrigado meus caros.

Por fim e mais importante, dedico este trabalho ao meu avô Dejesus (In memoriam), que me ensinou a levantar apesar das adversidades, gostaria que ele estivesse lá para ver meu diploma, mas sei que ele está melhor e observando meus passos.

Bruno Sousa Madureira de Andrade

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por todos os dons a mim dados, pelas oportunidades de me desenvolver como ser humano onde a educação sempre esteve como alicerce em toda caminhada.

Aos meus pais, Andréa de Fatima Pereira e Adilson Afonso Pereira por todo amor incondicional dedicados à minha formação acadêmica e como homem. Agradeço por todo esforço realizado para que eu pudesse me tornar uma pessoa melhor por meio do conhecimento.

A minha esposa Thaimenne Aliboni Pereira e ao meu filho João Henrique por todo suporte, amor e dedicação que tiveram em todo esse período, pela compreensão nas ausências e por todo carinho. Vocês são as baterias que recarregam minha energia e me proporcionam motivação para seguir sempre em busca de um futuro melhor.

A todos os amigos que caminharam ao meu lado nos momentos de alegria e também nos momentos difíceis, não vou citá-los para não ser imparcial, com todos os que Deus colocou em meu caminho.

Agradeço a todos os professores e tutores que fizeram parte dessa jornada, as vezes exaustiva, seus conselhos, ensinamentos e amizade deixaram o caminho mais fácil e descomplicado.

Por fim agradeço aos amigos da Intercement que me fizeram crescer profissionalmente e como pessoa.

Rodrigo Flávio Pereira

A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original.
(ALBERT EINSTEIN, 1879-1955)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Fábrica de Cimento Portland – Ijaci-MG	12
Figura 02 - Motor de Indução trifásico 6,6 KV 7.300KW	12
Figura 03 - Sistema de anéis e escovas de motor de 6,6kVAC, 3.200 KW	14
Figura 04 - Hidroreostato de partida de motor de rotor bobinado.....	18
Figura 05 - Família de curvas conjugado x velocidade	18
Figura 06 - Esquema construtivo de hidroreostato	19
Figura 07 - Circuito de ligação de hidroreostato	21
Figura 08 - Hidroreostato de partida de motor de 6,6kVac, 2.180KW	21
Figura 09 - Preventiva de eletrodos de hidroreostato.....	22
Figura 10 - Diagrama de ligação de inversor de frequência de média tensão.	23
Figura 11 -Transformador a seco 6,6kVac/600Vac com múltiplos secundários.	26
Figura 12 - Painel do climatizador da área de envase	31
Figura 13 - Diagrama elétrico do sistema de emergência do climatizador	33
Figura 14 - Painel do climatizador após alteração do projeto.....	35
Figura 15 - Conversores de sinal e controlador.....	40
Figura 16 - Sistema elétrico da máquina de corte hidráulico de madeira	43

LISTAS DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA – Corrente alternada
CC – Corrente contínua
CCM – Central de comando de motores
CLP – Controlador lógico programável
CNC – Controle numérico computadorizado
CPU – *Central processing unit*
DR – Dispositivo diferencial residual
DPS – Dispositivo contra surtos elétricos
IGBT – *Insulated gate bipolar transistor*
IEC – *International Electrotechnical Commission*
IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
Hipot – *High potential*
IHM – Interface homem-máquina
LVDT – Transdutor de deslocamento variável linear
KV – Kilo volts
KW – Kilo watts
MIT – Motor de indução trifásico
NBR – Normas técnicas brasileiras
NR – Norma regulamentadora
PH – Potencial hidrogeniônico
PWM – Modulação por largura de pulso
PLC – *Programmable logic controller*
RFID – *Radio frequency identification*
SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*
SRC – *Silicon controlled rectifier*
TC – Transformador de corrente
TP – Transformador de tensão
TBJ – Transistor bipolar de junção
Vca – Tensão alternada
Vdc – Tensão contínua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DESENVOLVIMENTO	11
2.1 Contextualização do aluno Rodrigo Flávio Pereira.....	11
2.1.1 Auto apresentação	11
2.1.2 Apresentação do local da vivência	11
2.1.3 Apresentação do tema	12
2.1.4 Motores de média tensão	13
2.1.5 Manutenção de motores de rotor bobinado.....	14
2.1.6 Método de partida de motor de média tensão com hidroeostato	17
2.1.7 Manutenção em hidroeostatos de partida	20
2.1.8 Métodos de acionamento de motores - Inversores de média tensão	23
2.1.8.1 Bloco retificador.....	24
2.1.8.2 Circuito de Controle.....	24
2.1.8.3 Bloco Inversor	24
2.1.8.4 Princípio de Funcionamento.....	25
2.1.8.5 Transformador com isolamento a seco.....	26
2.2 Contextualização do Bruno Sousa Madureira de Andrade.....	29
2.2.1 Auto apresentação	29
2.2.2 Apresentação do Local da vivência	29
2.2.3 Apresentação do tema	29
2.2.4 Circuito de Emergência de sistema de climatização	31
2.2.5 Projeto de sistema de emergência	33
2.2.6 Modificação do projeto do painel do climatizador.....	35
2.2.7 Instrumentação e sistema de proteção do pasteurizador	38
2.2.8 Sensores na indústria de laticínio.....	41
3 AUTOAVALIAÇÃO	45
3.1 Autoavaliação de Bruno Sousa Madureira de Andrade.....	45
3.2 Autoavaliação de Rodrigo Flávio Pereira	46
4 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

Esse portfólio é fruto do aproveitamento profissional por nós alunos de Engenharia Elétrica, os quais apresentamos a seguir.

Eu, Bruno Souza Madureira de Andrade realizei o aproveitamento profissional em uma empresa no ramo da indústria alimentícia na cidade de Lavras. O objetivo geral foi absorver conhecimento, em projetos de uma empresa que está crescendo, aprender mais sobre automação industrial, adquirir conhecimento em programação, e como é regido a manutenção industrial.

Eu, Rodrigo Flávio Pereira realizei o aproveitamento profissional em uma empresa no ramo da indústria cimenteira na cidade de Ijaci, Minas Gerais. O objetivo geral foi realizar o estudo de métodos de manutenção em acionamentos de média tensão na indústria de cimento, servindo de parâmetro para padronização das atividades realizadas nos equipamentos da companhia.

No que se refere aos objetivos específicos destacam-se os seguintes: observar; analisar; desenvolver; fotografar e relatar a automação industrial e a metodologia de manutenção elétrica na indústria, além de correlacionar com as disciplinas do curso e a literatura científica atual.

A relevância deste portfólio para nós futuros engenheiros eletricitas foi ampliar os conhecimentos e experiências na indústria necessários para nos proporcionar um aprimoramento profissional e desenvolvimento de nossas carreiras.

2 DESENVOLVIMENTO

A manutenção elétrica industrial desempenha um papel vital na operação segura e eficiente das instalações industriais, garantindo o funcionamento contínuo dos sistemas elétricos essenciais para a produção. A integração de práticas avançadas de manutenção pode resultar em uma significativa melhoria no desempenho e na confiabilidade dos sistemas elétricos industriais. Seguindo a organização do sistema elétrico de potência onde a energia elétrica é recebida na indústria em alta tensão nos ramais de entrada, é abaixada a um nível de média tensão através das subestações abaixadoras que depois é distribuído a transformadores que tem a função de adequar o nível de tensão ao nível dos equipamentos que trabalham em baixa tensão. O trabalho apresentado nesse portfólio seguirá essa sequência lógica iniciando com o tema que envolve o trabalho em média tensão.

2.1 Contextualização do aluno Rodrigo Flávio Pereira

2.1.1 Auto apresentação

Iniciei minha jornada na área técnica em 2004 no curso de eletromecânica, onde ao fim do mesmo ingressei no estágio em uma multinacional do setor cimenteiro. Após alguns anos na empresa tive a oportunidade de fazer parte do time de manutenção elétrica onde pude obter maior conhecimento na área técnica. Iniciei minha graduação em outra instituição e no ano de 2020 fiz a inscrição para o vestibular no Unilavras no curso de Engenharia Elétrica, ao qual fui aprovado dando continuidade à minha formação no curso de graduação.

Meu interesse em ingressar nesse curso veio em função da busca em ampliar meus conhecimentos para aprimoramento profissional e desenvolvimento no ramo de engenharia e manutenção elétrica.

2.1.2 Apresentação do local da vivência

O aproveitamento profissional apresentado neste portfólio foi realizado em uma empresa multinacional situada no Sul de Minas Gerais, a empresa conta com mais de 400 funcionários diretos e atua no setor de fabricação de cimento. A companhia possui capacidade de produção de mais de 33 milhões de toneladas de cimento por ano e possui 27 fabricas de cimento e moagens distribuídas em dois

países: Brasil e Argentina. No Brasil a empresa está entre as maiores fabricantes de cimento no cenário nacional e conta com 15 unidades fabris atualmente em operação. Além de cimento a empresa produz e distribui agregados e concreto.

Figura 01 - Fábrica de Cimento Portland



Fonte: Autoria própria (2023)

2.1.3 Apresentação do tema

Os acionamentos de grandes cargas são de extrema importância nos processos industriais. Com o desenvolvimento dos processos de fabricação o controle de acionamentos de equipamentos de elevada potência vem sendo cada vez mais necessário e desenvolvido em indústrias de mineração, siderurgia, usinas de álcool, cimenteiras, etc. Um dos equipamentos de maior importância nos processos de fabricação hoje é o motor elétrico de indução trifásico. A figura 02 apresenta um acionamento (motor de indução trifásico) de média tensão 6,6 KV e potência de 7.300 KW de acionamento de um moinho de cimento para exemplificar o objetivo desse portfólio que se trata do estudo de métodos de manutenção preventiva de acionamentos de média tensão na indústria de cimento.

Figura 02 - Motor de Indução trifásico 6,6 KV 7.300KW



Fonte: Autoria própria (2022)

2.1.4 Motores de média tensão

Motores elétricos de indução trifásicos como visto na figura 02 são máquinas amplamente utilizadas na indústria devido a sua versatilidade e adaptação às necessidades das diferentes cargas. Na indústria de fabricação de cimento os motores em média tensão são projetados para acionar as maiores cargas do processo de fabricação como moinhos (vertical e horizontal), britadores de calcário, ventiladores e exaustores de grande porte. Eles são amplamente utilizados devido a sua capacidade de fornecer potência significativa e sua eficiência em uma determinada faixa de tensão. Motores de média tensão normalmente operam em faixas acima de 1.000 V até 13.800 V, embora esses limites possam variar de acordo com a tensão fornecida pela concessionária e a existência de uma subestação na empresa para alterar o nível de tensão de alimentação dos equipamentos.

As disciplinas que posso correlacionar com o tema são: Conversão de Energia - estudamos os conceitos básicos da conversão de energia, conversão de energia elétrica em energia mecânica aplicada a motores e os princípios de funcionamento de motores de corrente contínua e em corrente alternada; Circuitos Elétricos II – aprendemos os senoides, fasores e circuitos trifásicos em corrente alternada os quais são as formas de onda das tensões e correntes de alimentação dos motores de indução; Eletromagnetismo – estudamos os campos eletromagnéticos onde podemos ver o princípio de funcionamento de máquinas elétricas rotativas.

“Em um motor de indução, correntes são induzidas nos enrolamentos do rotor por meio da combinação da variação, no tempo, das correntes de estator e do movimento do rotor em relação ao estator” (FITZGERALD, 2014, p193).

Portanto, o MIT (motor de indução trifásico) opera em normalidade com uma velocidade constante que pode sofrer pequenas alterações de acordo com o conjugado da carga solicitada no eixo do motor (MAMEDE FILHO, 2017).

O motor de rotor bobinado tem suas particularidades em relação ao motor de gaiola. O rotor é construído em material ferromagnético, no núcleo são alojadas espiras de um enrolamento trifásico com o fechamento geralmente em estrela e seus terminais são acessíveis através de três anéis coletores disponíveis no seu eixo. Os

anéis coletores são utilizados para possibilitar a inserção de resistência no rotor para variar as características de partida obtendo maior torque e menor corrente (KOSOW, 2000).

A seguir na figura 03 é apresentado um sistema de anéis e escovas de um motor de rotor bobinado com anéis deslizantes de 6,6kVAC e 3.200KW responsável pelo acionamento de um exaustor industrial no processo de moagem de calcário.

Figura 03 - Sistema de anéis e escovas de motor de 6,6kVAC, 3.200 KW



Fonte: Autoria própria (2022)

2.1.5 Manutenção de motores de rotor bobinado

A figura 03-A mostra uma manutenção realizada em um sistema de escovas e anéis deslizantes de um motor de indução de rotor bobinado. A manutenção preventiva é vital para obter-se o desempenho e vida útil dos motores de média tensão. Isso pode incluir inspeções regulares, manutenção no sistema de anéis e escovas, lubrificação, substituição de peças desgastadas e testes elétricos. Vale ressaltar a relevância da manutenção preventiva para prolongar a vida útil das

máquinas rotativas, isso pode incluir técnicas de diagnósticos, monitoramento de condições e sistemas de manutenções eficazes. Dentre os métodos de manutenção de motores de rotor bobinado com anéis deslizantes vamos destacar aos principais:

- Preventiva periódica no sistema de escovas e porta escovas: Esse sistema utilizado para conexão de resistores externos ao rotor deve possuir um programa de manutenção preventiva dedicado. Dentre os fatores a serem acompanhados estão o desgaste de escovas e trocas ao chegar ao limite, a pressão das molas do porta escova e a integridade e excentricidade dos anéis deslizantes. Nos suportes de escovas de configuração fixa, as escovas mantêm contato constante com o coletor, sendo pressionadas por molas de pressão constante. Nesse tipo de suporte, a durabilidade das escovas é limitada devido ao contato contínuo com os anéis coletores. Vários fatores, como a carga em que o motor opera, a qualidade das escovas e o ambiente de instalação, entre outros, têm influência na vida útil das escovas.
- Medição do isolamento do estator e rotor: de acordo com a NBR17094-3 (ABNT, 2018) o teste realizado para verificação da resistência de isolamento de estator e rotor tem a finalidade de evidenciar a integridade do material isolante, o acompanhamento do gráfico de tendência ao longo do tempo é um importante parâmetro para verificar se a máquina está apta a continuar sua operação. O teste é realizado com um megômetro com escala de tensão compatível ao nível de tensão da máquina, o tempo de execução do teste é de 1 a 10 minutos e no final podemos obter os índices de polarização e absorção. Os testes em rotor e estator devem ser periódicos e o período deve ser definido em concordância com a criticidade do equipamento e as condições de operação.
- Medição de resistência ôhmica: Esse teste é utilizado para verificar as resistências ôhmicas dos enrolamentos do estator e rotor, também utilizado para verificar possíveis falhas de isolamento nos bobinados. Para realização desse teste é necessário a utilização de um micro ohmímetro, outro fator relevante é que a temperatura para realização

do ensaio deve ser constante, ou utilizado uma fórmula para correção dos valores encontrados em função da temperatura dos enrolamentos. De acordo com a NBR17094-3 (ABNT, 2018) o desvio encontrado entre fases não pode ser superior a 3%, condicionando a reprovação do teste.

- Surge Teste: semelhante ao teste anterior esse é utilizado para verificar a condição da isolação das bobinas do rotor e estator do motor de indução. Para este teste é necessário um equipamento especial para aplicação de pulsos de tensão e verificar o formato de onda da corrente, com a comparação entre as formas de onda nas bobinas do rotor e estator pode-se verificar a presença de falhas na isolação do bobinado, falha em um grupo de espiras, bobinas e fases.
- Ensaio de tensão aplicada (Hipot): Esse é um teste recomendado segundo o padrão "IEEE Std-95" para motores de média e alta tensão acima de 2,3KV. O teste consiste em aplicar uma tensão ($2xU_n + 1000V$) durante um determinado tempo com o objetivo de avaliar a condição de isolação do bobinado através da verificação da corrente de fuga. Também realizado através de um instrumento especial (Hipot) esse teste não deve ser realizado com frequência pois pode causar stress no bobinado da máquina elétrica.

Entre as disciplinas relacionadas ao tema podemos associar: Circuitos Elétricos II ao qual estudamos as interações dos componentes resistor, capacitor e indutor em circuitos complexos de corrente alternada, ao qual é a base para a teoria dos testes realizados em motores de indução. Materiais elétricos onde vemos os tipos de materiais elétricos utilizados em maquinas elétricas, isolantes, condutores e suas características. Conversão de Energia onde podemos estudar o circuito equivalente do MIT, o estudo dos efeitos magnéticos no motor alimentado por uma tensão senoidal.

Um dos principais parâmetros a serem controlados em máquina CA é a integridade do isolamento de seus enrolamentos. Se romper a isolação de um

estator ou rotor , então ocorrerá um curto-circuito na máquina. O reparo do isolamento de uma máquina em curto-circuito é um processo que envolve um elevado custo e tempo de indisponibilidade do equipamento (CHAPMAN, 2013).

Os índices de polarização e absorção tem por finalidade indicar valores mínimos aceitáveis para a resistência de isolamento das bobinas do motor de indução. O índice de polarização é calculado fazendo a divisão entre o valor da resistência de isolamento para 10 minutos e o valor da resistência em 1 min. O índice de polarização é útil na avaliação de um enrolamento para presença de umidade, poeira e contaminação e para os ensaios dielétricos. O índice de absorção tem a finalidade de determinar o grau que essa contaminação se deu no material isolante do motor, o índice é encontrado pela razão da isolamento de 1 minuto e pela isolamento de 30 segundos. Avaliando os resultados deste índice você pode verificar qual o nível de segurança seu motor se encontra (MORÁN, 2005).

Para retirar o efeito da temperatura ao comparar medidas de resistência de isolamento ou quando considerar o valor mínimo desejável da resistência de isolamento, se faz necessário que a medida seja retificada para uma temperatura de 40 °C. Essa correção deve ser feita através de um fator de correção determinado por um gráfico em escala logarítmica da resistência de enrolamento pela temperatura. (FREITAS, 2018)

Prosseguindo veremos que dentre os métodos de partida de motores de média tensão, temos como um dos mais eficazes o método de partida com inserção de resistência no rotor através da instalação de um hidroeostato de partida. A Figura 04 representa um hidroeostato de partida para um motor de 6,6 kV e 2.180 KW de um moinho vertical de calcário.

2.1.6 Método de partida de motor de média tensão com hidroeostato

Prosseguindo veremos que dentre os métodos de partida de motores de média tensão, temos como um dos mais eficazes, o método de partida com inserção de resistência no rotor através da instalação de um reostato de partida. A Figura 04 representa um hidroeostato de partida para um motor de rotor bobinado e anéis deslizantes de um moinho vertical de calcário.

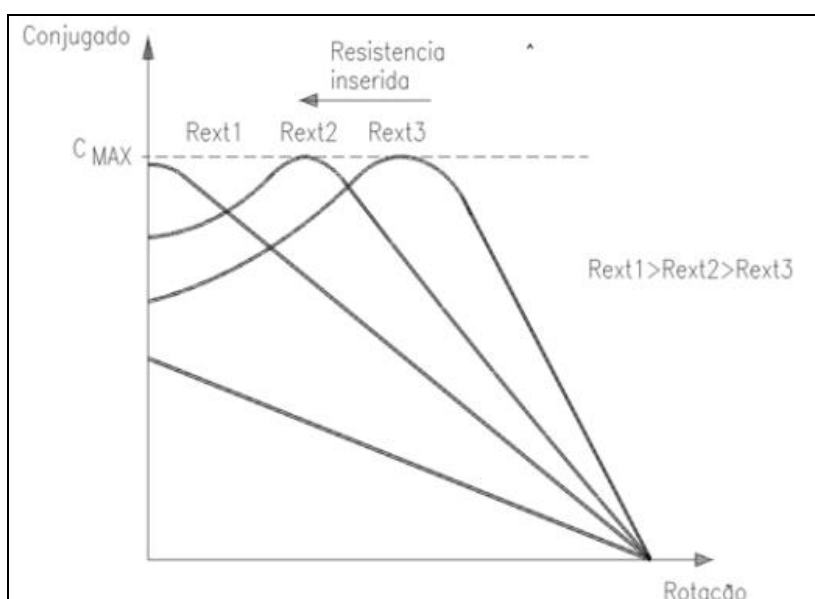
Figura 04 - Hidroreostato de partida de motor de rotor bobinado



Fonte: Autoria própria (2023)

Através da inserção de resistência externa no circuito rotórico do motor pela utilização de um reostato conseguimos modificar a curva de conjugado x velocidade do motor de indução trifásico. As vantagens principais para a utilização de hidroreostatos de partida são a diminuição da corrente de partida e o aumento do conjugado, podendo chegar ao conjugado máximo na partida conforme podemos ver na figura 05.

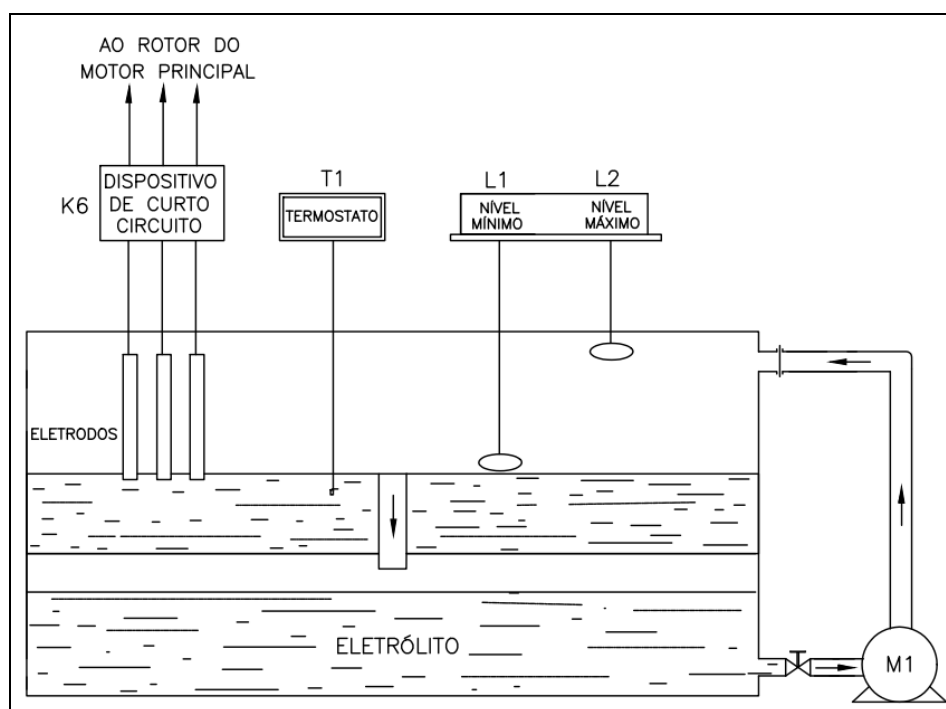
Figura 05 - Família de curvas conjugado x velocidade



Fonte: Fitzgerald (2014)

O princípio de funcionamento do hidreostato consiste em inserir resistência no circuito rotórico através de sua conexão a eletrodos pelos anéis deslizantes do rotor. Com eletrodos imersos em um eletrólito, que é constituído de água + ferroform podemos variar o valor de resistência do circuito rotórico. Através da figura 06 podemos visualizar e esquema construtivo do hidreostato. Antes da partida do motor temos que os eletrodos estão cobertos por uma pequena camada de eletrólito o que faz com que sua resistência seja máxima. A variação de resistência do reostato se dá em função da área de contato dos eletrodos com o eletrólito, ou seja, quanto maior a área de contato menor é a resistência. A medida que o motor ganha velocidade a bomba de recalque é acionada fazendo com que o eletrólito entre na câmara dos eletrodos até sua cobertura total. Como efeito, temos a diminuição gradativa da resistência até o ponto em que o reostato é curto-circuitado e o motor se encontra em regime permanente. Após o curto-circuito do reostato de partida o motor de rotor bobinado possui características de um motor de gaiola.

Figura 06 - Esquema construtivo de hidreostato



Fonte: Autoria própria (2023)

As disciplinas relacionadas ao tema são: Eletricidade onde estudamos os circuitos elétricos e os efeitos das correntes e resistências elétricas encontradas nos eletrodos do reostato; Circuitos Elétricos II onde estudamos os circuitos em corrente

alternada trifásicos e a resposta em frequência visto no rotor no instante de partida; Fenômenos dos transportes onde estudamos o movimento de líquidos e estática dos fluidos vistos no bombeamento do eletrólito dos hidroeostatos.

Usando um valor adequado para a resistência do rotor, pode-se fazer com que o conjugado máximo ocorra com o rotor parado quando é necessário um elevado conjugado de partida. À medida que a velocidade aumenta, as resistências externas podem ser diminuídas, tornando disponível o conjugado máximo dentro de todo intervalo de aceleração (FITZGERALD, 2014, p. 381).

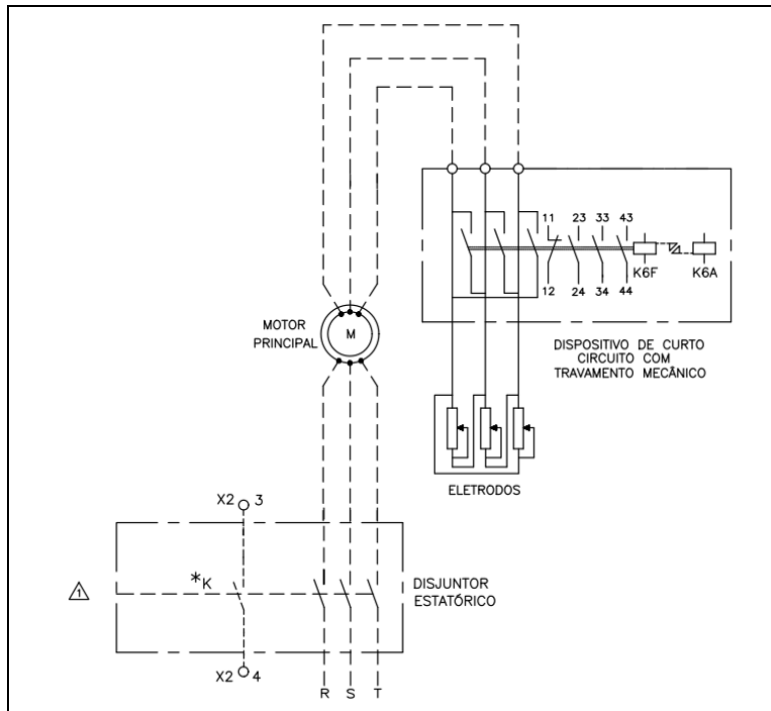
O motor de rotor bobinado em conjunto com o reostato de partida substitui o motor de gaiola para potências muito elevadas, pois permite a partida de cargas com elevado momento de inércia (BIM, 2018).

Em um motor de indução de rotor bobinado podemos variar a velocidade através da inserção de resistência externa no circuito rotórico. Dessa forma é possível influenciar a curva de conjugado x velocidade para se obter o efeito desejado (SEN, 2013).

2.1.7 Manutenção em hidroeostatos de partida

Os hidroeostatos de partida são equipamentos robustos e de fácil operação. Por não existirem muitas partes móveis em sua construção são equipamentos extremamente confiáveis. Seu circuito elétrico conforme vemos na figura 07 é simplificado e pode ser dividido em dois grupos de componentes, os eletrodos e o dispositivo de curto-circuito.

Figura 07 - Circuito de ligação de hidroeostato



Fonte: Autoria própria (2023)

Entretanto, os hidroeostatos exigem uma manutenção periódica adequada, dentre as quais podemos destacar:

- Manutenção de contatos fixos e móveis do dispositivo de curto-circuito como vemos na figura 08, compreendendo reaperto, verificação dos estados dos contatos, ajuste de alinhamento e tensão de mola aplicada.

Figura 08 - Hidroeostato de partida de motor de 6,6kVac, 2.180KW



Fonte: Autoria própria (2023)

- Teste de concentração do *ferroform*, esse teste se faz necessário sempre que for completado o nível da solução com água ou uma manutenção no

equipamento, a solução água+ferroform possui características condutivas, efeito desejado para que se estabeleça uma corrente entre as placas de eletrodo.

- Limpeza dos eletrodos, essa manutenção periódica se faz necessário devido a eletrólise que ocorre nos eletrodos como podemos ver na figura 09. Isso ocorre pela circulação de corrente entre eles durante a partida do motor.

Figura 09 - Preventiva de eletrodos de hidroeostato



Fonte: Autoria própria (2023)

Entre as disciplinas estudadas na graduação podemos associar: Circuitos Elétricos II, onde estudamos o circuito elétrico em corrente alternada e podemos analisar o circuito equivalente do rotor do motor de anéis. Eletromagnetismo, estudamos os efeitos dos campos magnéticos onde verificamos a indução de uma corrente no rotor pelo estator através de um campo magnético que varia no tempo. Conversão de energia I, onde estudamos a conversão de energia elétrica em conjugado no eixo do motor de indução.

Os motores de indução, durante a partida, solicitam da rede de alimentação elétrica uma corrente de valor elevado, podendo chegar de 6 a 10 vezes seu valor nominal. (MAMEDE FILHO, 2017)

O reostato é feito por resistores com ligação em estrela e são variados de um valor máximo até um valor mínimo com objetivo de diminuir a corrente de partida. De forma análoga aos motores de corrente contínua, no instante da partida a resistência

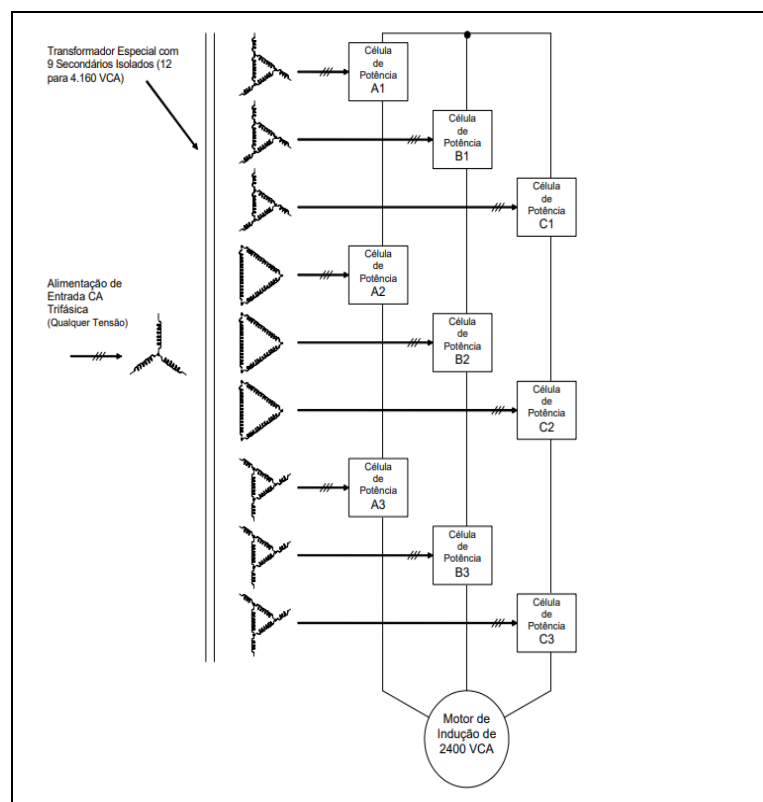
é máxima, posteriormente com a aceleração do acionamento a resistência é reduzida até zero para que a máquina entre em regime permanente. (FREITAS, 2018)

Um motor de indução tem como princípio de funcionamento a indução de tensões e correntes no rotor, por esse motivo também é denominado de transformador rotativo. Entretanto, diferente de um transformador a frequência no secundário (rotor) não é a mesma do primário (estator). Se o rotor estiver bloqueado ele possuirá a mesma frequência do estator, porém se estiver a uma velocidade síncrona a frequência será zero. Portanto, a frequência das tensões e correntes no rotor dependerá diretamente do escorregamento (CHAPMAN, 2013).

2.1.8 Métodos de acionamento de motores - Inversores de média tensão

Outro método de acionamento de motores de média tensão utilizados na indústria cimenteira são os inversores de frequência.

Figura 10 - Diagrama de ligação de inversor de frequência de média tensão.



Fonte: Autoria própria (2023)

A figura 10 mostra o diagrama de ligação de um inversor de média tensão utilizado para acionamento de um exaustor com um motor trifásico de indução de 1.000kW e 4.160VAC. A utilização de inversores de frequência traz várias vantagens dentre os outros métodos de acionamento de motores de média tensão, entre as principais temos o controle de velocidade, de torque e economia de energia. Em contrapartida temos um custo de investimento inicial mais elevado e um custo de manutenção considerável. A variação da frequência da tensão de alimentação do motor de indução trifásico é o melhor método para controle de velocidade devido a sua robustez e facilidade de controle com o desenvolvimento da eletrônica de potência. Podemos subdividir o inversor de frequência em blocos distintos: o retificador, inversor e circuito de controle.

2.1.8.1 Bloco retificador

O bloco retificador é utilizado para converter a tensão CA em CC. Essa conversão é realizada através de um circuito retificador trifásico a diodos e tiristores os SRC's que são responsáveis por conduzir somente o semi-ciclo positivo da senoide. Entre o barramento retificador e o inversor temos um filtro de capacitores, também denominado de barramento intermediário ou link CC que tem a função de suavizar e estabilizar a amplitude da tensão retificada.

2.1.8.2 Circuito de Controle

Para a supervisão de todo sistema e comando dos componentes temos o circuito de controle que normalmente é composto de um microprocessador responsável pela interpretação dos dados do sistema, monitoramento e controle dos demais dispositivos, uma das principais funções da CPU é o controle dos disparos dos IGBTs para controlar a forma de onda de tensão e corrente na carga. No circuito de controle do inversor podemos dividi-lo em quatro partes distintas que incluem:

- Sistema de controle dos IGBT's e diodos SRC's;
- Sistema de leitura de velocidade do motor;
- Sistema de leitura de corrente e tensão;
- Sistemas de interface (IHM, Entradas e saídas digitais e analógicas)

2.1.8.3 Bloco Inversor

No bloco inversor estão os transistores IGBTs, responsáveis pelo chaveamento da tensão contínua existente do link CC em um sinal alternado, com

tensão e corrente variáveis. Após a retificação o estágio inversor transforma a tensão na forma contínua para alternada novamente, utilizando do chaveamento controlado para variar a frequência desejada na saída. A forma de onda da tensão na saída não é uma senoide, mas pulsos de tensão do barramento intermediário controlados pelo chaveamento dos IGBT's.

2.1.8.4 Princípio de Funcionamento

Os inversores de média tensão possuem características particulares em relação a inversores de baixa tensão. Esse tipo de equipamento possui um transformador abaixador em sua entrada. O transformador possui um enrolamento primário alimentado em média tensão e seu secundário podendo ser com 12, 15 ou 18 enrolamentos de saída.

Devido a complexidade do equipamento uma organizada e periódica manutenção preventiva deve ser realizada, a substituição de componentes com vida útil determinada e manutenção de rotina devem seguir os seguintes parâmetros definidos pelo fabricante:

- Manutenção e limpeza dos filtros de particulado: 06 meses.
- Limpeza das células de potência e reaperto de conexões: 1 ano
- Troca de pasta térmica de diodos SRC's e IGBT's: 03 anos
- Substituição dos capacitores do link CC: 10 anos.

Na aplicação de inversores de média tensão vimos a necessidade de utilização de um transformador abaixador com alimentação em média tensão 6,6kVac e com múltiplos secundários em baixa tensão 600Vac, na figura 11 podemos ver um transformador utilizado nessa aplicação:

Figura 11 -Transformador a seco 6,6kVac/600Vac com múltiplos secundários.



Fonte: Autoria própria (2023)

2.1.8.5 Transformador com isolação a seco

Os transformadores de potência são equipamentos amplamente utilizados na indústria para adequar o nível de tensão para o acionamento de motores e inversores de frequência. Os transformadores a seco utilizam de materiais isolantes sólidos em sua construção o que os difere de transformadores a óleo. Os transformadores a seco possuem várias vantagens em termos de segurança, manutenção e eficiência, o que os torna ideais para determinadas aplicações. Entre as vantagens dos transformadores a seco podemos enumerar a eliminação da necessidade de óleo, o que previne os riscos de vazamentos, não necessita de construção de contenção, evita-se o risco de incêndio associado ao vazamento de óleo isolante. Como não há óleo para verificar, trocar ou manter, os transformadores a seco geralmente exigem menos manutenção e menos equipamentos de proteção em relação aos transformadores a óleo. A proteção dos transformadores a seco na maioria das vezes é feita pelo monitoramento de temperatura das bobinas através de termoresistores ou termistores ligadas a uma central de monitoramento. Quanto a manutenção dos transformadores a seco aplicados em inversores de média tensão

deve ser realizada conforme a recomendação da norma NBR 5356-1(ABNT, 2007) e os ensaios devem ser realizados de como visto a seguir:

- Inspeção visual;
- Medição da resistência dos enrolamentos;
- Teste de relação de transformação;
- Teste de Isolação dos enrolamentos;

Outros testes no transformador de potência podem ser realizados conforme a norma NBR 5356-1(ABNT, 2007), porém estes testes descritos acima se fazem satisfatórios para verificação em campo do transformador a seco para inversores de média tensão.

Entre as disciplinas estudadas na graduação podemos correlacionar ao tema: Eletrônica Analógica I: nessa disciplina estudamos os materiais e dispositivos semicondutores, diodos e transistores bipolares os quais são os dispositivos básicos na construção de um inversor de frequência. Na Eletrônica de Potência estudamos dispositivos semicondutores de potência como os diodos e tiristores SRC's e IGBT's, métodos de conversão CA-CC (retificadores) e CC-CA (inversores) que são os princípios dos blocos de funcionamento dos inversores de frequência de média tensão. Na disciplina de Conversão de Energia I estudamos os circuitos magnéticos de transformadores, o acoplamento magnético do primário com o secundário e o efeito da indutância mútua presente nos transformadores.

De acordo com Franchi (2013) independente da topologia utilizada, o princípio de funcionamento do inversor de frequência se baseia em uma tensão contínua no circuito intermediário a qual deve-se transformar em tensão alternada para acionar o motor, deve-se então acionar os transistores de saída com uma modulação de largura de pulso com objetivo de obter uma forma de tensão alternada senoidal sintetizada e de frequência variável.

O IGBT do inglês *insulated-gate bipolar transistor* é um semicondutor para circuito de potência que agrega as características de chaveamento rápido e alta capacidade de condução de corrente. Seu tempo de chaveamento e tempo de disparo na ordem de 15 μ s são essenciais para o chaveamento de inversores de

frequência com controle PWM. Por possuírem uma característica de baixa tensão de bloqueio reversa são construídos em um invólucro com um diodo de roda livre para proteção do dispositivo no surgimento de tensões reversas vindas da carga, característica essa que se torna útil na utilização de inversores regenerativos (BARBI, 2012).

Em transformadores monofásicos ou trifásicos podemos ter mais de um enrolamento no secundário, chamados de múltiplos secundários. Podem alimentar cargas por diferentes níveis de tensões ou várias cargas separadas fisicamente do mesmo circuito a partir de uma mesma fonte de alimentação. Eles são denominados transformadores de múltiplos enrolamentos (BIM, 2018).

2.2 Contextualização do Bruno Sousa Madureira de Andrade

2.2.1 Auto apresentação

Após a conclusão do curso técnico de Mecatrônica no ano de 2017 iniciei minha carreira técnica na indústria. No ano de 2019, ainda com intuito de me aprimorar, realizei o Enem em 2020, passei na Ufla, mas o curso de Engenharia de automação não me deixava com tempo disponível para conciliar o trabalho e o estudo. Por ser em tempo integral resolvi sair e entrar no Centro Universitário de Lavras no mesmo ano, assim consegui conciliar trabalho e faculdade.

Meu interesse em ingressar nesse curso foi me desenvolver mais profissionalmente, e conhecer novos caminhos para me direcionar, como ter uma experiência no exterior, ou me especializar em instalações industriais, conseguir abrir minha empresa e realizando o mestrado para lecionar.

2.2.2 Apresentação do Local da vivência

O meu aproveitamento profissional foi realizado em uma empresa de laticínios situada na cidade de Lavras com 440 funcionários, sendo 300 pessoas na fábrica e o restante na área comercial.

2.2.3 Apresentação do tema

Os painéis de comandos elétricos de baixa tensão são dispositivos utilizados em sistemas elétricos para controlar e distribuir energia elétrica de baixa tensão (geralmente 1000V ou menos) para diversos equipamentos e motores em instalações industriais, comerciais e residenciais. Esses painéis desempenham um papel crucial na operação segura e eficiente de sistemas elétricos, permitindo a automação de processos e a proteção de equipamentos e circuitos. A figura 12 nos mostra o painel de comando de um climatizador para exemplificar o tema desse trabalho que propõe o estudo de manutenção elétrica de painéis de comandos elétricos em baixa tensão em laticínios.

Aqui estão alguns elementos e componentes comuns encontrados em painéis de comandos elétricos de baixa tensão:

- Disjuntores: São utilizados para proteger o sistema contra sobrecargas e curtos-circuitos. Eles podem ser disjuntores de caixa moldada ou disjuntores em caixa de proteção.

- **Contatores:** São utilizados para controlar o funcionamento de motores elétricos, lâmpadas e outros dispositivos elétricos. Eles podem ser acionados manualmente, automaticamente ou por meio de sistemas de controle.
- **Relés de sobrecarga:** São usados para proteger motores contra sobrecargas elétricas, desligando o motor caso a corrente ultrapasse um limite seguro.
- **Controladores lógicos programáveis (CLPs):** São utilizados em sistemas de automação para controlar processos e sequências de operação. Eles são programáveis e executam tarefas específicas com base em lógica de controle.
- **Transformadores de corrente (TCs) e transformadores de potencial (TPs):** São usados para medir a corrente e a tensão em circuitos de alta tensão e reduzi-los a níveis seguros para medição e proteção.
- **Relés de proteção:** São dispositivos que monitoram o sistema elétrico e atuam para proteger equipamentos e circuitos contra falhas, como sobrecargas, curtos-circuitos e desequilíbrio de fases.
- **Dispositivos de controle e sinalização:** Isso inclui botões de partida, botões de parada de emergência, lâmpadas indicadoras, mostradores e medidores para monitorar e controlar o sistema.
- **Dispositivos de proteção contra surtos (DPS):** São usados para proteger o sistema contra picos de tensão, como os causados por descargas atmosféricas.
- **Dispositivos de aterramento e de proteção para evitar choques elétricos:** Garantem a segurança de quem opera e protegem contra choques elétricos.
- **Cabos e conexões:** Fornecem a ligação elétrica entre os componentes do painel e os dispositivos externos.

Os painéis de comandos elétricos de baixa tensão são projetados de acordo com as necessidades específicas de cada aplicação e seguem normas e regulamentos de segurança elétrica, como as estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no Brasil. Eles desempenham um papel fundamental na operação de instalações elétricas, garantindo a operação segura e eficiente de sistemas elétricos de baixa tensão.

A empresa onde realizei as atividades descritas nesse portfólio os painéis de comandos elétricos são responsáveis por grande parte da operação de

equipamentos como climatizadores, pasteurizadores, caldeiras, fermenteiras, entre outros. O desenvolvimento desse trabalho visa analisar e corrigir defeitos relacionados aos painéis que causam o mau funcionamento dos equipamentos e falhas de segurança a pessoas e maquinários.

2.2.4 Circuito de Emergência de sistema de climatização

A seguir a figura 12 apresenta o painel do sistema de emergência do climatizador da área de envase.

Figura 12 - Painel do climatizador da área de envase



Fonte: própria autoria (2023)

Durante as observações do funcionamento do climatizador foi verificado que a botoeira de emergência quando é acionado não desliga o sistema de climatização, só desliga os leds que indica que os inversores estão acionados. Outro detalhe, o relé falta de fase tem a ligação em serie com a botoeira de emergência, ou seja, quando é comprovado a falta de fase não ocasiona no desligamento do equipamento.

Entre as disciplinas que podemos correlacionar ao curso são: Circuitos Elétricos: foi necessário ter um entendimento sobre os inversores de frequência; Materiais Elétricos: essa disciplina foi importante para saber quais são os componentes utilizados no painel elétrico; Instalações Elétricas: essa disciplina foi importante para compreender a lógica de acionamento dos componentes elétricos, auxiliando na análise do projeto.

As botoeiras de emergência, também conhecidas como botões de parada de emergência, são dispositivos de segurança usados em instalações industriais, comerciais e em outras aplicações para permitir que os operadores interrompam rapidamente máquinas, equipamentos ou processos em situações de emergência. Elas desempenham um importante papel para prevenir acidentes e na proteção da segurança dos trabalhadores e do ambiente.

Aqui estão algumas características e informações relevantes sobre as botoeiras de emergência:

- **Funcionamento:** As botoeiras de emergência são dispositivos de ação imediata. Quando acionadas, elas interrompem imediatamente a alimentação elétrica para a máquina ou equipamento, desligando-o de forma segura. Essa ação pode ser realizada pressionando um botão de parada de emergência ou puxando uma alavanca, dependendo do tipo de dispositivo.
- **Localização estratégica:** Esses botões de parada de emergência são instalados em locais estratégicos, onde podem ser facilmente acessados em caso de necessidade. Eles são frequentemente identificados por uma sinalização de cor vermelha e geralmente possuem uma tampa protetora para evitar acionamentos acidentais.
- **Requisitos legais e normas de segurança:** A instalação de botoeiras de emergência é regulamentada por normas de segurança, dependendo do país e da indústria. Por exemplo, no Brasil, existem normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 5410 (ABNT, 2004) e a NR-12 (MTE, 2015) estabelecem diretrizes para a instalação e uso desses dispositivos.
- **Resposta rápida:** A principal característica das botoeiras de emergência é a resposta rápida. Em uma situação de perigo iminente, qualquer pessoa pode acionar o botão para parada de emergência, o que desativa imediatamente a máquina ou equipamento.
- **Resete seguro:** Após o acionamento de uma botoeira de emergência, é geralmente necessário um procedimento de resete manual para restaurar o funcionamento da máquina. Isso impede que o

equipamento seja reiniciado acidentalmente após uma situação de emergência.

- Treinamento de operadores: É importante que os operadores sejam treinados no uso correto das botoeiras de emergência, sabendo quando e como acioná-las em situações de risco. A educação em segurança é fundamental para garantir o uso eficaz desses dispositivos.

As botoeiras de emergência desempenham um papel vital na segurança do local de trabalho, prevenindo acidentes e minimizando os riscos para os trabalhadores e o ambiente. Elas são parte integrante dos sistemas de segurança industrial e devem ser mantidas em boas condições de funcionamento e inspecionadas regularmente para garantir sua eficácia.

“Botão de parada de emergência: Para acionamento da parada instantânea da máquina em caso de emergência, devendo o sistema mecânico de frenagem atuar de tal forma que elimine o movimento de inércia dos cilindros” (PEREIRA, 2015, p193).

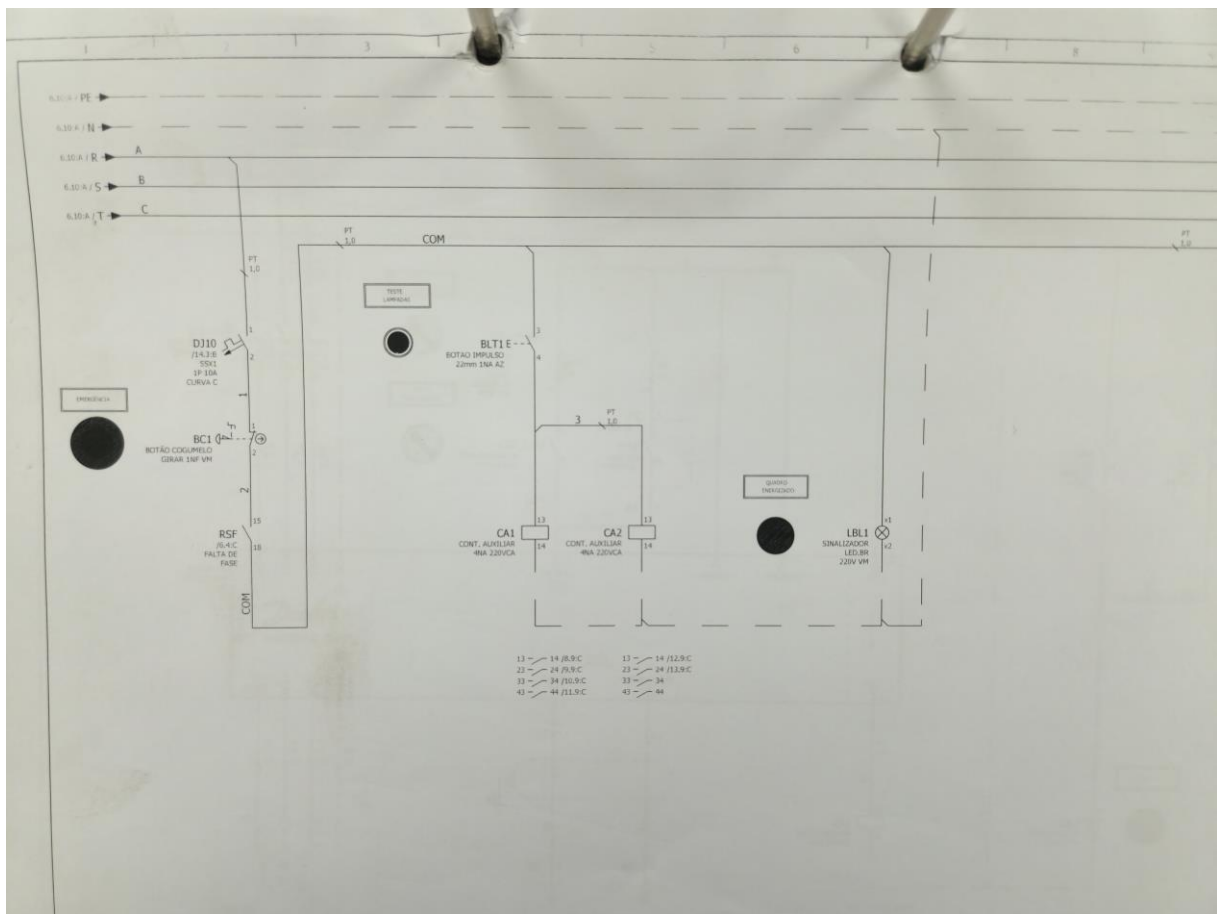
Conforme Mamede Filho (2019) dispositivos de parada de emergência devem garantir a paralização imediata da máquina em caso de emergência e devem ser alocados em pontos estratégicos, visando ao rápido acesso e à sua fácil visualização.

Relé falta de fase é responsável por supervisionar redes trifásicas onde há defasagem entre as fases de 120 graus. Deve detectar a falta de uma ou mais fases e do neutro e deve desligar um contato na existência de falta. O relé possui um retardo próximo de cinco segundos para não operar sem necessidade na partida de motores ou uma falta de fase por um instante breve (FRANCHI, 2011).

2.2.5 Projeto de sistema de emergência

A seguir a figura 13 apresenta o diagrama elétrico do sistema de emergência do painel do climatizador.

Figura 13 - Diagrama elétrico do sistema de emergência do climatizador



Fonte: própria autoria (2023)

Durante a análise do projeto técnico do climatizador foi verificado a falha da implementação do mesmo onde os contatos de segurança do painel que são: botoeira de emergência e relé de falta de fase que são responsáveis pela proteção da máquina, quando acionados atuavam somente a sinalização de emergência. Porém não retiravam de fato a alimentação dos inversores de acionamento dos motores do climatizador.

As três disciplinas correlacionadas ao tema são: Instalações Elétricas: interpretação do desenho elétrico; Materiais Elétricos: A matéria foi utilizada para analisar o que a botoeira de segurança estava desligando; Circuitos Elétricos: utilizado para compreender que o sistema de segurança só corta a energia dos leds.

A complexidade do projeto de comandos elétricos pode variar dependendo da aplicação específica. Se possível, consulte normas e regulamentos relevantes para garantir a conformidade do seu sistema elétrico. Além disso, a colaboração com outros profissionais, como engenheiros elétricos e técnicos especializados, pode ser benéfica durante o processo de projeto e implementação (LENZ, 2019).

“Em novembro de 2014, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) cancelou a norma ABNT– Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais, por entender que o setor utiliza os símbolos constantes nas normas da IEC” (ARAÚJO, 2018, p. 47)

A NBR-IEC 60439-1 (ABNT, 2003) define as principais características dos quadros de distribuição. Cabe ressaltar que, por essa norma, os quadros devem ter no mínimo grau de proteção IP2X, ou seja, todas as partes vivas devem ser inacessíveis sem o uso de ferramentas, portanto sempre deve haver a tampa ou sobreposta dos barramentos. (NERY, KANASHIRO, 2014)

2.2.6 Modificação do projeto do painel do climatizador

A seguir a figura 14 apresenta o painel do climatizador após a alteração do circuito de segurança para solução do erro de projeto. Em destaque está o componente que foi necessário instalar para adequação do projeto.

Figura 14 - Painel do climatizador após alteração do projeto



Fonte: própria autoria (2023)

Foi instalado um contator de 65A depois do disjuntor geral, assim com a bobina sendo alimentada acionada pela botoeira de segurança, facilmente inibindo a tensão do painel. O projeto de segurança em painéis elétricos é um aspecto crítico na engenharia elétrica e na gestão de instalações elétricas. Ele tem como objetivo garantir que os painéis elétricos sejam projetados, instalados e operados de maneira segura, minimizando riscos para os trabalhadores, equipamentos e o ambiente. Aqui

estão algumas considerações da norma NR-12 (MTE, 2015) e etapas importantes a serem seguidas ao projetar a segurança em painéis elétricos:

- **Avaliação de riscos:** Antes de começar qualquer projeto, é importante realizar uma avaliação completa dos riscos associados aos painéis elétricos. Identifique os perigos potenciais, como choque elétrico, incêndio, curto-circuito, sobrecarga, etc.
- **Conformidade com normas e regulamentos:** Certifique-se de que o projeto está em conformidade com todas as normas, regulamentos e códigos de segurança elétrica aplicáveis. No Brasil, a NR-10 (MTE, 2004) estabelece diretrizes para a segurança em instalações elétricas.
- **Proteção contra choque elétrico:** Utilize dispositivos de proteção, como disjuntores diferenciais residuais (DRs) e dispositivos de proteção contra sobretensão (DPS), para minimizar o risco de choque elétrico.
- **Isolamento e sinalização:** Garanta que os componentes de alta tensão sejam isolados adequadamente e que a sinalização de advertência seja aplicada conforme necessário para indicar riscos.
- **Acesso restrito:** Os painéis elétricos devem ser projetados com acesso restrito, impedindo que pessoas não autorizadas tenham contato direto com partes energizadas.
- **Proteção contra incêndio:** Considere medidas de proteção contra incêndio, como instalar extintores próximos a áreas de painéis elétricos e garantir que o painel seja construído com materiais resistentes a chamas.
- **Ventilação adequada:** Painéis elétricos podem gerar calor. Certifique-se de que haja ventilação adequada para evitar o superaquecimento e a formação de arcos elétricos.
- **Proteção contra arcos elétricos:** Em instalações de alta potência, é necessário considerar a proteção contra arcos elétricos, que podem ser extremamente perigosos. Isso envolve a escolha de equipamentos, vestuário de proteção e procedimentos específicos.
- **Bloqueio e etiquetagem:** Implemente procedimentos de bloqueio e etiquetagem para garantir que os trabalhadores possam realizar manutenção

e reparos com segurança, desenergizando os painéis elétricos quando necessário.

- **Treinamento e conscientização:** É fundamental fornecer treinamento adequado aos trabalhadores que lidam com painéis elétricos, para que saibam como operá-los com segurança e reconhecer os riscos.
- **Manutenção preventiva:** Desenvolva um programa de manutenção preventiva que garanta que os painéis elétricos estejam em boas condições de funcionamento e seguros.
- **Documentação e procedimentos de emergência:** Mantenha documentação atualizada, incluindo diagramas elétricos, listas de controle de riscos e procedimentos de emergência em caso de acidentes.

Ao projetar a segurança em painéis elétricos, é importante envolver profissionais qualificados em segurança elétrica e seguir as melhores práticas estabelecidas. A segurança elétrica é uma preocupação fundamental em qualquer instalação, e a prevenção de acidentes deve ser priorizada em todos os estágios do projeto, desde o design até a operação cotidiana.

As três disciplinas que podemos correlacionar são: Circuitos I e II: utilizado para encontrar qual a amperagem do painel elétrico. Instalações Elétricas: foi necessário para analisar como seria a melhor abordagem sem precisar fazer muitas modificações no projeto original. Eletromagnetismo: analisado o risco de arco elétrico no momento de seccionamento do contator.

O interruptor magnético tripolar opera com base na indução magnética e é projetado para interromper um circuito sob carga ou em vazio. Seu funcionamento fundamenta-se em um efeito eletromagnético originado pela ativação de uma bobina e na força mecânica gerada pelo conjunto de molas conectado à estrutura dos contatos móveis. Quando a bobina é energizada, a força eletromecânica resultante supera a força mecânica das molas, forçando os contatos móveis a se unirem aos contatos fixos, aos quais estão conectados os terminais do circuito (MAMEDE FILHO, 2021).

“A energização da bobina de um contator ou o acendimento de uma lâmpada de sinalização, por exemplo. No circuito de comando, é possível desenvolver rotinas

lógicas para processar os sinais de entrada com vistas à geração de um sinal"(GEFF FILHO, 2014, p. 15).

“A chave de controle, geralmente um contator, pode estar sujeita a uma diferença de potencial abaixo do limite mínimo necessário para manter o fechamento ou o comando de ligação, criando condições de operação indesejáveis.” (MAMEDE FILHO, 2019, p. 222).

2.2.7 Instrumentação e sistema de proteção do pasteurizador

A instrumentação em uma indústria de laticínios desempenha um papel fundamental na produção, controle de qualidade e segurança dos produtos lácteos. A instrumentação é usada para monitorar e controlar diversos parâmetros em todo o processo de fabricação de produtos lácteos, desde a recepção do leite cru até a embalagem dos produtos finais. Aqui estão algumas áreas-chave de acordo com Ribeiro (2002) onde a instrumentação desempenha um papel importante na indústria de laticínios:

- **Medição de Volume e Peso:** Instrumentação é usada para medir a quantidade de leite recebido e armazenado nos tanques de recepção.
- **Medição de Temperatura:** Sensores de temperatura monitoram a temperatura do leite para garantir que ele seja armazenado dentro dos padrões de segurança.
- **Homogeneização:** A instrumentação é usada para controlar a pressão e a mistura durante o processo de homogeneização para garantir a uniformidade do produto.
- **Pasteurização:** A temperatura é monitorada e controlada durante a pasteurização para garantir a eliminação de microrganismos patogênicos.
- **Controle de pH e Temperatura:** Sensores de pH e temperatura são usados para monitorar e controlar as condições ideais para a fermentação e coagulação de produtos como iogurte e queijo.
- **Medição de Pressão e Fluxo:** Instrumentação é usada para controlar o fluxo de líquidos e separar componentes como creme e soro de leite.
- **Medição de Peso:** Instrumentos de medição de peso garantem que a quantidade correta de produto seja envasada em cada recipiente.

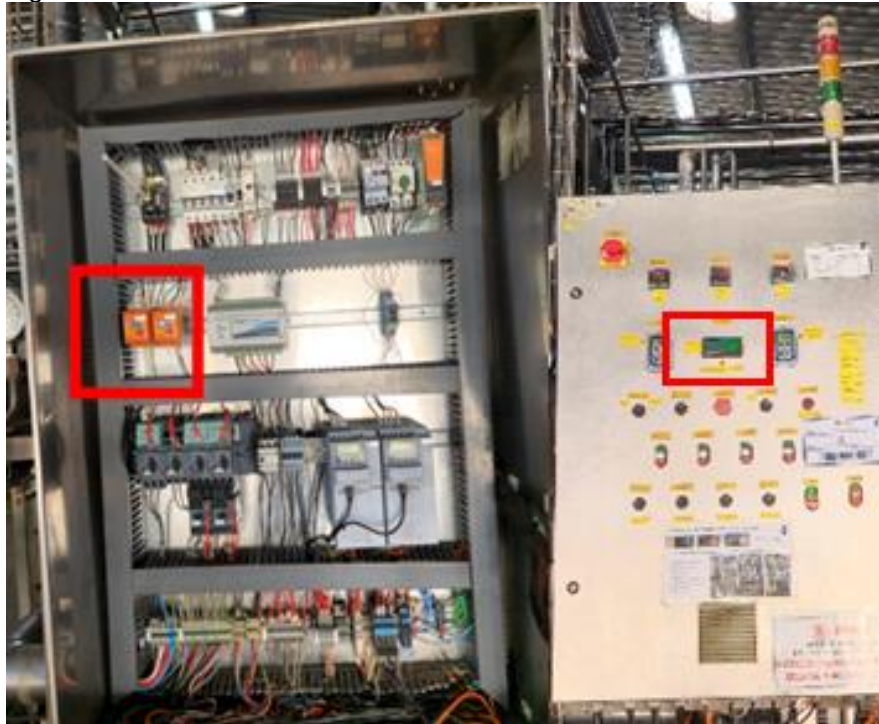
- **Detecção de Metais:** Detectores de metais são usados para garantir que não haja contaminação por objetos metálicos nas embalagens.
- **Análise de Componentes:** Instrumentação analítica, como espectrofotômetros, é usada para medir componentes como gordura, proteína e sólidos totais nos produtos lácteos.
- **Análise Microbiológica:** Testes microbiológicos monitoram a qualidade e segurança microbiológica dos produtos.
- **Sistemas de Controle:** Controladores programáveis e sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são usados para automatizar e controlar os processos de fabricação.
- **Sensores e Atuadores:** Sensores de temperatura, pressão, nível e fluxo são utilizados em conjunto com atuadores para garantir o funcionamento eficiente dos equipamentos.
- **Tecnologia de Código de Barras e RFID:** A instrumentação é usada para rastrear a origem do leite e acompanhar o processo de produção, permitindo a rastreabilidade dos produtos.
- **Segurança Alimentar:** Sistemas de monitoramento contínuo garantem a segurança dos produtos, identificando qualquer desvio dos padrões de qualidade.

A instrumentação desempenha um papel crítico na otimização da produção, garantindo a qualidade dos produtos e cumprindo regulamentações rigorosas de segurança alimentar na indústria de laticínios. Isso não só melhora a eficiência e a consistência da produção, mas também ajuda a garantir a segurança dos produtos finais para os consumidores.

A seguir a figura 15 apresenta o painel de um pasteurizador com alarme de operação ativo devido curto-circuito na saída do controlador de pressão diferencial. A pressão diferencial no pasteurizador é importante para garantir a qualidade do produto e a segurança do equipamento na ocorrência de obstruções e rompimentos de tubulações. O controlador de pressão diferencial faz o monitoramento em dois pontos, na entrada e saída da linha de pasteurização. As tomadas de pressão estão conectadas aos conversores e estes por sua vez geram um sinal de 4-20mA para o

controlador. Em vermelho na figura 15 são os conversores de sinal para o controlador.

Figura 15 - Conversores de sinal e controlador



Fonte: própria autoria (2023)

No controlador a indicação de pressão diferencial está dentro da faixa correta de trabalho, porém é possível verificar que o mesmo apresentava alarme na saída digital de pressão fora da faixa de trabalho. Conforme vemos os sinais de entrada do controlador encontram-se dentro do limite definido. A saída digital de defeito apresentava acionamentos indevidos. Após análise do circuito da saída digital foi identificado que o contato deveria trabalhar com sinal em nível baixo de tensão, ou seja, zero volts. Durante os testes realizados, foi verificado no controlador que o nível tensão no comum da saída digital era alto, ocasionando em má operação do controlador e constante queima do mesmo. Após a adequação do circuito com sinal em nível baixo de tensão na saída digital do controlador, o sistema de proteção do pasteurizador passou a atuar corretamente.

As três disciplinas que podemos correlacionar são: Fenômenos dos Transportes: os instrumentos são utilizados para calcular um diferencial resultado em um algoritmo lógico que não pode variar muito, alegando que não está em falha,

atestando que o controlador está em equilíbrio, se não gerar o alarme. Circuitos Elétricos: necessário para ter um entendimento entre a fonte e o controlador de diferencial. Materiais Elétricos: estudo e corporação do controlador, para saber como ele atua e como é feita essa análise.

Controlador automático tem a missão de manter a variável do processo sob controle, ou seja, dentro de uma faixa de valores. Para tanto, deve ser capaz de produzir um sinal de controle, que anule os eventuais desvios decorrentes de perturbações verificadas no processo (CAMARGO, 2014, p.56).

O sistema de medição de vazão mais comumente utilizado, que emprega uma placa de orifício, apresenta uma característica não linear. A pressão diferencial gerada pela restrição é proporcional ao quadrado da vazão medida. Outro exemplo de medidor não linear é o tipo alvo, onde a força de impacto é proporcional ao quadrado da vazão. (RIBEIRO, 2002).

O diferencial de pressão, ou seja, as duas tomadas de pressão são ligadas a um medidor diferencial de pressão (elemento secundário) com um tipo de foles com enchimento de líquido (CASTELETTI, 2018).

2.2.8 Sensores na indústria de laticínio

De acordo com Smith (2008) os sensores de posição são dispositivos que detectam a posição de um objeto ou de uma superfície em relação a algum ponto de referência. Eles são amplamente usados em várias aplicações industriais, automotivas, aeroespaciais e de automação para controlar o movimento de máquinas, realizar medições precisas e fornecer informações críticas para o funcionamento de sistemas. Aqui estão alguns tipos comuns de sensores de posição:

- Os potenciômetros são dispositivos resistivos que produzem uma mudança na resistência elétrica quando um cursor se move ao longo de um elemento resistivo. A posição do cursor é usada para determinar a posição do objeto.
- Os codificadores rotativos são dispositivos que convertem o movimento rotativo em um sinal elétrico que representa a posição angular. Eles são amplamente usados em motores, máquinas CNC e sistemas de controle de movimento.

- Os sensores magnéticos detectam a posição com base nas mudanças no campo magnético. Isso inclui sensores Hall, sensores de efeito magnetoestrictivo e sensores baseados na tecnologia Magnetoresistive.
- Sensores indutivos detectam a presença ou a proximidade de um objeto metálico. Eles podem ser usados para detectar a posição de objetos metálicos em uma variedade de aplicações.
- Os LVDTs são dispositivos que medem deslocamentos lineares com alta precisão. Eles consistem em um núcleo móvel e três bobinas, permitindo medições altamente precisas.
- Os sensores ultrassônicos são emissores de ondas sonoras e capazes de medir o tempo que leva para o som refletir de volta para o sensor. Isso é usado para determinar a distância do sensor ao objeto, o que pode ser usado para inferir a posição.
- Sensores ópticos utilizam luz para detectar a posição de objetos. Isso inclui sensores de barreira óptica e sensores de posição baseados em princípios ópticos.
- Os sensores de efeito piezoelétrico usam cristais piezoelétricos para gerar um sinal elétrico em resposta a deformações mecânicas. Isso pode ser usado para medir posições muito precisas.
- Os codificadores lineares medem o deslocamento linear de um objeto e convertem isso em um sinal elétrico que representa a posição.
- Os sensores de inclinação detectam a inclinação ou a posição angular de um objeto em relação à gravidade. Eles são comuns em aplicações como níveis, bússolas eletrônicas e drones.

Esses são apenas alguns exemplos de sensores de posição. A escolha do sensor de posição adequado depende da aplicação específica, da faixa de medição necessária, da precisão desejada e das condições ambientais em que o sensor será usado. Sensores de posição desempenham um papel crítico em sistemas de controle, automação e medição, melhorando a eficiência e a precisão das operações em diversas indústrias.

Como exemplo durante a realização das atividades vimos a falha no acionamento de uma máquina de corte hidráulico de madeira. A figura 16 apresenta um sistema elétrico do equipamento e uma visão geral.

Figura 16 - Sistema elétrico da máquina de corte hidráulico de madeira



Fonte: própria autoria (2023)

Durante a observação foi verificado que o motor da máquina acionava, porém, não realizava o corte conforme comando do painel elétrico. Após análise do esquema de ligação e análise em campo dos sensores de posição do equipamento foi verificado a falha no sinal do fim de curso da proteção da área de prensagem e corte. Após uma avaliação foi detectado uma alta resistência no contato do fim de curso. Devido à alta resistência do contato a queda de tensão estava sobre o mesmo causando falha na detecção da posição da proteção. Para sanar esse defeito foi realizado uma vistoria em todos os fins de curso da máquina e realizado a troca dos que apresentaram alta resistência de contato.

As três disciplinas que podemos correlacionar ao tema são: Instalações Elétricas: análise do diagrama unifilar; Física: utilizado para realizar as medições corretas no multímetro; Circuitos Elétricos: compreender se pode substituir o fim de curso por um sensor indutivo.

Os interruptores fins de curso mantêm os contatos elétricos separados (normalmente abertos), o que provoca uma interrupção no circuito elétrico. Quando é pressionada, os contatos elétricos se juntam e permitem que a passagem de sinais elétricos esteja conectada aos seus terminais (CAMARGO, 2014).

O método predominante de medição de vazão, utilizando uma placa de orifício, exibe uma não linearidade, uma vez que a pressão diferencial resultante da restrição é proporcional ao quadrado da vazão. Um caso semelhante de não linearidade ocorre no medidor do tipo alvo, em que a força de impacto é proporcional ao quadrado da vazão medida. (FRANCHI, 2011).

As chaves auxiliares fim de curso são dispositivos úteis na reversão da rotação dos motores trifásicos. Elas são equipamentos auxiliares de comando e podem ser utilizadas para comandar válvulas solenoides, contadores e circuitos de sinalização (FERREIRA, 2018).

3 AUTOAVALIAÇÃO

3.1 Autoavaliação de Bruno Sousa Madureira de Andrade

Durante a minha vivência profissional aprendi o funcionamento de uma empresa de laticínio tanto na produção quanto na manutenção, aprendi como é o conceito de manutenção preventiva e corretiva. Como eletrônico participei de projetos e implantação de melhorias, assim durante minha vivência consegui ir além de um simples eletrônico, correlacionando a teoria com a prática, me desenvolvendo ainda mais tendo em vista a minha performance.

Entre as manutenções conseguir desenvolver um raciocínio dinâmico para solucionar problemas com curto prazo, conseguindo elaborar diversas soluções para o mesmo propósito. Sobre a análise de projeto tive o papel de encontrar os defeitos e erros de segurança e falhas nos componentes elétricos.

3.2 Autoavaliação de Rodrigo Flávio Pereira

Durante o período de realização do curso de engenharia elétrica tive a oportunidade de aplicar em uma grande cimenteira boa parte dos conhecimentos estudados em sala de aula. Especialmente, durante as pesquisas para a realização desse portfólio pude aplicar e aprofundar meus conhecimentos na área de manutenção de máquinas elétricas de média tensão como motores, transformadores reostatos e inversores de frequência.

A partir da vivência do dia a dia da manutenção elétrica industrial tive a oportunidade de participar de vários desafios enfrentados por um engenheiro eletricitista em uma grande companhia. Dentre eles vale destacar alguns como a elaboração de cronogramas de manutenção, estudo e desenvolvimento de projetos, liderança de equipes de manutenção elétrica na realização de atividades de campo, a gestão do custo de manutenção, assim como a necessidade de um amplo e profundo conhecimento técnico na área de atuação.

Pude compreender que o engenheiro eletricitista deve estar sempre buscando conhecimento devido ao cenário dinâmico da área de atuação, constantes atualizações de normas e procedimentos e metodologias fazem parte da rotina. Por fim presenciei que a busca por conhecimentos na área de gestão de pessoas e liderança devem fazer parte de nosso crescimento profissional.

4 CONCLUSÃO

Durante o período de realização desse portfólio tivemos a oportunidade de aplicar o conhecimento adquirido na graduação e aprofundar em algumas áreas da engenharia elétrica. O agrupamento de nossas experiências nesse portfólio foi importante para amplitude desse trabalho que visou a apresentação de sistemas e metodologias de manutenção que abrange desde as centrais de comandos de motores (CMM) até os acionamentos elétricos de média tensão. A manutenção elétrica industrial se apresenta como uma das áreas de grande mercado para o Engenheiro eletricista e nosso trabalho contribui como fonte de pesquisa e experiência nessa área.

Eu, Bruno Sousa Madureira de Andrade conclui que meu objetivo de alcançar mais conhecimento e percepção do funcionamento dos projetos de uma indústria de laticínio foi alcançado. Na manutenção industrial, a ênfase recai sobre a verificação e garantia da longevidade dos equipamentos. Diversos tipos de manutenção, como preventiva, preditiva e corretiva, desempenham papéis essenciais na rotina de uma operação manufatureira, visando assegurar a máxima produtividade ao longo do tempo.

Para quem desejar utilizar esse estudo como base para novos trabalhos sugiro compreender que o pilar da manutenção é fundamental para o chão de fábrica. Além de contribuir com os resultados da empresa, o conjunto de ações garante maior vida útil aos equipamentos. Com essa visão consegui analisar e reconhecer os principais defeitos dos equipamentos e elaborar melhorias dessa forma diminuindo a indisponibilidade dos equipamentos para operação.

Eu, Rodrigo Flávio Pereira concluo que durante a realização deste portfólio pude aprofundar na manutenção elétrica em acionamentos de média tensão e propor metodologias e procedimentos para o aprimoramento das atividades realizadas nesse setor. Isso me trouxe um inestimável conhecimento não só em normas e procedimentos, mas a vivência dos desafios do Engenheiro Eletricista no dia a dia, a tomada de decisões importantes durante a realização das atividades sempre visando a segurança de pessoas e equipamentos.

Para quem deseja utilizar esse tema para realização de trabalhos acadêmicos e queira usar esse trabalho como referência deixo como sugestão o aprofundamento em normas técnicas nacionais (ABNT) e internacionais (IEEE), pois são fontes que norteiam o direcionamento de trabalhos nas áreas de engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 17094-3:2018: Máquinas elétricas girantes – Parte 3: Motores de indução trifásicos – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.
- [2] _____. **NBR 5356-1:2007: Transformadores de potência Parte 1: Generalidades**. Rio de Janeiro, 2007.
- [3] _____. **NBR 5410-1:2004: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2004.
- [4] _____. **NBR-IEC 60439-1: Conjunto de manobra e controle de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2003.
- [5] _____. **NBR 5444:1989: Símbolos gráficos para instalações elétricas prediais**. Rio de Janeiro, 1989.
- [6] ALEXANDRE, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- [7] ARAUJO, Maria M. **Desenho Técnico Aplicado à Engenharia Elétrica**. Local: Minha Biblioteca: Grupo A, 2018.
- [8] BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. 8. ed. Florianópolis: Editora: Edição do autor, 2012.
- [9] BIM, Edson. **Máquinas elétricas e acionamentos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2018.
- [10] CAMARGO, Valter Luís Arlindo D. **Elementos de Automação**. Local: Minha Biblioteca: Editora Saraiva, 2014.
- [11] CASTELETTI, Luís F. **Instrumentação Industrial**. Curso de eletrônica da escola Politec. 2023. Disponível em: <https://politecnicabr.com.br/produto/tecnico-em-eletronica/>
- [12] CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- [13] FERREIRA, Fábio I. **Instalações Elétricas**. Local: Minha Biblioteca: Editora Saraiva, 2018.
- [14] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UHMANS, S. **Máquinas Elétricas**. 7. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2014.

- [15] FRANCHI, Claiton M. **Acionamentos Elétricos**. 4 ed. local: Minha Biblioteca, (4ª edição), Editora Saraiva, 2014.
- [16] _____. **Controle de Processos Industriais: Princípios e Aplicações**. Local: Minha Biblioteca, Editora Saraiva, 2011.
- [17] _____. **Inversores de Frequência Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013.
- [18] FREITAS, Junior; Luiz, Carlos; Silva, Rafael Schincariol. **Máquinas elétricas**. 1. ed. Londrina: Editora Educacional S.A, 2018.
- [19] GEFF FILHO, Dias R.A. **Comandos Elétricos - Componentes Discretos, Elementos de Manobra e Aplicações**. São Paulo: Editora Saraiva; 2014.
- [20] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-2-1: Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)**. Geneva, Suíça, 2007.
- [21] _____. **IEC 60617: Graphical symbols for diagrams**. Geneva, Suíça, 2012.
- [22] KOSOW, Irving L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 4. ed. Porto Alegre: Editora Globo, 2000.
- [23] LENZ, Maikon L. et al. **Simbologia gráfica**. Local: Minha Biblioteca, Grupo A, 2019.
- [24] MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2017.
- [25] _____. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 5. Ed. Local: Minha Biblioteca: Grupo GEN, 2019.
- [26] _____. **Subestações de Alta Tensão**. 4. Ed. Local: Minha Biblioteca: Grupo GEN, 2021.
- [27] MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2015.
- [28] _____. **NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, 2004.
- [29] MORÁN, Angel Vazquez. **Manutenção Elétrica Industrial**. 2. ed. Salvador: Vm Editora LTDA, 2005.

- [30] NERY, Norberto; KANASHIRO, Nelson Massao. **Instalações Elétricas Industriais**. 2. ed. Local: Minha Biblioteca: Editora Saraiva, 2014.
- [31] PEREIRA, Alexandre D. **Tratado de segurança e saúde ocupacional: aspectos técnicos e jurídicos - NR 7 a NR 12**. 3. Ed. Local: Minha Biblioteca: Editora Saraiva, 2015.
- [32] RIBEIRO, Marco A. **Instrumentação**. 9. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2002.
- [33] SEN, Paresh C. **Principles of Electric Machine and Power Electronics**, 3. ed. Canadá: Editora Wiley, 2013.
- [34] SMITH, Carlos, A; CORRIPIO, Armando B. **Princípios e Prática do Controle Automático de Processo**. 3. ed. Local: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2008.
- [35] WEG – Equipamentos elétricos S.A. **Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção**. Jaraguá do Sul, 2015. Disponível em: www.weg.net