



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
CECAU - Colegiado do Curso de  
Engenharia de Controle e Automação



João Pedro de Paula Deotti Barros

**Implementação física e parametrização do relé SIMOCODE PRO V  
em uma rede de alimentação de um motor de indução trifásico**

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2024

João Pedro de Paula Deotti Barros

**Implementação física e parametrização do relé  
SIMOCODE PRO V em uma rede de alimentação de um  
motor de indução trifásico**

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Bruno Nazário Coelho

Ouro Preto

2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E  
AUTOMACAO



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**João Pedro de Paula Deotti Barros**

**Implementação física e parametrização do relé SIMOCODE PRO V em uma rede de alimentação de um motor de indução trifásico**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 09 de setembro de 2024

**Membros da banca**

[Prof.] - Bruno Nazário Coelho - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Profa.] - Regiane de Souza e Silva Ramalho (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Prof.] - Agnaldo J. R. Reis (Universidade Federal de Ouro Preto)

Bruno Nazário Coelho, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/09/2024



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Nazário Coelho, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/09/2024, às 22:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0780230** e o código CRC **D18C4041**.

**Referência:** Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.011108/2024-09

SEI nº 0780230

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163

Telefone: 3135591533 - [www.ufop.br](http://www.ufop.br)

# Resumo

Ao estudar a ampla área de motores elétricos, em geral, é possível perceber que existe uma necessidade de se utilizar algum mecanismo para realizar seu controle, partida e até proteção contra adversidades na rede, existindo diversos meios de se realizar tal feito, seja por exemplo, por um Inversor de Frequência, uma Soft-Starter ou até um Relé Inteligente, sendo esse último uma inovação no campo em questão. A busca por melhorias no controle, parametrização e monitoramento das variáveis que influenciam esse processo, tal como partida, parada, direção de rotação, regulação da velocidade, limitação da corrente de partida, proteção mecânica, proteção elétrica, entre outros, acarretou na criação de novas tecnologias capazes de proporcionar uma interface intuitiva e segura para programação, aplicação e teste nas mais diversas áreas. Tendo isso como base, o presente trabalho busca estudar a implementação de uma ferramenta nova no mercado, o SIMOCODE, um relé inteligente da marca SIEMENS, no acionamento de um motor de indução trifásico de baixa tensão, em uma planta de filtragem de rejeito, provindo de um processo de mineração. O Relé em questão está instalado em uma "gaveta", presente no CCM (Centro de Controle de Motores) da planta abordada e pode ser considerado como um facilitador no processo de reset de motores, por não haver a necessidade de extração desse módulo. Para melhor entendimento dessa implementação, é realizada uma revisão bibliográfica dos equipamentos envolvidos neste processo, como o motor utilizado, o painel CCM e, o principal dispositivo de proteção estudado neste trabalho. Além disso, também são apresentados os resultados e conclusões, após realizados toda a parametrização e comissionamento, feitos de modo a comprovar a eficiência e confiabilidade do ativo.

**Palavras-chaves:** SIMOCODE, PRO, V, relé, inteligente, motor, trifásico, implementação, parametrização, TIA, PORTAL, CCM, planta, industrial.

# Abstract

*While studying the enormous field of electric motors, in general, it is possible to perceive the need for using some mechanism to control, start and even protect them against some adversities with several approaches available to accomplish this, such as an Frequency Inverter, a Soft Starter, or even an Intelligent Relay, the last one being an innovation in the field. The pursuit of improvements in control, parameter setting, and monitoring of the variables that influence this process, such as starting, stopping, rotation direction, speed regulation, starting current limitation, mechanical protection, electrical protection, among others, has led to the creation of new technologies capable of providing a intuitive, and safe interface for programming, implementation, and testing in various areas. Based on this, the present work aims to study the implementation of a new tool on the market, the SIMOCODE, an intelligent relay from the SIEMENS brand, in the operation of a low-voltage three-phase induction motor in a waste filtering plant, derived from a mining process. The relay in question is implemented in a "drawer" located in the Motor Control Center (MCC) of the discussed plant and can be considered a facilitator in the motor reset process, as there is no need to extract this module. To understand this implementation, a literature review is conducted on the equipment involved in this process, such as the motor used, the MCC panel, and the main driving device studied in this work. In addition, the results and conclusions are also presented after conducting all parameter setting and commissioning, carried out to demonstrate the efficiency and reliability of the asset.*

**Key-words:** *SIMOCODE, PRO, V, relay, smart, motor, three-phase, implementation, parameterization, TIA, PORTAL, MCC, plant, industrial.*

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Conjunto de ferramentas proporcionadas pelo pacote TIA Portal. SIEMENS (2023). . . . .	14
Figura 2 – Exemplo de motor de indução trifásico. WEG (2023). . . . .	15
Figura 3 – CCM da planta de filtragem de rejeitos na qual foram realizados os testes. Autor (2023). . . . .	15
Figura 4 – SIMOCODE PRO V - Comunicação via PROFIBUS DP. Tokopedia.net (2023) . . . . .	16
Figura 5 – Exemplos de módulos para obtenção de dados. mecnc (2023); . . . . .	17
Figura 6 – Campo magnético de um ímã permanente em barra. Petruzella (213). . . . .	20
Figura 7 – Exemplo de motor CA e motor CC. Blog Automação e Tecnologia (2017). . . . .	22
Figura 8 – Alguns dos componentes internos de um motor de indução trifásico. Eletroval (2023). . . . .	23
Figura 9 – Exemplo de Inversor de Frequência. Autor (2023). . . . .	25
Figura 10 – Exemplo de Soft-Starter. WEG (2023). . . . .	25
Figura 11 – Alguns exemplos de relés fornecidos pela empresa. SIEMENS (2023). . . . .	26
Figura 12 – Exemplo de CCM. WEG (2023). . . . .	28
Figura 13 – Esquemático padrão para implementação do SIMOCODE PRO V em partida direta. SIEMENS (2023). . . . .	32
Figura 14 – Diagrama P&ID do motor instalado em campo, conectado ao processo. AngloGold Ashanti - CDSII e editado pelo Autor (2023). . . . .	33
Figura 15 – Saída do CLP para os hubs de I/O's passando pelo hub. AngloGold Ashanti - CDSII (2023) . . . . .	34
Figura 16 – Saída do HUB para a gaveta onde está implementado o SIMOCODE PRO V. AngloGold Ashanti - CDSII e editado pelo Autor (2023). . . . .	35
Figura 17 – Coluna de gavetas do CCM onde o equipamento está instalado. AngloGold Ashanti - CDSII e editado pelo Autor (2023). . . . .	35
Figura 18 – SIMOCODE PRO V montado na gaveta. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	36
Figura 19 – Módulo Safety montado dentro da gaveta. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	37
Figura 20 – Módulo de Fuga à terra montado dentro da gaveta. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	37
Figura 21 – Ligação do relé para o campo, local onde o motor está instalado - 2. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	38
Figura 22 – Topologia de rede partindo CLP para a gaveta do SIMOCODE PRO V da 1696-BA-036A. AngloGold Ashanti (2023). . . . .	48

Figura 23 – Topologia de rede partindo CLP para o próprio SIMOCODE PRO V da 1696-BA-036A. AngloGold Ashanti (2023). . . . .	48
Figura 24 – Dispositivos montados e conectados por barramento na gaveta. AngloGold Ashanti (2023). . . . .	49
Figura 25 – Parâmetros de Sobrecarga. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	50
Figura 26 – Parâmetros de Rotor desbalanceado ou travado. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	51
Figura 27 – Parâmetros das funções de monitoramento para limite superior e inferior de operação do motor. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	51
Figura 28 – Parâmetros das funções de monitoramento para limite inferior de tensão do motor. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	52
Figura 29 – Parâmetros das funções de monitoramento para número de partidas realizadas. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	53
Figura 30 – Parâmetros das funções de monitoramento para número de fugas a terra (internas) detectadas. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	54
Figura 31 – Parâmetros das funções de monitoramento para número de fugas a terra (externas) detectadas. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	55
Figura 32 – Símbolos de Equipamentos de P&ID. Edraw (2023). . . . .	61
Figura 33 – Símbolos de Válvulas P&ID. Edraw (2023). . . . .	61
Figura 34 – Símbolos P&ID de Linhas Tubulares. Edraw (2023). . . . .	62
Figura 35 – Símbolos de Instrumentos P&ID. Edraw (2023). . . . .	62
Figura 36 – Letra Identificadora de cada componente. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	63
Figura 37 – Simbologia Projetos Elétricos - 1 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	63
Figura 38 – Simbologia Projetos Elétricos - 2 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	64
Figura 39 – Simbologia Projetos Elétricos - 3 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	64
Figura 40 – Chart do bloco SIMOCODE no software PCS7 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	65
Figura 41 – Chart do bloco SIMOCODE no software TIA PORTAL V15.1 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	66

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Definição dos valores de proteção contra sobrecarga. AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	40
Tabela 2 – Definição dos valores de proteção contra rotor desbalanceado . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	41
Tabela 3 – Definição dos valores de proteção contra motor travado . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	41
Tabela 4 – Definição dos valores das funções de monitoramento contra limite superior de funcionamento . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	43
Tabela 5 – Definição dos valores das funções de monitoramento contra limite inferior de funcionamento . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	44
Tabela 6 – Definição dos valores das funções de monitoramento de quantidade de horas de funcionamento e também quantidade de partidas realizadas . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	45
Tabela 7 – Definição dos valores das funções de monitoramento de quantidade de fugas a terra . AngloGold Ashanti - CDSII (2023). . . . .	46

# Lista de abreviaturas e siglas

CCM	Centro de Controle de Motores
MCC	<i>Motor Control Center</i>
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
IHM	Interface Homem Máquina
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
ISA	<i>International Society of Automation</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
NBR	Norma (Técnica) Brasileira
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
CLP	Controlador Lógico Programável
PLC	<i>Pogrammable Logical Controller</i>
VFDs	<i>Variable Frequency Drivers</i>
IEDs	<i>Intelligent Electronic Devices</i>

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativas e Relevância</b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Materiais</b>	<b>14</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização e estrutura</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Motores Elétricos</b>	<b>19</b>
2.1.1	Princípio de funcionamento	20
2.1.2	Tipos de Motores Elétricos e suas Características	21
<b>2.2</b>	<b>Motor de indução trifásico</b>	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>Partida de Motores</b>	<b>23</b>
2.3.1	Desafios	23
2.3.2	Partida Direta	24
2.3.3	Partida Estrela Triângulo	24
2.3.4	Inversor de frequência	24
2.3.5	Soft Starter	25
<b>2.4</b>	<b>Relés Inteligentes</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Centro de Controle de Motores</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>PROTEÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS: ELEMENTOS-CHAVE E JUSTIFICATIVA DE NECESSIDADE</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>A real necessidade de Proteção dos ativos</b>	<b>29</b>
3.1.1	Fontes de Distúrbios	29
<b>3.2</b>	<b>Elementos-chave para Proteção</b>	<b>29</b>
3.2.1	Detecção de Barras Rompidas no Rotor	30
3.2.2	Proteção Térmica	30
3.2.3	Detecção de Arco Voltaico	30
3.2.4	Monitoramento de fuga a terra	31
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS DA PARAMETRIZAÇÃO DO SIMOCODE PRO V</b>	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Definição de parâmetros</b>	<b>39</b>
<b>5.2</b>	<b>Programação via Software e implementação na rede</b>	<b>47</b>

<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>6.1</b>	<b>Inovação e eficiência operacional . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>6.2</b>	<b>Interface Intuitiva e Implementação Simplificada . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>6.3</b>	<b>Custo e Benefício proveniente . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>6.4</b>	<b>Importância dos Dados na Automação Industrial . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>6.5</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros . . . . .</b>	<b>58</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO A – LEGENDA DIAGRAMA P&amp;ID . . . . .</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO B – LEGENDA PROJETO ELÉTRICO . . . . .</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO C – CHART'S . . . . .</b>	<b>65</b>

# 1 Introdução

No campo da Automação Industrial existem diversos ativos necessários para se desenvolver um sistema, dentre eles, um dos que possui o maior destaque, é o motor elétrico. Estimativas apontam que o mercado global de motores elétricos, abrangendo diversas categorias, atinja uma cifra anual aproximada de dezenas de bilhões de dólares. No contexto específico dos acionamentos industriais, é avaliado que a faixa de 70% a 80% da energia elétrica consumida pelas indústrias seja convertida em energia mecânica por meio de motores elétricos. Esses números refletem a significativa importância e adoção desses dispositivos e destacam o seu papel fundamental na eficiência energética do setor industrial [Franchi \(2008\)](#).

Ao estudar a fundo tais dispositivos, entende-se que é necessário acioná-los de alguma forma, visto que possuem algumas necessidades consideradas básicas para vencerem seu momento de inércia. Em adicional a isso, assegurar o correto acionamento e a proteção adequada de motores desempenha um papel de extrema importância tanto do ponto de vista econômico quanto operacional no contexto industrial. Isso se deve ao fato de que eventuais problemas nessas unidades podem resultar em interrupções indesejadas nos processos produtivos, acarretando prejuízos financeiros significativos. Nesse sentido, a implementação de medidas eficientes para o controle e salvaguarda desses motores é crucial para garantir a continuidade das operações em geral e maximizar a lucratividade. Por isso, novas tecnologias ou até tecnologias antigas, porém que contam com cada dia mais inovações, são procuradas pelas empresas do ramo de automação industrial. Sabendo disso, uma das estratégias fundamentais para assegurar a proteção de motores é a utilização dos Centros de Controle de Motores (CCM). Esses centros desempenham um papel crucial ao proporcionar não apenas segurança operacional para os motores, mas também viabilizar manobras eficientes, aprimorando a operação de todo o sistema. Ao possibilitar a ágil detecção de problemas relacionados ao acionamento, os CCMs contribuem diretamente na redução dos tempos de parada e dos custos associados à manutenção corretiva. Em decorrência disso, os benefícios são expressivos, resultando em maior confiabilidade dos processos produtivos, aumento da produtividade e otimização dos recursos financeiros investidos na manutenção.

Em busca de tecnologias que acrescentassem a esse meio, as grandes empresas iniciaram o desenvolvimento dos chamados relés inteligentes, que mesmo sendo novos no mercado (lançamento por volta do ano de 2017) já estão ganhando destaque na indústria, visto que o mesmo representa um avanço significativo ao possibilitar o controle completo de todos os aspectos relacionados ao funcionamento do motor. Esses dispositivos oferecem informações detalhadas sobre o estado do motor, tornando possível a prevenção de falhas

e a detecção ágil de erros. Por meio dessa tecnologia, é viável aprimorar a eficiência dos processos fabris, minimizando as chances de paralisações não programadas, uma vez que fornece dados cruciais que permitem o planejamento antecipado das manutenções necessárias. Além disso, a capacidade de tomar decisões embasadas em informações precisas é aprimorada, contribuindo para o aumento da produtividade e para a otimização das operações industriais.

## 1.1 Justificativas e Relevância

O contexto industrial está em constante evolução, acompanhando o crescimento econômico e a demanda produtiva crescente. Nesse cenário, a necessidade de manter a operação contínua e de agilidade na resolução de problemas operacionais torna-se cada vez mais premente. O tema abordado neste trabalho se torna relevante, uma vez que busca garantir a produtividade sistemática em um mundo cada vez mais tecnológico se tornou um ponto fundamental no meio industrial.

Além dessa motivação intrínseca, é importante destacar que a área de relés inteligentes ainda apresenta lacunas em termos de pesquisas e trabalhos desenvolvidos. Embora a tecnologia de relés inteligentes tenha sido reconhecida como uma solução promissora para o gerenciamento de motores e o aumento da eficiência industrial, ainda são poucos os estudos que exploram profundamente o seu potencial e aplicação prática. A carência de pesquisas nesse campo ressalta a importância deste trabalho em contribuir para o avanço do conhecimento nessa área específica.

Dessa forma, além de atender às demandas do mundo industrial em constante mudança, esta pesquisa preenche uma lacuna na literatura, fornecendo informações valiosas e promovendo o entendimento abrangente dos benefícios e aplicações dos relés inteligentes. Ao pesquisar essa área de estudo ainda pouco explorada, esta pesquisa busca impulsionar a implementação de soluções avançadas para garantir a produtividade e a eficiência nas indústrias do futuro.

## 1.2 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo sobre a utilização de relés inteligentes na partida e proteção de motores, com ênfase no SIMOCODE PRO V, foi adotada uma metodologia abrangente, envolvendo diversas etapas.

Inicialmente, foi conduzida uma revisão bibliográfica, com a busca de artigos, livros e trabalhos acadêmicos relevantes nas áreas de relés inteligentes, partida e proteção de motores e relés inteligentes. Essa revisão permitiu estabelecer as bases teóricas para o estudo e identificar o estado atual do conhecimento na área.

Após essa revisão, foi feito um aprofundamento em todos os componentes utilizados na montagem desse circuito, desde sua alimentação, ligações, até a seu destino final: o motor elétrico.

Em seguida, foi realizado um levantamento detalhado de falhas comuns em motores e das principais demandas enfrentadas na área de manutenção industrial. Esses dados foram obtidos através de análise de relatórios de manutenção e artigos que estudaram a área em questão. A compreensão desses desafios foi essencial para verificar como o SIMOCODE PRO V poderia contribuir com soluções eficazes.

Após a análise da literatura e o levantamento das demandas, foi feita uma apresentação minuciosa de todo o sistema implementado em campo, na forma física, desde sua alimentação até o componente final, incluindo sua arquitetura, funcionalidades e modos de operação. Manuais técnicos fornecidos pelo fabricante e outras documentações relevantes foram estudadas para compreender o funcionamento detalhado do sistema.

Com base em diversas análises do dispositivo implementado em um ambiente industrial, foi realizada uma revisão da programação e parametrização do relé e foi possível constatar se a mesma está de acordo com os requisitos específicos de partida e proteção de motores.

Os resultados das análises foram cuidadosamente registrados e comparados em relação aquilo que se busca atingir com uma implementação desse porte. A análise incluiu aspectos eficiência de proteção e capacidade de correção de falhas. Com base nos resultados obtidos, foram elaboradas conclusões sobre a eficácia do relé na partida e proteção de motores, bem como suas contribuições para melhorias na área de manutenção industrial.

Essa metodologia adotada proporcionou uma avaliação completa e embasada do componente de proteção em relação aos seus objetivos e aplicabilidade. Os resultados e conclusões obtidos nessa pesquisa foram apresentados no capítulo final, fornecendo informações valiosas sobre o potencial dessa tecnologia para aprimorar o acionamento de motores e otimizar a operação industrial.

## 1.3 Materiais

Todos os materiais empregados para os levantamentos, testes e pesquisa, encontram-se adequadamente dispostos e instalados na planta de filtragem de rejeitos de uma mineradora de ouro situada na localidade de Santa Bárbara. Nesta lista, encontram-se tanto os softwares utilizados para a programação do relé e sua parametrização, quanto os componentes presentes no campo. Vale ressaltar que cada um dos itens mencionados nesta relação será minuciosamente explorado e discutido ao longo deste trabalho. O intuito desta breve listagem é somente fornecer uma visão panorâmica dos referidos materiais, reservando-se para as seções subsequentes uma análise detalhada de cada elemento.

- TIA PORTAL;

O *Totally Integrated Automation Portal* (TIA Portal) é um conjunto de ferramentas e softwares fornecido pela fabricante do relé estudado, a SIEMENS. Esse pacote oferece acesso irrestrito a toda a gama de serviços de automação digitalizada, desde o planejamento digital até a engenharia integrada e operação e principalmente ao software utilizado para parametrização do relé inteligente SIMOCODE.

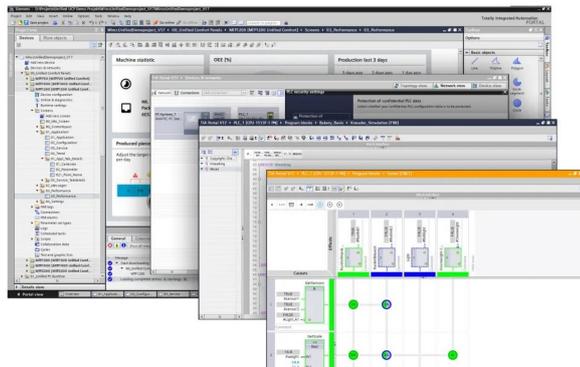


Figura 1 – Conjunto de ferramentas proporcionadas pelo pacote TIA Portal. SIEMENS (2023).

- Motor de Indução Trifásico;

O motor de indução polifásico é o mais amplamente utilizado tanto na indústria como em ambientes domésticos, devido ao fato de que os sistemas de distribuição de energia elétrica atuais normalmente são trifásicos de corrente alternada. Essa característica torna o referido motor uma escolha natural e frequente para diversas aplicações que demandam força e eficiência em diferentes setores.



Figura 2 – Exemplo de motor de indução trifásico. WEG (2023).

- CCM (Centro de Controle de Motores);

O Centro de Controle de Motores (CCM) é uma espécie de painel montado com o propósito de acomodar equipamentos de proteção, manobra e seccionamento de cargas elétricas. Neste painel, são conectados todos os cabos provenientes desses equipamentos. Nesse trabalho os estudos são realizados em um painel de CCM's extraíveis, que são popularmente conhecidos como gavetas.



Figura 3 – CCM da planta de filtragem de rejeitos na qual foram realizados os testes. Autor (2023).

- Relé Inteligente SIMOCODE PRO V;

O SIMOCODE PRO é um sistema inteligente de gerenciamento de motores altamente flexível, modular e independente. Especialmente desenvolvido para aplicações de baixa tensão, esse sistema é ideal para o controle preciso de motores com velocidade constante. Sua versatilidade permite uma fácil integração com sistemas de automação por meio de múltiplos protocolos de comunicação, tais como PROFIBUS, PROFINET, MODBUS RTU e ETHERNET/IP. (Siemens, 2023).



Figura 4 – SIMOCODE PRO V - Comunicação via PROFIBUS DP. Tokopedia.net (2023)

- Módulos de obtenção de dados;

Os módulos para obtenção de informações são dispositivos utilizados em sistemas elétricos para monitorar e identificar condições anormais de corrente elétrica ou vazamento de corrente para a terra, sendo esses os casos mais comuns, podendo haver outros tipos. Esses módulos desempenham um papel crucial na proteção de equipamentos elétricos, na prevenção de riscos de choque elétrico e na detecção precoce de falhas no isolamento.



Figura 5 – Exemplos de módulos para obtenção de dados. mecnc (2023);

## 1.4 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo aprofundado de um equipamento alternativo para controle e proteção de motores de baixa tensão, abrangendo todo o processo desde a montagem da parte elétrica até os testes finais de eficiência e integridade. A pesquisa visa compreender o funcionamento desse método, bem como sua implementação em campo e parametrização, a fim de explorar suas vantagens e viabilidade como opção de partida para motores de baixa tensão.

Outro objetivo desse trabalho é contribuir para o avanço do conhecimento na área de relés inteligentes para aplicação em contexto industrial e principalmente para funcionar como um material de auxílio para aqueles que pretendem implementar o relé SIMOCODE PRO V em uma planta industrial.

## 1.5 Organização e estrutura

Este trabalho apresenta um estudo que aborda as áreas necessárias para entendimento sobre a utilização de relés inteligentes na partida e proteção de motores, com foco especial no SIMOCODE PRO V. O trabalho é dividido em seis capítulos, nos quais são abordados diversos aspectos relacionados à aplicação e implementação dessa tecnologia inovadora na área de manutenção industrial.

O Capítulo 1 consiste na introdução, apresentando os objetivos do estudo e o contexto no qual o dispositivo será analisado.

O Capítulo 2 inicia com uma revisão de literatura, na qual são buscados artigos e livros relevantes sobre o uso de relés inteligentes em partida e proteção de motores. Nesta seção, também são levantadas informações sobre falhas e suas implicações para o campo de manutenção industrial, estabelecendo um diálogo com a proposta e objetivos almejados.

O Capítulo 3 realiza uma revisão do contexto industrial, com destaque para os

pontos chave de atenção quando se fala de proteção de motores. São exploradas as principais falhas e motivos de ocorrência bem como uma visão geral dessa área.

No Capítulo 4, é realizada uma revisão detalhada sobre a implementação de cada componente do circuito responsável pelo relé inteligente e pela partida do motor já na planta industrial. São apresentados os principais conceitos teóricos e práticos envolvidos no funcionamento do relé.

O Capítulo 5 aborda a programação e parametrização do SIMOCODE PRO V, além da descrição de como foram definidos os valores para comissionar aquele equipamento e obter uma melhor performance e automação do processo.

No Capítulo 6, são apresentados os respaldos sobre a aplicação desse relé e as conclusões obtidas. São discutidas as contribuições desse componente para a partida e proteção de motores, bem como suas implicações na área de manutenção industrial.

## 2 Revisão de literatura

A partida de motores elétricos envolve uma série de desafios, como a limitação da corrente de partida para evitar danos ao equipamento e a otimização do controle de velocidade. Autores como [FRANCHI \(s.d.\)](#) discutem as implicações da corrente de partida em sistemas elétricos, enquanto [Umans \(2014\)](#) explora os princípios de controle de velocidade em motores elétricos. Para enfrentar esses desafios, surgiram tecnologias como os Inversores de Frequência, que permitem o controle preciso da velocidade do motor ao variar a frequência da tensão aplicada. Já as *Soft-Starters*, conforme abordado por [MARTINEWSKI \(s.d.\)](#), são dispositivos projetados para suavizar a partida do motor, reduzindo o impacto da corrente de partida no sistema elétrico. Uma inovação notável é o Relé Inteligente, que incorpora recursos avançados de controle e proteção. Autores como [Coury, Oleskovicz e Giovanini \(2007\)](#) apresentam a ideia de relés inteligentes como dispositivos que combinam funções de proteção, controle e monitoramento em um único sistema. Esses dispositivos oferecem uma abordagem mais integrada e versátil para o acionamento de motores elétricos.

### 2.1 Motores Elétricos

Os motores elétricos desempenham um papel fundamental na indústria elétrica, convertendo energia elétrica em energia mecânica de maneira eficiente. Conforme destacado por [Petruzella \(2013\)](#), cerca de metade da eletricidade gerada nos Estados Unidos é consumida pelo acionamento de motores. Esses dispositivos operam por meio da interação entre campos magnéticos e correntes elétricas.

Existem duas categorias principais de motores: os motores de corrente alternada (CA) e os motores de corrente contínua (CC). Embora compartilhem partes fundamentais semelhantes, esses tipos de motores apresentam variações que os capacitam a operar com diferentes fontes de energia. A base do funcionamento de um motor elétrico está no magnetismo, onde a força magnética produz a rotação do motor.

Antes de explorarmos o funcionamento básico desses motores, é importante revisar os conceitos fundamentais do magnetismo. Um ímã permanente tem a capacidade de atrair e manter materiais magnéticos, como ferro e aço, quando estão próximos ou em contato com o ímã. Isso é possível devido ao seu campo magnético intrínseco. Na obra de referência, é explicado que as linhas de fluxo representam visualmente o campo magnético de um ímã permanente, como ilustrado pelas linhas de fluxo na Figura 5. Essas linhas auxiliam na compreensão do campo magnético, embora sejam uma representação invisível de um fenômeno magnético.

É relevante observar que a quantidade de linhas de fluxo varia de acordo com a intensidade do campo magnético, indicando a sua força. O sentido de movimento das linhas de fluxo é do polo norte para o polo sul de um ímã, conforme demonstrado no diagrama apresentado no livro utilizado como referência. Portanto, uma compreensão sólida do magnetismo é essencial para compreender o funcionamento intrínseco dos motores elétricos.

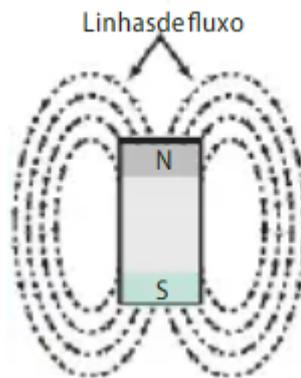


Figura 6 – Campo magnético de um ímã permanente em barra. Petruzella (213).

### 2.1.1 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento de um motor elétrico é essencialmente baseado na interação entre campos magnéticos e correntes elétricas, conforme explicado por [Roças et al. \(2012\)](#). Um motor elétrico é um dispositivo que converte energia elétrica em energia mecânica, realizando assim um trabalho útil, como a geração de movimento ou a realização de tarefas mecânicas.

No cerne do funcionamento de um motor está a interação entre ímãs e correntes elétricas. No caso dos motores de corrente contínua, um campo magnético é criado através de um ímã permanente ou de um conjunto de bobinas chamadas de enrolamento de campo. Ao passar uma corrente elétrica através dessas bobinas, um campo magnético é gerado. Por outro lado, o rotor do motor, que é a parte giratória, também possui bobinas (enrolamento do rotor). Quando uma corrente elétrica é aplicada a esse enrolamento, ocorre uma interação entre o campo magnético criado pelo enrolamento do campo e o campo magnético gerado pelo enrolamento do rotor. Isso resulta em um movimento de rotação do rotor, que é conectado a um eixo para realizar trabalho mecânico.

Nos motores de corrente alternada, o campo magnético é gerado pela corrente alternada que flui nas bobinas do estator, a parte fixa do motor. A variação da direção da corrente cria um campo magnético alternante que interage com as bobinas do rotor, induzindo um movimento giratório.

Em ambos os tipos de motores, o princípio fundamental é a interação entre os campos magnéticos gerados pelas correntes elétricas, que resulta em um movimento mecânico rotativo. Esse movimento é então utilizado para realizar uma variedade de tarefas, desde acionar máquinas industriais até girar as rodas de um veículo elétrico. Portanto, a compreensão do funcionamento desses motores é crucial para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias elétricas em diversos setores.

### 2.1.2 Tipos de Motores Elétricos e suas Características

Existem diversos tipos de motores elétricos, cada um com suas próprias características distintas e aplicações específicas, conforme discutido por [Franchi \(2008\)](#) em seu livro "Acionamentos Elétricos". Essa variedade de motores atende às necessidades de diferentes indústrias e cenários, proporcionando soluções eficientes para uma ampla gama de tarefas. Dois dos principais tipos de motores elétricos são os motores de corrente contínua (CC) e os motores de corrente alternada (CA), cada um com suas particularidades.

Os motores de corrente contínua (CC), como apontado na obra utilizada como estudo, se destacam pela simplicidade de controle e pela capacidade de fornecer um torque inicial elevado. Esses motores são frequentemente usados em aplicações que exigem ajustes finos de velocidade e torque, como em máquinas-ferramenta e equipamentos de controle de processo, conforme descrito por [Lamb \(2015\)](#). A direção do fluxo de corrente pode ser invertida facilmente, permitindo um controle preciso da rotação e do movimento do motor. Além disso, os motores CC são adequados para sistemas de regeneração de energia, em que a energia mecânica é convertida em energia elétrica durante a desaceleração do motor.

Já os motores de corrente alternada (CA), como explicado no livro "Acionamentos Elétricos", são amplamente empregados devido à sua simplicidade construtiva e à facilidade de distribuição da corrente alternada nas redes elétricas. Franchi ressalta a existência de dois tipos principais de motores CA: os motores assíncronos, também conhecidos como motores de indução, e os motores síncronos. Os motores assíncronos são os mais comuns e não requerem dispositivos de comutação complexos, o que os torna robustos e de baixa manutenção. Eles são utilizados em uma variedade de aplicações industriais, desde bombas e ventiladores até sistemas de transporte.

Por outro lado, os motores síncronos, como ressaltado no livro estudado, mantêm uma sincronia rígida entre a frequência da corrente alternada e a velocidade de rotação do motor. Isso os torna ideais para aplicações que demandam uma precisão rigorosa de velocidade, como em relógios e equipamentos de sincronização. Além disso, esses motores são usados em sistemas que exigem uma alta eficiência energética, como geradores em usinas elétricas.

Vale mencionar que tanto os motores de corrente contínua quanto os de corrente

alternada têm suas características únicas, e a escolha entre eles depende das exigências específicas de cada aplicação. Essa diversidade de tipos de motores elétricos, conforme ilustrada por Franchi (2008), oferece uma ampla flexibilidade para atender às necessidades variadas das indústrias modernas, sustentando o funcionamento eficiente de uma série de dispositivos e sistemas.



Figura 7 – Exemplo de motor CA e motor CC. Blog Automação e Tecnologia (2017).

## 2.2 Motor de indução trifásico

O motor de indução trifásico é um tipo de motor elétrico que opera com base no princípio de indução eletromagnética, conforme discutido por Franchi (2008) em "Acionamentos Elétricos". Esse tipo de motor é amplamente utilizado em diversas aplicações industriais e comerciais devido à sua confiabilidade, simplicidade de construção e baixo custo de manutenção.

O funcionamento do motor de indução trifásico é baseado na interação entre as correntes alternadas de três fases e o campo magnético girante. Inicialmente, a corrente alternada trifásica é fornecida ao estator do motor, que é a parte fixa. Essas correntes trifásicas criam campos magnéticos alternantes que giram no estator. Esse campo magnético girante interage com as barras condutoras presentes no rotor, que é a parte girante do motor.

De acordo com o princípio da indução eletromagnética, a interação entre o campo magnético girante do estator e as barras condutoras do rotor induz uma corrente elétrica no rotor. Essa corrente induzida cria um campo magnético secundário no rotor, que tenta acompanhar a rotação do campo magnético do estator. Isso resulta em um movimento rotativo do rotor, impulsionando a carga mecânica acoplada ao eixo do motor.

Uma característica notável do motor de indução trifásico é que ele inicia automaticamente quando a corrente é aplicada ao estator. Isso ocorre devido à natureza girante do campo magnético criado pelas correntes trifásicas, que gera um torque inicial mesmo sem a necessidade de dispositivos de partida especiais.

Além disso, os motores de indução trifásicos são conhecidos por sua simplicidade construtiva e baixa manutenção. Eles não possuem partes móveis eletricamente conectadas no rotor, o que reduz o desgaste e a necessidade de manutenção periódica.

Devido às suas vantagens, os motores de indução trifásicos são amplamente empregados em uma variedade de aplicações, desde sistemas de bombeamento e ventilação até máquinas industriais e sistemas de transporte. Sua eficiência, confiabilidade e capacidade de operar em uma ampla faixa de cargas tornam-nos uma escolha popular em muitos cenários industriais, assim como dizem as análises de [Franchi \(2008\)](#) sobre essa tecnologia de acionamento elétrico.

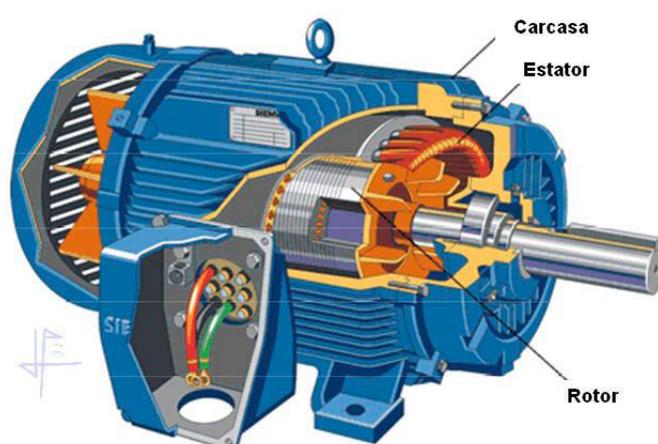


Figura 8 – Alguns dos componentes internos de um motor de indução trifásico. Eletroval (2023).

## 2.3 Partida de Motores

A partida de motores elétricos é um aspecto crucial no controle de processos industriais e automação. De acordo com [Franchi \(2008\)](#) em seu livro "Acionamentos Elétricos", a escolha do método de partida apropriado depende de vários fatores, incluindo a potência do motor, a carga acoplada ao motor, as restrições de rede elétrica e as necessidades de desempenho. A partida inadequada de um motor elétrico pode resultar em picos de corrente, vibrações excessivas, desgaste prematuro e outros problemas mecânicos e elétricos.

### 2.3.1 Desafios

A partida de motores elétricos é uma fase crítica que demanda considerações cuidadosas para evitar danos tanto ao motor quanto à rede elétrica. Durante a partida, é necessário superar desafios como o elevado pico de corrente inicial, o estresse mecânico e as quedas de tensão na rede. Esse método frequentemente requer uma corrente inicial

significativamente mais alta do que a corrente nominal de operação, o que pode causar problemas na rede elétrica e afetar a integridade dos componentes do motor. Esse pico de corrente pode levar a quedas de tensão na rede, bem como ao aquecimento excessivo do motor. Além disso, a partida direta de motores de grande porte pode resultar em choques mecânicos e desgaste prematuro de peças mecânicas.

### 2.3.2 Partida Direta

Este método é caracterizado pelo fornecimento direto de tensão total ao motor no momento da partida. Ele é simples e econômico, porém pode causar picos de corrente significativos, resultando em impactos na rede elétrica e no motor. Esse método é mais adequado para motores de pequena potência e cargas leves.

### 2.3.3 Partida Estrela Triângulo

MARTINEWSKI (s.d.) descreve a partida estrela-triângulo como uma abordagem para reduzir os picos de corrente associados à partida direta. No início, o motor é conectado em configuração estrela, reduzindo a tensão aplicada às bobinas do motor e, consequentemente, limitando o torque de partida. Após um período de tempo predeterminado ou atingindo uma velocidade específica, o motor é comutado para a configuração triângulo, fornecendo a tensão total e aumentando o torque.

### 2.3.4 Inversor de frequência

Os inversores de frequência são dispositivos eletrônicos capazes de controlar a frequência e a tensão fornecidas ao motor segundo FRANCHI (s.d.). Essa abordagem permite uma partida suave, onde a frequência e a tensão são aumentadas gradualmente, resultando em uma aceleração controlada. Isso minimiza os picos de corrente e o estresse mecânico. Além disso, os VFDs ou Unidades de frequência variável, como são mais conhecidos em português, oferecem controle de velocidade contínuo do motor, o que é útil em muitas aplicações industriais.



Figura 9 – Exemplo de Inversor de Frequência. Autor (2023).

### 2.3.5 Soft Starter

MARTINEWSKI (s.d.) menciona que os soft starters são dispositivos eletrônicos que permitem uma partida mais suave, controlando a tensão fornecida ao motor. Durante a partida, a tensão é reduzida gradualmente, o que resulta em uma aceleração mais controlada e na redução dos picos de corrente. Isso é especialmente vantajoso para motores de grande potência ou quando a carga acoplada ao motor é sensível a picos de torque.



Figura 10 – Exemplo de Soft-Starter. WEG (2023).

## 2.4 Relés Inteligentes

Relés inteligentes, segundo [Coury, Oleskovicz e Giovanini \(2007\)](#) desempenham um papel fundamental na partida e proteção de motores elétricos, proporcionando uma maneira eficaz e confiável de controlar e monitorar os motores em várias aplicações industriais, mesmo que muitas vezes sejam implementados em sistemas de partida direta. Esses relés oferecem uma combinação de funções de proteção, controle e monitoramento avançadas, tornando-os uma escolha popular em sistemas de automação industrial. Aqui estão alguns pontos-chave sobre o uso de relés inteligentes em partida e proteção de motores:

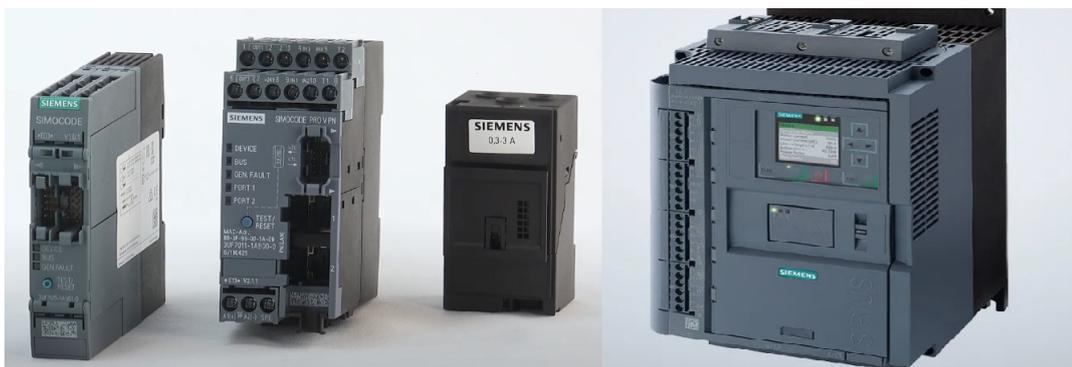


Figura 11 – Alguns exemplos de relés fornecidos pela empresa. SIEMENS (2023).

- **Proteção de Sobrecorrente:** Relés inteligentes são projetados para detectar e responder a condições de sobrecorrente, desligando o motor se uma corrente excessiva for detectada. Isso ajuda a prevenir danos ao motor e ao sistema elétrico.
- **Proteção de Sobrecarga Térmica:** Muitos relés inteligentes incorporam recursos de proteção de sobrecarga térmica, que monitoram o aumento da temperatura do motor ao longo do tempo. Se a temperatura exceder limites seguros, o relé desliga o motor para evitar superaquecimento.
- **Proteção contra Curto-Circuito:** Relés inteligentes também podem detectar curtos-circuitos e interromper a alimentação do motor para evitar danos causados por correntes extremamente altas.
- **Partida Suave:** Alguns relés inteligentes oferecem funcionalidades de partida suave, permitindo que o motor inicie gradualmente, o que reduz o impacto mecânico e elétrico durante a partida, minimizando o estresse no sistema.
- **Monitoramento de Tensão:** Esses relés podem monitorar a tensão da rede elétrica e proteger o motor contra falhas de tensão, como sub e sobretensões, que podem prejudicar o funcionamento do motor.

- **Detecção de Falha de Fase:** A detecção de falha de fase é outra função importante dos relés inteligentes. Eles podem interromper o motor quando uma das fases está ausente ou desequilibrada, evitando danos e operações inadequadas.
- **Comunicação e Monitoramento Remoto:** Muitos relés inteligentes oferecem capacidades de comunicação, como Ethernet, Modbus, ou protocolos de comunicação industrial, permitindo monitoramento e controle remotos. Isso é particularmente útil para operações de manutenção e diagnóstico.
- **Registro de Eventos:** Relés inteligentes geralmente registram eventos e informações relevantes, como falhas, proteções ativadas e condições anormais. Esses registros podem ser valiosos para análise pós-falha e melhoria do sistema.
- **Configuração Flexível:** Esses relés costumam ser altamente configuráveis, permitindo aos engenheiros ajustar parâmetros de proteção e controle de acordo com as necessidades específicas da aplicação.
- **Integração em Sistemas de Automação:** Relés inteligentes podem ser integrados em sistemas de automação mais amplos, permitindo uma coordenação eficaz com outros dispositivos e permitindo estratégias avançadas de controle e otimização.

Em suma, relés inteligentes desempenham um papel crucial na partida e proteção de motores elétricos, garantindo a operação segura e eficiente de sistemas industriais. Eles oferecem uma variedade de funções de proteção e controle avançadas, ajudando a evitar danos aos motores, minimizar interrupções no processo e melhorar a eficiência geral das operações industriais.

## 2.5 Centro de Controle de Motores

Na era da automação industrial, onde a otimização de processos e a eficiência energética são prioridades constantes, os Centros de Controle de Motores (CCMs) surgem como uma solução essencial para gerenciar sistemas complexos de acionamento de motores elétricos. Os CCMs representam um marco na evolução do controle industrial, reunindo tecnologia de ponta e funcionalidades avançadas para enfrentar os desafios cada vez mais intrincados das operações industriais modernas [Alerich e Herman \(2002\)](#).

Os CCMs podem ser compreendidos como conjuntos de dispositivos elétricos e eletrônicos interconectados, projetados para fornecer partida, controle, proteção e monitoramento centralizado de motores elétricos. Esses centros têm se mostrado cruciais em uma variedade de setores industriais, desde manufatura até petróleo e gás, oferecendo um controle mais preciso, diagnóstico avançado e capacidades de manutenção preventiva.

Walter N. Alerich, renomado autor de "Electric Motor Control" desempenhou um papel fundamental na disseminação do conhecimento sobre os CCMs. Seu livro aborda a teoria e aplicações práticas do controle de motores elétricos, incluindo uma análise aprofundada dos CCMs. Alerich explora as várias facetas dos CCMs, desde sua arquitetura e componentes internos até a forma como eles melhoram a eficiência operacional, minimizam os riscos de falhas e facilitam a manutenção.

Os CCMs oferecem uma gama de benefícios que vão além do simples controle de motores. Eles permitem a monitorização em tempo real das condições operacionais, facilitando a identificação precoce de problemas e a tomada de decisões informadas. Além disso, os CCMs contribuem para a redução do consumo de energia, uma vez que permitem o ajuste preciso da potência do motor de acordo com a demanda do processo, evitando operações em vazio ou excesso de carga.

A segurança também é aprimorada pelos CCMs, uma vez que esses sistemas podem incorporar recursos de proteção contra sobrecorrente, sobretensão, curto-circuito e outras condições anormais que podem comprometer a integridade do motor e dos sistemas circundantes.

Em conclusão, os Centros de Controle de Motores (CCMs) (exemplo na figura 12) representam um avanço notável no controle industrial e na gestão eficiente de motores elétricos. Autores como Alerich desempenham um papel fundamental ao disseminar informações sobre essa tecnologia, permitindo que empresas e profissionais aproveitem ao máximo os benefícios oferecidos pelos CCMs. Em um cenário onde a otimização operacional é vital, os CCMs se destacam como um elemento crucial na busca pela excelência industrial.



Figura 12 – Exemplo de CCM. WEG (2023).

## 3 Proteção de motores elétricos: elementos-chave e justificativa de necessidade

### 3.1 A real necessidade de Proteção dos ativos

Nos últimos anos, o termo "qualidade de energia elétrica" tornou-se essencial ao descrever as diversas características da energia fornecida pelas concessionárias aos consumidores. Esta seção explora a qualidade da energia, abordando a continuidade do fornecimento e a conformidade com parâmetros essenciais para a operação segura do sistema elétrico e das cargas. A alteração do padrão do sinal elétrico, originando distúrbios, é o foco, sendo estes distúrbios resultantes de eventos como afundamento ou elevação de tensão, interrupções, ruídos, cintilação, micro variações, transientes, desequilíbrios, redução de fator de potência e harmônicos. Como base foi tomado o artigo redigido por [Kaic Torres e Arthur Melo e Marcos Meira e Thiago Batista e Alvaro Maciel \(2020\)](#) para uma revista que busca divulgar trabalhos de alunos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB).

#### 3.1.1 Fontes de Distúrbios

Destaca-se que fontes como sistemas de retificação, fontes chaveadas, reatores eletrônicos, inversores de frequência, entre outros, geram distúrbios prejudiciais à qualidade de energia. Os impactos destes distúrbios são amplos, afetando a produtividade, segurança, economia de energia, custos de produtos, integridade de equipamentos e interferindo em dispositivos de controle.

Para minimizar esses efeitos, normas e dispositivos foram estabelecidos por órgãos nacionais e internacionais. PRODIST módulo 08 (ANEEL, 2010), IEC 61000-3-4 (IEC, 1998), IEC 61000-3-11 (IEC, 2000), NBR 5410-Anexo F (ABNT, 2004), IEEE 1159-2009, (IEEE, 2009), IEEE 519-2014 (IEEE, 2014), IEC 61000-3-3 (IEC, 2017) e IEC 61000-3-2 (IEC, 2018) são exemplos, fornecendo parâmetros de controle para proteger os sistemas elétricos dos mais diversos tipos contra distúrbios.

### 3.2 Elementos-chave para Proteção

Essa seção aborda a crucial importância de se realizar a proteção em sistemas de motores elétricos na indústria, representando aproximadamente 60% do consumo global de eletricidade industrial segundo [Fleiter, Eichhammer e Schleich \(2011\)](#). A manutenção da operação eficiente desses motores é fundamental para evitar perdas econômicas substanciais

e garantir a segurança operacional nas plantas industriais. São explorados elementos-chave na criação de sistemas avançados de proteção de motores elétricos, destacando a proteção térmica, detecção de barras rompidas no rotor e detecção de arco voltaico como fatores cruciais na busca por confiabilidade e segurança operacional. A abordagem para essas conclusões foram tomadas do artigo de [Abboud et al. \(s.d.\)](#).

### 3.2.1 Detecção de Barras Rompidas no Rotor

Uma análise aprofundada revela que 5% das falhas de motor são atribuídas a problemas na gaiola do rotor, como dito por [Pezzani et al. \(2013\)](#) em seu artigo. A condição de barra rompida no rotor, especialmente em motores com cargas de alta inércia, pode resultar em danos consideráveis e tempo fora de operação. A Motor Current Signature Analysis (MCSA) emerge como uma abordagem popular e eficaz para detectar falhas na gaiola do rotor. A utilização de relés numéricos e IEDs proporciona uma capacidade superior para a implementação desta análise, contribuindo assim para a redução dos custos de reparo e operação.

### 3.2.2 Proteção Térmica

A detecção e proteção contra condições anormais nos motores elétricos, como sobrecarga, rotor travado, partidas frequentes, entre outros, são aspectos essenciais para prevenir danos e atrasos nos processos industriais. Enquanto relés eletromecânicos mostram limitações na precisão do rastreamento das condições de aquecimento do motor, relés numéricos e dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) oferecem avanços significativos. A modelagem térmica avançada destes dispositivos, juntamente com relatórios detalhados e funcionalidades de controle, tornam-se vitais para uma proteção térmica eficaz.

### 3.2.3 Detecção de Arco Voltaico

Incidentes de arco voltaico representam uma ameaça diária nos ambientes industriais, com até 80% dos ferimentos em trabalhadores elétricos sendo causados por queimaduras externas devido à intensa energia de calor radiante de um arco elétrico segundo o artigo de [Neal e Hirschmann \(2004\)](#). Sensores de detecção de arco voltaico emergem como uma solução custo-eficiente para reduzir a energia do arco e aumentar a segurança no local de trabalho. Relés numéricos de motor, com a capacidade de utilizar diversos sensores, incluindo sensores de lentes pontuais e de fibra óptica, são apresentados como instrumentos fundamentais para esta detecção, contribuindo para a segurança das equipes de trabalho e a preservação dos equipamentos.

### 3.2.4 Monitoramento de fuga a terra

A fuga à terra, caracterizada pelo escape de corrente para o solo devido a falhas no isolamento elétrico, é um fator crítico a ser monitorado. Esta condição pode representar riscos de choque elétrico, incêndios ou danos ao equipamento. Sistemas de monitoramento de fuga à terra, integrados a relés inteligentes, oferecem uma abordagem proativa para identificar e corrigir rapidamente essa anomalia, contribuindo para a segurança operacional e proteção do sistema elétrico. Segundo [Bowen \(2011\)](#), 98% das falhas em sistemas elétricos de potência estão associadas a falhas fase-terra (monofásicas).

## 4 Implementação física

Para entender melhor como funciona uma implementação do relé inteligente SIMOCODE PRO V é apresentado (figura 13) um esquemático base, criado pela própria empresa fabricante, a SIEMENS, no qual o relé é utilizado numa ligação para partida direta do motor. Este exemplo de aplicação demonstra como um motor, deve ser conectado com o sistema de controle de processo e até um sistema de segurança, podendo assim ser ligado ou desligado de forma segura, em conformidade com os requisitos, por exemplo, para SIL 2 e SIL 3 (SIL - Nível de Integridade de Segurança, padrão: IEC 61508/IEC 62061).

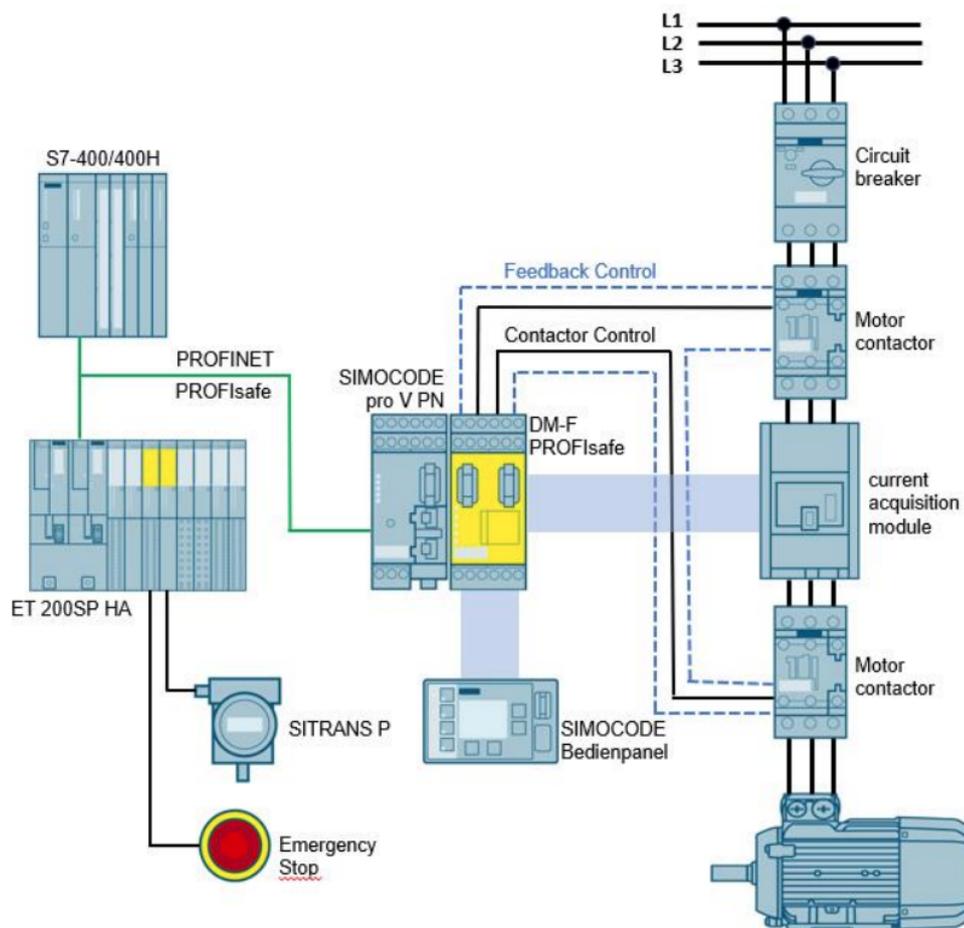


Figura 13 – Esquemático padrão para implementação do SIMOCODE PRO V em partida direta. SIEMENS (2023).

Os dados apresentados nesse trabalho foram retirados de um manual de CCM da planta de filtragem, além do diagrama elétrico do filtro em questão, locais onde foram feitas todas as pesquisas. O esquemático de ligação é bem mais complexo do que o apresentado anteriormente porém conta com módulos de expansão para as medições desejadas semelhantes aos apresentados acima e também utiliza uma CPU S7-400/400H e o SIMOCODE PRO V propriamente dito. Por ser mais difícil representar em uma única figura o sistema de ligação do relé até o motor propriamente dito, ele foi dividido em partes apresentadas a seguir, vale ressaltar que pela complexidade do processo de filtragem de rejeitos da planta, serão apresentados apenas os locais onde estão devidamente instalados os equipamentos. Para mérito de compreensão o motor acoplado a uma bomba responsável pela movimentação da água necessária no processo estudado é denominado 1696-BA-036A. Primeiramente, na figura 14 abaixo, temos o digrama P&ID do local onde o equipamento está instalado e como se localiza no processo.

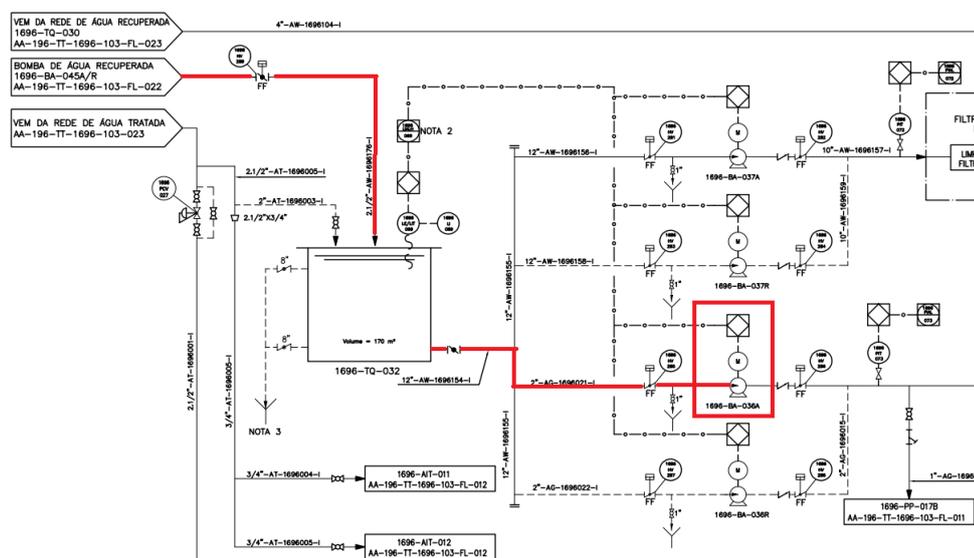


Figura 14 – Diagrama P&ID do motor instalado em campo, conectado ao processo. AngloGold Ashanti - CDSII e editado pelo Autor (2023).

Esse diagrama P&ID segue a norma ISA 5.1, a respeito de Símbolos e Identificação de Instrumentos, é usada como padrão e obrigatório no Brasil e no mundo, além disso nos anexos desse estudo existem legendas para uma melhor compreensão. Seguindo a linha destacada na cor vermelha, na imagem 15 e nas posteriores, é possível identificar de onde vem a água que será bombeada pelo equipamento 1696-BA-036A e em qual tanque será depositada. Além disso, é possível identificar a simbologia da bomba, conectada eletricamente (linha pontilhada) ao motor e também a interface de controle, nesse caso o CLP S7-400/400H que se conecta a rede (linha pontilhada com círculo vazado). Existem diversas outras informações na imagem, mas apenas essas são relevantes no momento. A seguir é apresentado a ligação via rede entre o CLP e o hub onde está localizado o Relé Inteligente, assim como sua implementação no CCM.

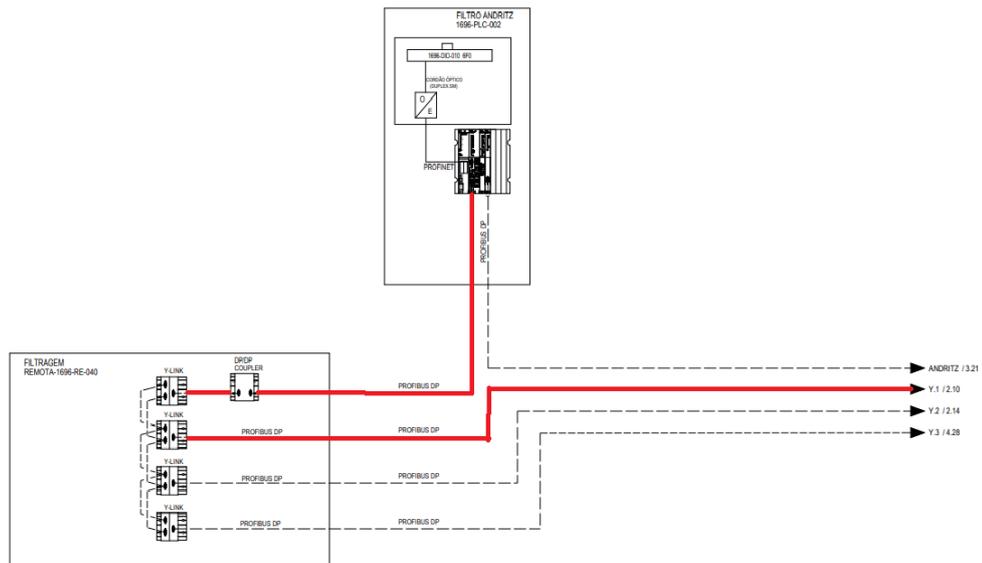


Figura 15 – Saída do CLP para os hubs de I/O's passando pelo hub. AngloGold Ashanti - CDSII (2023)

Abaixo, ao observar a imagem 16, é possível identificar a ligação feita no respectivo hub e saindo para a gaveta. Como uma explicação para melhor entendimento sobre o que é um hub, [Seixas Filho \(s.d.\)](#) diz que o dispositivo que também é conhecido como concentrador, é um dispositivo utilizado em redes de computadores para conectar vários dispositivos em uma rede local (LAN). Ele funciona na camada física do modelo OSI, segundo [Moreno \(2003\)](#), e tem como principal função receber dados de um dispositivo e transmiti-los para todos os outros dispositivos conectados a ele.

No contexto de um Centro de Controle e Monitoramento (CCM) remoto, um hub pode ser utilizado para interligar diversos equipamentos e sensores, permitindo a centralização e distribuição de dados. Isso facilita o monitoramento e controle de sistemas à distância, garantindo que todas as informações sejam transmitidas de forma eficiente para o centro de controle.

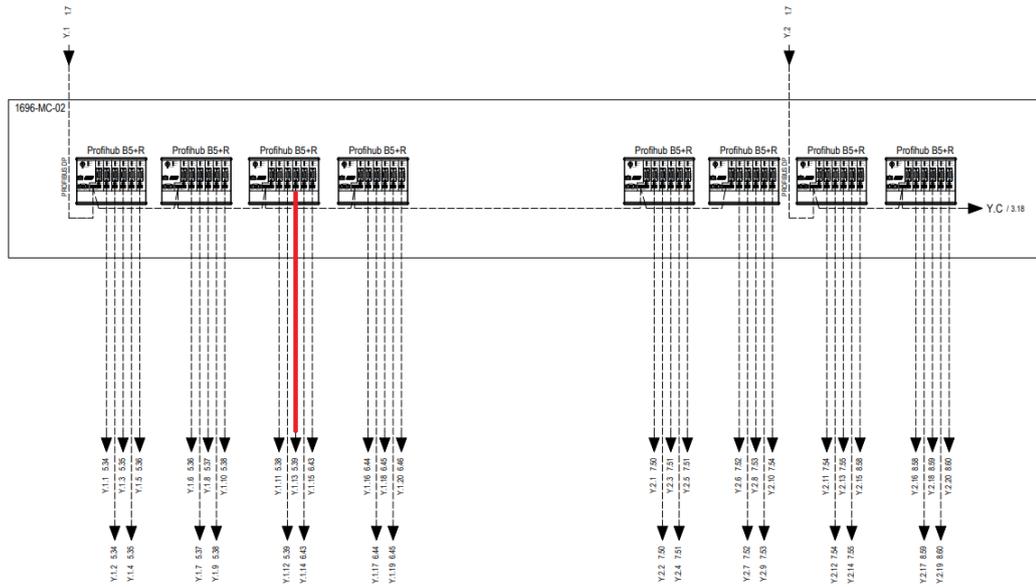


Figura 16 – Saída do HUB para a gaveta onde está implementado o SIMOCODE PRO V. AngloGold Ashanti - CDSII e editado pelo Autor (2023).

Em seguida (imagem 17) é apresentada a coluna de gavetas onde todos os relés estão instalados, vale ressaltar que essa coluna só possui relés inteligentes como equipamento para partida e controle, porém existem colunas que contam tanto com *soft starters* quanto inversores de frequência, a depender do tipo, tamanho, potência do motor e da necessidade e finalidade do equipamento. Nessa coluna ainda é possível identificar uma fonte AC/DC NCP-3200 3200W montável em rack e um disjuntor geral de 1250 A.

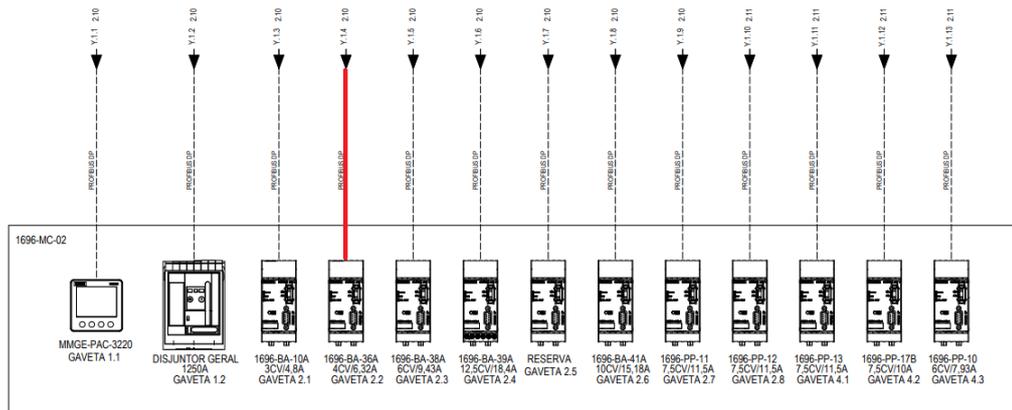


Figura 17 – Coluna de gavetas do CCM onde o equipamento está instalado. AngloGold Ashanti - CDSII e editado pelo Autor (2023).

A seguir, na imagem 18, é mostrado o esquemático do relé implementado dentro da gaveta. Este relé está conectado a diversos módulos que coletam dados específicos

e essenciais para o sistema supervisorio da planta de beneficiamento. Esses módulos permitem a aquisição de informações detalhadas sobre o desempenho e o estado dos motores, facilitando o monitoramento e controle das operações. Além disso, é possível observar o início do circuito que se estende até o campo, onde o equipamento está instalado.

Essa abordagem integrada não apenas melhora a eficiência operacional, mas também aumenta a segurança e a confiabilidade do sistema, assegurando que qualquer anomalia possa ser rapidamente identificada e corrigida.

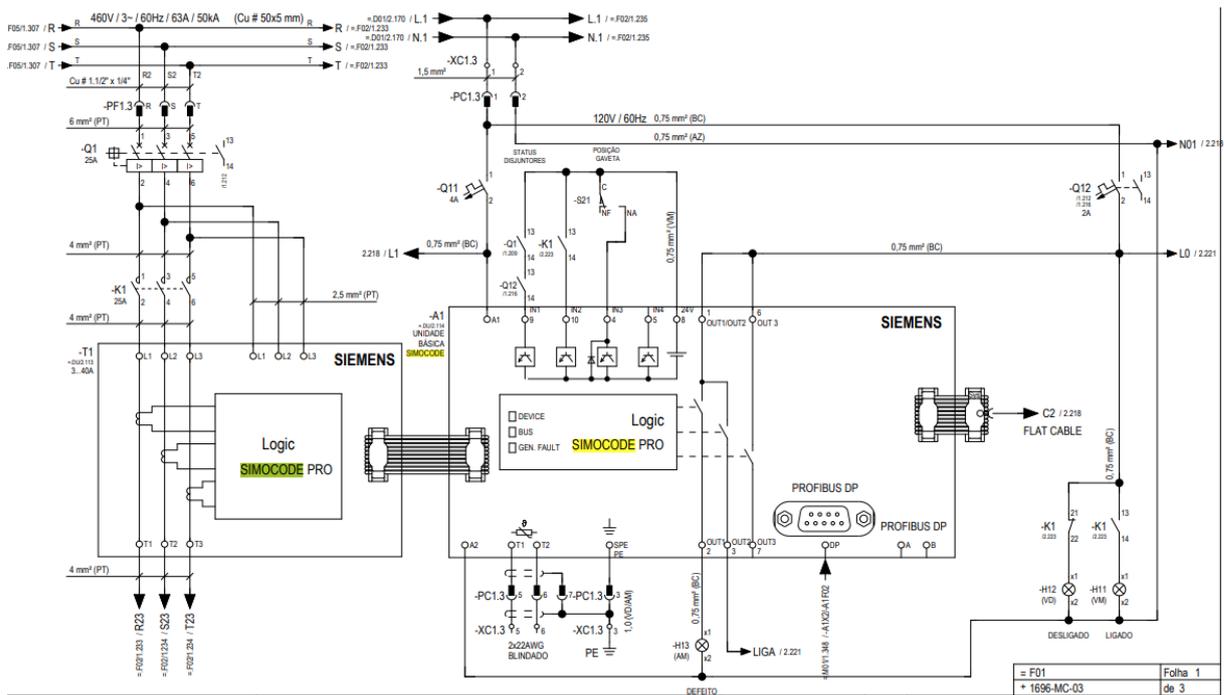


Figura 18 – SIMOCODE PRO V montado na gaveta. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

O módulo de segurança (*safety*), mostrado na imagem 19, do SIMOCODE PRO V, mais especificamente "MÓDULO DIGITAL SEGURO DM-F, TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO 110...240VCA/CC, 2 CIRCUITOS DE ENTRADA, 2 RELÉS DE SAÍDA, CATEGORIA ATÉ SIL3." apresentado abaixo, é essencial para a proteção em sistemas de automação industrial. Ele inclui funções como emergência de duplo canal, que garante a parada segura do sistema mesmo se um canal falhar, e *reset* de segurança, que exige verificação manual antes de reiniciar o sistema após uma emergência. Além disso, o módulo bloqueia contadores de forma segura, impedindo acionamentos acidentais durante falhas.

Essas funções são integradas ao sistema supervisorio via protocolo PROFIBUS (apesar de haver conversores desse protocolo para fibra óptica espalhados por alguns locais, que permitem percorrer maiores distâncias dentro da planta, com maior eficiência, economia de espaço e garantindo informações precisas, sem necessidade de repetidores por exemplo), permitindo monitoramento contínuo e ações rápidas em caso de anomalias, aumentando a segurança e a eficiência operacional. Válido lembrar que os módulos de

monitoramento de funções específicas se conectam ao módulo principal do SIMOCODE PRO V via cabo *flat*, localizado nas extremidades esquerdas e direitas da imagem.

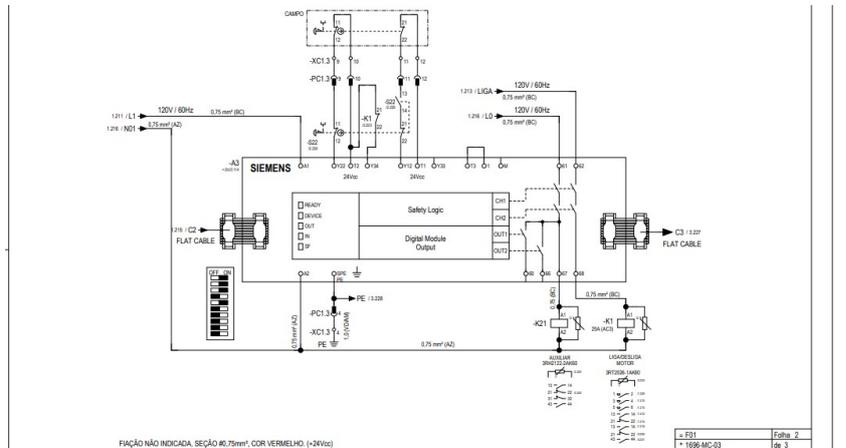


Figura 19 – Módulo Safety montado dentro da gaveta. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A seguir (figura 20) é apresentado outro módulo do SIMOCODE PRO V o "MÓDULO DE FUGA À TERRA, 1 ENTRADA P/ CONEXÃO DE TRANSFORMADOR TOROIDAL 3UL23, RANGE 30mA ... 40A". Ele detecta correntes de fuga à terra utilizando um transformador de corrente somador, que monitora a soma das correntes nos condutores. Em caso de falha, essa soma não será zero, indicando uma corrente de fuga.

Quando uma corrente de fuga é detectada, o módulo processa os dados e envia um sinal de alarme para o sistema supervisório da planta através de protocolo de comunicação PROFIBUS. Além de alertar, o dispositivo pode desligar automaticamente o motor para evitar danos maiores, garantindo a segurança e a eficiência operacional do sistema.

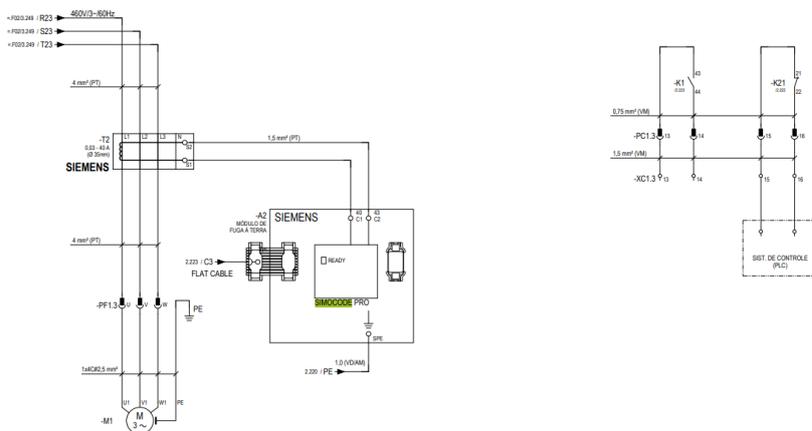


Figura 20 – Módulo de Fuga à terra montado dentro da gaveta. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A seguir, na figura 21, é possível ter uma visão mais ampla da Gaveta Extraível Nº 1.3, onde está localizado o SIMOCODE PRO V estudando nesse trabalho. É possível

observar que o dispositivo e seus módulos ficam ligados em paralelo a rede elétrica. Além disso os dispositivos citados anteriormente como a fonte e o disjuntor podem ser visualizados na forma que são instalados no circuito. Também observamos a Bomba 1696-BA-36A e suas especificações técnicas no *As Built*, como é popularmente conhecido o quem questão que trata do diagrama elétrico e de rede do sistema.

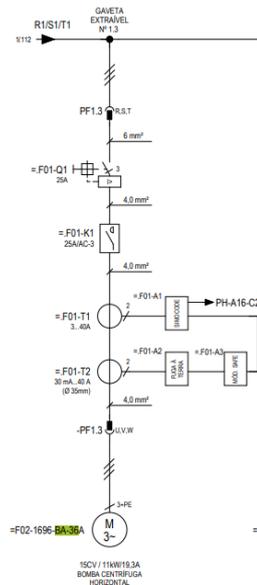


Figura 21 – Ligação do relé para o campo, local onde o motor está instalado - 2. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

Para uma melhor compreensão dos diagramas apresentados consta nos anexos do artigo legendas para P&ID e projetos elétricos. É importante ainda ressaltar alguns módulos fundamentais para obtenção de dados utilizados para proteção, próprios para plataformas SIEMENS, tais como:

- MÓDULO DE MEDIÇÃO DE CORRENTE, FAIXA DE MEDIÇÃO 3 ... 40A
- MÓDULO DE INTERFACE SIEMENS SIMOCODE PRO V PROFIBUS DP 3UF7010 ... 1AB00-0 6A/120V 3A/230V

## 5 Resultados da Parametrização do SIMO-CODE PRO V

O primeiro passo na parametrização de um relé inteligente é a definição dos parâmetros de medição tais como limite inferior e superior de funcionamento. Para o comissionamento, parametrização e implementação do SIMOCODE PRO V no equipamento 1696-BA-036A, foi feito um estudo base para definição dos valores de referência que são observados abaixo:

### 5.1 Definição de parâmetros

É importante ressaltar que para obtenção de tais dados foram levados em conta diversos fatores, tais como o manual do fabricante do motor que possui os limites de operação do mesmo, boas práticas entre outros, o manual do motor utilizado pode ser encontrado no site oficial da fabricante WEG.

A tabela 1 apresenta alguns parâmetros do equipamento de proteção, especificamente o que está conectado a rede do equipamento com TAG 1696-BA-36A e potência de 5 cv, com uma faixa de ajuste de 3 a 40 A.

A primeira linha da tabela refere-se à “Corrente Ajustada (Is1)”, com uma faixa de 3-40 A e um valor ajustado de 6,9 A. A segunda linha, “Corrente Ajustada (Is2)” varia na mesma faixa da primeira, mas não tem um valor preenchido.

A terceira linha, “Classe” tem um range de 5-40 e um valor de 15, a critério de entendimento ela refere-se ao tempo de resposta do dispositivo de proteção contra sobrecarga. A Classe 15 é geralmente usada para motores que precisam de uma proteção rápida, mas não imediata, permitindo um curto período de sobrecarga antes do desligamento para evitar danos ao motor. A classe é um valor que define quanto tempo o dispositivo levará para desligar o motor em caso de sobrecarga, dependendo da magnitude da corrente de sobrecarga. A função “Resposta no Nível de Disparo” está desabilitada.

A função “Período de Resfriamento” tem uma faixa de 0-6553 segundos e um valor definido de 600 segundos, indicando o tempo necessário para o dispositivo esfriar, impedindo de ser acionado novamente antes do fim desse tempo definido. A “Pausa” tem a mesma faixa de 0-6553 segundos, mas está registrada como 0 segundos. O “Tipo de Carga” pode variar entre trifásica ou monofásica, o valor ajustado é de uma carga trifásica. A “Resposta a nível de pré aviso” está desabilitada.

Por fim, há duas funções relacionadas aos alarmes prévios ao disparo: “Atraso do

Pré-Alarme ( $I > 1s/I >$ ), com uma faixa variável entre 0-25s, e o valor de 25 atribuído. A função *reset* pode ser manual ou automática, com o valor manual preenchido, de modo que apenas realizando uma ação o sistema pode ser re-iniciado.

TAG: 1696-BA-36A		Power: 5 cv	SIMOCODE PRO - V Setting Range: 3 – 40 A
Overload Protection			
Function	Range	Value	
Set Current (Is1)		6,9 A	
Set Current (Is2)		-	
Class	5-40	15	
Response at Trip Level	Disabled		
	Signalling	Tripping	
	Warning		
Tripping			
Cooling Down Period	60-6553,5	600s	
Pause Time	0-6553,5	0s	
Type of Load	3-phase	3-phase	
	1-phase		
	Disabled		
Response at Pre-Waning Level ( $I > 115\%I_s$ )	Signalling	Warning	
	Warning		
Pre-Alarm Delay ( $I > 115\%I_s$ )	0-25s	25s	
Reset	Manual	Manual	
	Auto		

Tabela 1 – Definição dos valores de proteção contra sobrecarga. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A tabela 2 apresentada na continuação refere-se à proteção contra desbalanceamento e está dividida em três linhas principais.

A primeira linha trata do “Nível de Desbalanceamento”, com uma faixa de 0-100% e um valor configurado de 20%. Isso significa que o sistema está ajustado para detectar desbalanceamentos a partir de 20% do valor nominal.

A segunda linha, “Resposta”, indica que o sistema pode responder de três maneiras diferentes: sinalização (*Signalling*), aviso (*Warning*) e (*tripping* - desencadeamento de uma ação para prevenir danos). No caso apresentado, a resposta escolhida foi *tripping*, que aciona uma ação para proteger o sistema quando um desbalanceamento é detectado.

A terceira linha, “Atraso”, define o tempo de atraso antes que a resposta seja acionada, com uma faixa de 0-25,5 segundos e um valor configurado de 3 segundos. Isso significa que, após detectar um desbalanceamento, o sistema esperará 3 segundos antes de tomar qualquer ação.

A tabela 3 apresentada a seguir refere-se à proteção contra motores travados (*Stalled Motor*) e está dividida em três linhas principais.

Unbalance Protection		
Function	Range	Value
Level	0-100%	20%
Response	Disabled Signalling Warning Tripping	Tripping
Delay	0-25,5s	3s

Tabela 2 – Definição dos valores de proteção contra rotor desbalanceado . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A primeira linha, *Level*, indica o nível de corrente em relação à corrente nominal ( $I_s$ ) que define a condição de motor travado. A faixa de ajuste é de 0 a 1020% de  $I_s$ , e o valor configurado é 250%. Isso significa que o sistema detectará um motor travado quando a corrente atingir 250% da corrente nominal.

A segunda linha, “Response”, especifica as ações que o sistema pode tomar em caso de detecção de motor travado. As opções incluem *Disabled* (desabilitado), *Signalling* (sinalização), *Warning* (aviso) e *Tripping* (desencadeamento de uma ação). No caso apresentado, a resposta escolhida é *Tripping*, que significa que a rede irá engatilhar uma ação para proteger o sistema, como desligar o motor.

A terceira linha, *Delay*, define o tempo de atraso antes que a resposta seja acionada. A faixa de ajuste é de 0 a 25,5 segundos, e o valor configurado é 3 segundos. Isso significa que, após detectar a condição de motor travado, o sistema esperará 3 segundos antes de tomar qualquer ação.

Stalled Motor		
Function	Range	Value
Level	0-1020% of $I_s$	250%
Response	Disabled Signalling Warning Tripping	Tripping
Delay	0-25,5s	3s

Tabela 3 – Definição dos valores de proteção contra motor travado . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A tabela 4 seguinte refere-se aos limites de corrente (*Current limits*) para o sistema de monitoramento, especificamente quando a corrente está acima do limite superior ( $I > Upper Limit$ ). Ela está dividida em seis linhas principais, cada uma com uma função específica, faixa de valores e o valor configurado.

A primeira linha, *Trip Level*, indica o nível de corrente em relação à corrente nominal ( $I_s$ ) que define a condição de disparo. A faixa de ajuste é de 0 a 1020% de  $I_s$ , e o valor configurado é 1020%. Isso significa que o sistema detectará uma condição de disparo quando a corrente ultrapassar 1020% da corrente nominal.

A segunda linha, *Response at Trip Level*, especifica as ações que o sistema pode tomar em caso de detecção de corrente acima do limite superior. As opções incluem *Disabled* (desabilitado), *Signalling* (sinalização), *Warning* (aviso) e *Tripping* (desencadeamento de uma ação). No caso apresentado, a resposta está desabilitada.

A terceira linha, *Trip Delay*, define o tempo de atraso antes que a resposta seja acionada. A faixa de ajuste é de 0 a 25,5 segundos, e o valor configurado é 25 segundos. Isso significa que, após detectar a condição de corrente acima do limite superior, o sistema esperará 25 segundos antes de tomar qualquer ação.

A quarta linha, *Warning Level*, indica o nível de corrente em relação à corrente nominal ( $I_s$ ) que define a condição de aviso. A faixa de ajuste é de 0 a 1020% de  $I_s$ , e o valor configurado é 1020%. Isso significa que o sistema emitirá um aviso quando a corrente ultrapassar 1020% da corrente nominal.

A quinta linha, *Response at Warning Level*, especifica as ações que o sistema pode tomar em caso de detecção de corrente acima do limite superior, mas antes de atingir o nível de disparo. As opções incluem *Disabled* (desabilitado), *Signalling* (sinalização), *Warning* (aviso) e *Tripping* (desencadeamento de uma ação). No caso apresentado, a resposta está desabilitada.

A sexta linha, *Warning Delay*, define o tempo de atraso antes que a resposta de aviso seja acionada. A faixa de ajuste é de 0 a 25,5 segundos, e o valor configurado é 25 segundos. Isso significa que, após detectar a condição de corrente acima do limite superior, o sistema esperará 25 segundos antes de emitir um aviso.

Current limits ( $I > \text{Upper Limit}$ )		
Function	Range	Value
Trip Level	0-1020% of Is	1020%
	Disabled	
Response at Trip Level	Signalling	Disabled
	Tripping	
Trip Delay	0-25,5s	25s
Warning Level	0-1020% of Is	1020%
	Disabled	
Response at Warning Level	Signalling	Disabled
	Tripping	
Warning Delay	0-25,5s	25s

Tabela 4 – Definição dos valores das funções de monitoramento contra limite superior de funcionamento . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A tabela 5 refere-se aos limites de corrente (*Current limits*) para esse sistema, especificamente quando a corrente está abaixo do limite inferior ( $I < \text{Lower Limit}$ ). Ela está dividida em seis linhas principais, cada uma com uma função específica, faixa de valores e o valor configurado.

A primeira linha, *Trip Level*, indica o nível de corrente em relação à corrente nominal ( $I_s$ ) que define a condição de disparo. A faixa de ajuste é de 0 a 1020% de  $I_s$ , e o valor configurado é 1020%. Isso significa que o sistema detectará uma condição de disparo quando a corrente cair abaixo de 1020% da corrente nominal.

A segunda linha, *Response at Trip Level*, especifica as ações que o sistema pode tomar em caso de detecção de corrente abaixo do limite inferior. As opções incluem *Disabled* (desabilitado), *Signalling* (sinalização), *Warning* (aviso) e *Tripping* (desencadeamento de uma ação). No caso apresentado, a resposta escolhida é *Tripping*, que significa que a rede irá engatilhar uma ação para proteger o sistema, como desligar o motor.

A terceira linha, *Trip Delay*, define o tempo de atraso antes que a resposta seja acionada. A faixa de ajuste é de 0 a 25,5 segundos, e o valor configurado é 25 segundos. Isso significa que, após detectar a condição de corrente abaixo do limite inferior, o sistema esperará 25 segundos antes de tomar qualquer ação.

A quarta linha, *Warning Level*, indica o nível de corrente em relação à corrente nominal ( $I_s$ ) que define a condição de aviso. A faixa de ajuste é de 0 a 1020% de  $I_s$ , e o valor configurado é 1020%. Isso significa que o sistema emitirá um aviso quando a corrente cair abaixo de 1020% da corrente nominal.

Essas configurações garantem que o sistema possa monitorar e responder adequadamente a condições de corrente abaixo do limite inferior, protegendo o equipamento e mantendo a operação segura e eficiente.

Current limits (I<Lower Limit)		
Function	Range	Value
Trip Level	0-1020% of Is	1020%
	Disabled	
Response at Trip Level	Signalling	Disabled
	Tripping	
Trip Delay	0-25,5s	25s
Warning Level	0-1020% of Is	1020%
	Disabled	
Response at Warning Level	Signalling	Disabled
	Tripping	
Warning Delay	0-25,5s	25s
Hysteresis for Current Limits	0-15%	5%

Tabela 5 – Definição dos valores das funções de monitoramento contra limite inferior de funcionamento . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A tabela 6, tratando das horas de operação e do número de partidas do motor está dividida em três colunas principais, assim como as demais.

A primeira linha, *Permissible starts*, indica o número máximo de partidas permitidas para o motor, com uma faixa de 1 a 255 e um valor configurado de 3 partidas. A segunda linha, *Time range or starts*, define o intervalo de tempo ou o número de partidas permitidas, com um valor configurado de 1:00:00 (uma hora).

A terceira linha, *Response to overshoot*, especifica a ação que o sistema deve tomar quando o número de partidas excede o limite permitido. Neste caso, a resposta está desabilitada. A quarta linha, *Response to prewarning*, indica a ação a ser tomada quando um pré-aviso é emitido, e está configurada para emitir um aviso (*Warning*).

Por fim, a quinta linha, *Interlocking times*, define o tempo de intertravamento, que é o período durante o qual o motor não pode ser reiniciado após uma parada. O valor configurado é de 0:20:00 (vinte minutos).

Essas configurações garantem que o sistema possa monitorar e controlar adequadamente as operações do motor, protegendo-o contra sobrecargas e garantindo uma operação segura e eficiente. *Tripping* refere-se à capacidade do sistema de desencadear uma ação automática, como desligar o motor, quando certos limites são ultrapassados, prevenindo danos ao equipamento.

Operating hours monitoring (Number of starts monitoring motor)		
Function	Range	Value
Permissible starts	1-255	3
Time range or starts		1:00:00
Response to overshoot	Disabled	
	Signalling	Tripping
	Warning	
Response to prewarning	Tripping	
	Disabled	
Response to prewarning	Signalling	Warning
	Warning	
Interlocking time		0:20:00

Tabela 6 – Definição dos valores das funções de monitoramento de quantidade de horas de funcionamento e também quantidade de partidas realizadas . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A tabela 7 apresentada é intitulada *Earth Fault - 3U7FS10* (Nota 1) e contém três colunas: “Função”, *Range* e “Valor”. Ela define o valor de algumas funções relacionadas ao monitoramento de falhas fuga a terra e seus respectivos valores e intervalos.

A primeira linha refere-se ao “Nível de disparo”, que possui um intervalo de 0,03 a 40A e sempre dispara a um valor de 1,5A. Isso indica o nível de corrente no qual o sistema irá disparar ou ativar para evitar danos.

A segunda linha detalha o “Status ativo do nível de disparo”. Ela apresenta três condições na coluna “Range”: ”Sempre ligado”, “Se o motor estiver funcionando exceto TPF (partida)” e “Se o motor estiver funcionando exceto TPF, sobrescrever método de ligação”. O valor escolhido para essa condição é “Sempre ligado” (*Always On*). Isso sugere que há uma indicação contínua quando o motor opera em condições normais, a menos que haja uma sobrecarga de partida.

Em seguida, há a função “Resposta ao nível de disparo”, podendo escolher duas condições, sendo elas apenas uma sinalização ou realizar uma ação, sendo definida apenas uma sinalização. Isso implica que, uma vez ativado, haverá uma indicação de que o nível de disparo foi atingido.

A quarta linha define um “Atraso”, com um intervalo de 0 a 25 segundos e um tempo de disparo fixado em 2 segundos. Isso implica que, uma vez atingido o nível de disparo o sistema atrasa 2 segundos para realizar uma ação.

A quinta linha refere-se ao “Nível de aviso” de fuga a terra, com um intervalo de ativação de 0,03 a 40A com valor limite de 2,5A. Similar à função de nível de disparo, mas provavelmente serve como um alerta inicial antes de atingir níveis críticos.

A sexta linha tem a mesma definição da segunda linha e valor definido como ”Sempre

ligado”. A sétima linha tem a mesma função da terceira linha porém está ”Desabilitada”.

A oitava linha define o *Delay* para realizar a ação proposta anteriormente, atrasando seu disparo em 0,5 segundos.

A nona linha apresenta informações sobre a Histerese, sem um intervalo específico, mas menciona que seu valor é fixado em 0,5%. A histerese aqui refere-se à capacidade do sistema de evitar disparos desnecessários devido a pequenas flutuações nos valores de entrada.

Por fim, há informações sobre o “Resposta em caso de falha do sensor”, e dentre as 4 condições foi escolhida apenas enviar um ”aviso” caso isso ocorra.

<b>Earth Fault – 3UF7510 (Nota 1)</b>		
<b>Trip level</b>		
<b>Function</b>	<b>Range</b>	<b>Value</b>
Trip Level	0,03 – 40A	1,5A
	Always on	
Active status of trip level	If motor runs, except TPF (run) If motor runs, except TPF, if startup override	Always On
Response to trip level	Signalling Tripping	Signalling
Delay	0-25,5s	2,0s
<b>Warning level</b>		
<b>Function</b>	<b>Range</b>	<b>Value</b>
Warning Level	0,03 – 40A	2,5A
	Always on	
Active status of warning level	If motor runs, except TPF (run) If motor runs, except TPF, if startup override	Always On
Response at warning level	Disabled Signalling	Disabled
Delay	Warning 0-25,5s	0,5s
Hysteresis	-	5%
	Disabled	
Response to sensor fault	Signalling Warning Tripping	Warning

Tabela 7 – Definição dos valores das funções de monitoramento de quantidade de fugas a terra . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

Anotados os parâmetros é possível partir para a próxima fase de comissionamento, onde os mesmos serão necessários.

## 5.2 Programação via Software e implementação na rede

Após a definição dos parâmetros é iniciada a parte de programação propriamente dita através do software TIA PORTAL V15.1 da SIEMENS. É importante ressaltar que nos anexos desse trabalho é possível encontrar um *chart* detalhado e também uma tela do SIMATIC PCS7 (software também utilizado para gestão e manutenção de sistemas de automação da Siemens) e de cada uma das referências cruzadas que o bloco SIMOCODE PRO V realiza e como afeta cada uma, com seus respectivos valores limites. Aqui foram apresentados apenas os valores que influenciam diretamente na proteção do ativo (motor elétrico) que foram parametrizados anteriormente. Dados como endereço das respectivas I/O's foram deixados de fora devido a não relevância nesse momento.

A topologia de rede refere-se à forma como os dispositivos em uma rede estão interconectados. No contexto de automação industrial, a topologia de rede é crucial para garantir a comunicação eficiente e a operação coordenada dos dispositivos.

No software TIA Portal v15.1, a topologia de rede pode ser visualizada e configurada de maneira intuitiva. A imagem 22 fornecida mostra um exemplo de topologia de rede dentro do TIA Portal. No centro da imagem, há uma representação gráfica de uma rede com vários dispositivos conectados, incluindo o Controlador Lógico Programável (PLCs) rotulados como “PLC\_1 [CPU 1516F-3 PN/DP]”. Esse PLC está conectado via PROFIBUS, rede essa representada por linhas roxas. Além disso são representadas as gavetas e suas respectivas ligações.

No lado esquerdo da imagem, há uma árvore de navegação do projeto que lista vários componentes de hardware e suas respectivas TAGs de identificação, em ‘*Devices & networks*’. No canto superior esquerdo, há uma barra de ferramentas com opções diversas.

Essa configuração visual no TIA Portal v15.1 permite aos engenheiros de controle e automação uma visualização ampla além da possibilidade de gerenciar a topologia da rede de um sistema de automação industrial. Isso é essencial para entender o fluxo de dados, solucionar problemas e garantir a operação eficiente dos dispositivos dentro desse ambiente industrial.

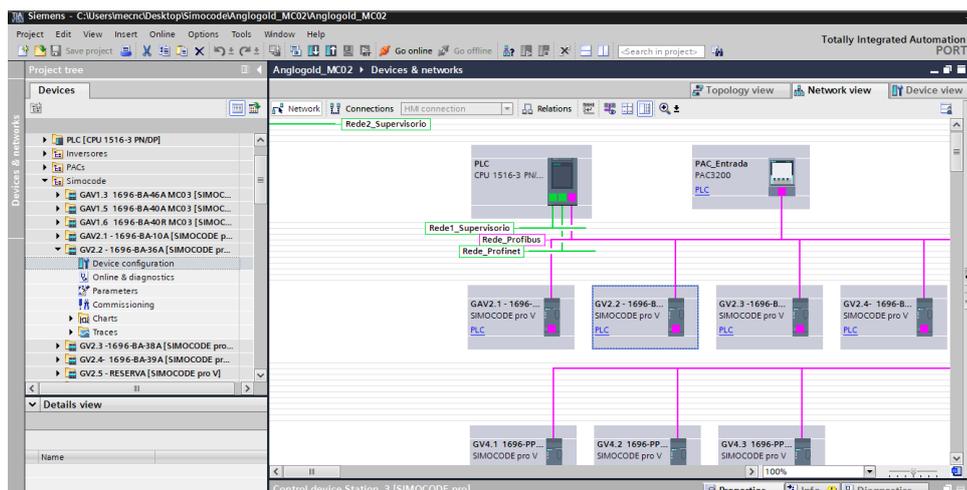


Figura 22 – Topologia de rede partindo CLP para a gaveta do SIMOCODE PRO V da 1696-BA-036A. AngloGold Ashanti (2023).

A imagem 23 continua a topologia de rede, focando na saída do PLC para os hubs e os dispositivos de controle, proteção e partida. Segue o detalhamento dessa essa configuração adiante.

No centro da imagem, vemos a continuação da rede com dispositivos adicionais conectados ao PLC. Ele está conectado a vários hubs e dispositivos tais como o SIMOCODE e também alguns inversores da marca *PowerFlex*.

Os hubs de I/O's a direita estão conectados ao PLC via Profinet ou fibra óptica, sendo os mesmo representado pela linha verde. Eles atuam como pontos de distribuição, permitindo que o PLC se comunique com múltiplos Instrumentos em campo.

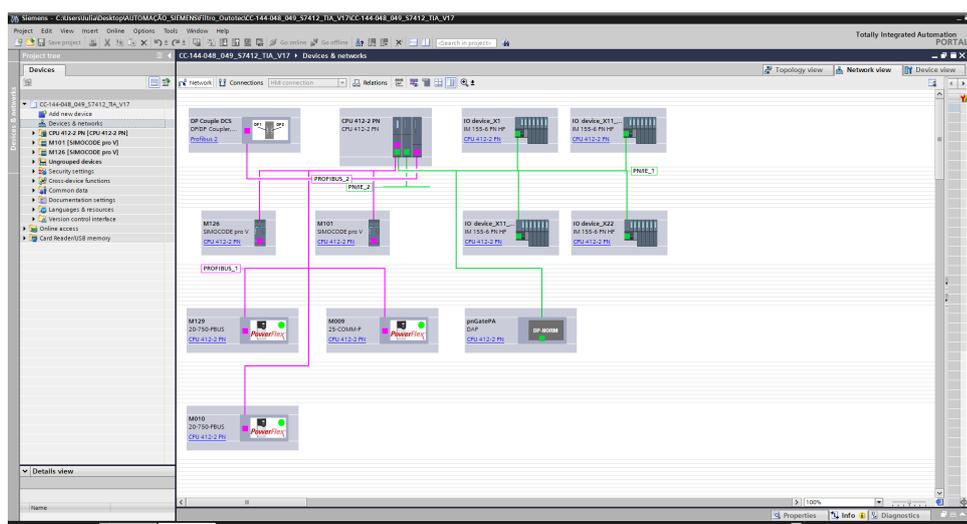


Figura 23 – Topologia de rede partindo CLP para o próprio SIMOCODE PRO V da 1696-BA-036A. AngloGold Ashanti (2023).

A seguir (imagem 24) são apresentados os módulos de aquisição de dados específicos já abordados anteriormente e o SIMOCODE PRO V. Essa é uma visão mais intuitiva do que realmente está na gaveta, pois fisicamente pode parecer mais confuso do que realmente é. Esses módulos estão conectados a um barramento de comunicação, que permite a troca de dados entre o PLC e os módulos I/O, facilitando a integração e a comunicação eficiente entre os diferentes componentes do sistema de automação.

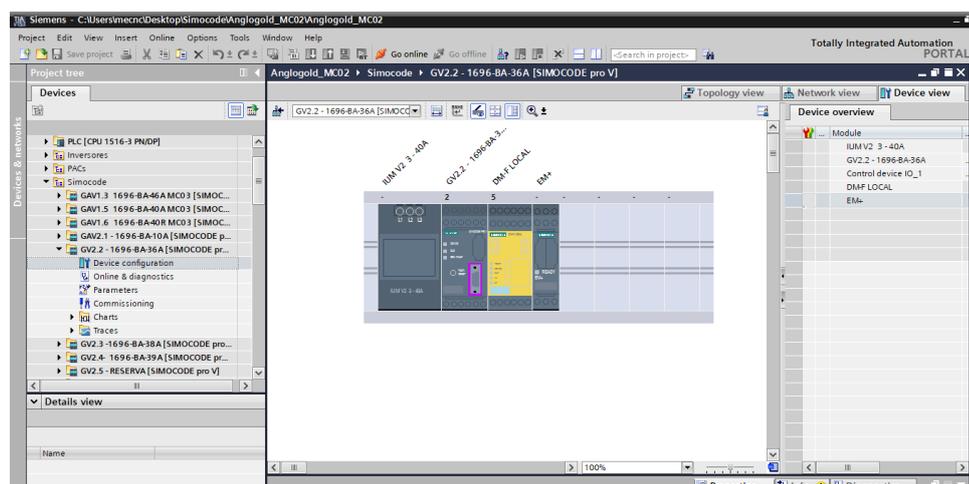


Figura 24 – Dispositivos montados e conectados por barramento na gaveta. AngloGold Ashanti (2023).

O próximo passo é acessar a aba de parâmetros e adicionar os valores definidos na seção anterior desse capítulo. Na imagem a seguir está sendo acessado a aba de parâmetros do SIMOCODE PRO V em questão. Todos esses pontos foram detalhados no tópico anterior desse capítulo.

Iniciando no campo de *reset* na imagem 25 o valor ajustado é para que o mesmo seja feito de forma manual, O campo *Set current Is* está configurado com o valor 6.90, que representa a corrente nominal ou de ajuste para a proteção do motor, essencial para definir a corrente máxima que o motor pode suportar sem danos. A opção *Transformation ratio - active* está desmarcada, indicando que a relação de transformação não está ativa, o que é relevante para cálculos de corrente em sistemas com transformadores.

O parâmetro *Class* está definido como 15, como já explicado anteriormente. A resposta do sistema será a ação de desligar (*trip*). O *Cooling down period* está ajustado para 600.0 segundos, indicando o tempo necessário para que o motor esfrie antes de uma nova tentativa de partida após uma falha. O “Pause time” está definido como 0.0 segundos, sugerindo que não há tempo de pausa configurado entre tentativas de reinício.

Na seção *Type of load*, a opção selecionada é *tri-phase*, indicando que o tipo de carga é trifásica, comum em motores industriais. O campo *Response to prewarning level (1>115%)* está configurado para disparar um alarme nessa faixa. O campo *Delay*

*prewarning* ( $1 > 115\%$ ) com o valor de 25.0 segundos, representando o tempo de atraso antes de um aviso prévio ser emitido quando uma condição anterior é detectada.

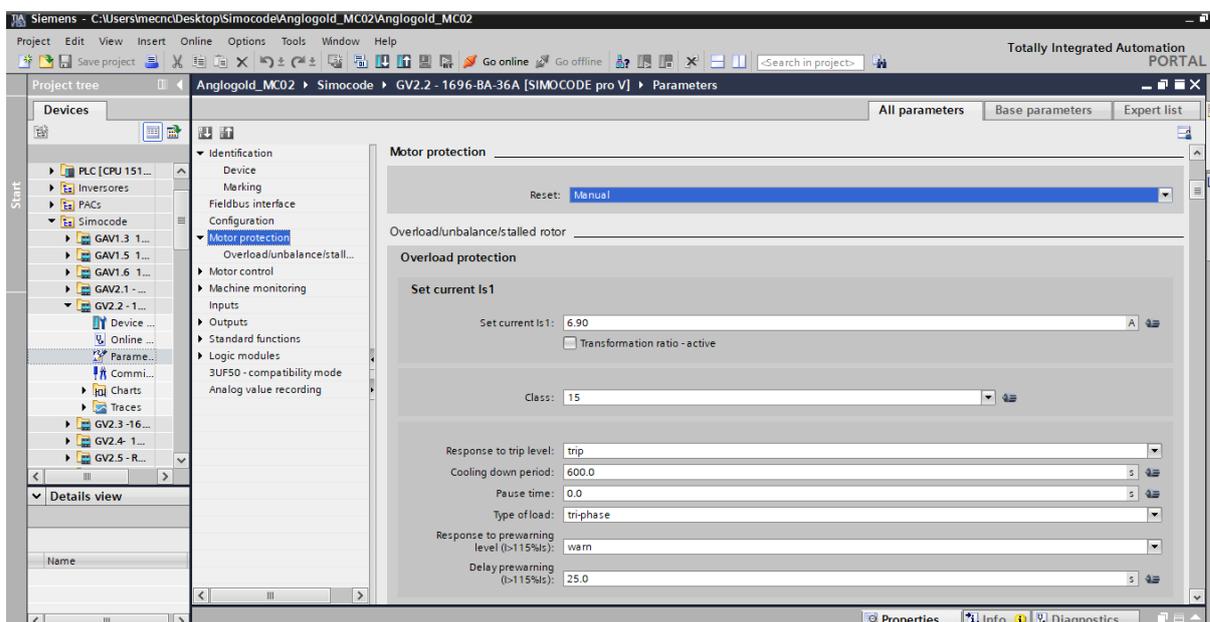


Figura 25 – Parâmetros de Sobrecarga. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A próxima seção (imagem 26) é focada na proteção contra desbalanceamento e condições de rotor travado. Na seção de proteção contra desbalanceamento, o nível está ajustado para 20%, indicando o limiar em que o relé reagirá a uma condição de desbalanceamento. A resposta a essa condição está configurada para *trip*, o que significa que o relé iniciará uma operação de desligamento ao detectar um desbalanceamento de 20%. Há também uma configuração de atraso de 3.0 segundos, especificando o intervalo de tempo entre a detecção do desbalanceamento e a ação de desligamento.

Abaixo, há outra seção para condições de rotor travado com parâmetros semelhantes. O nível está ajustado para 252% do valor nominal, definindo a sensibilidade do relé para detectar uma condição de rotor travado no maquinário ou equipamento monitorado. Novamente, *trip* é selecionado como a ação de resposta, garantindo que a energia será desconectada em caso de detecção dessa condição além do limiar estabelecido. O atraso para este parâmetro também está definido em 3.0 segundos.

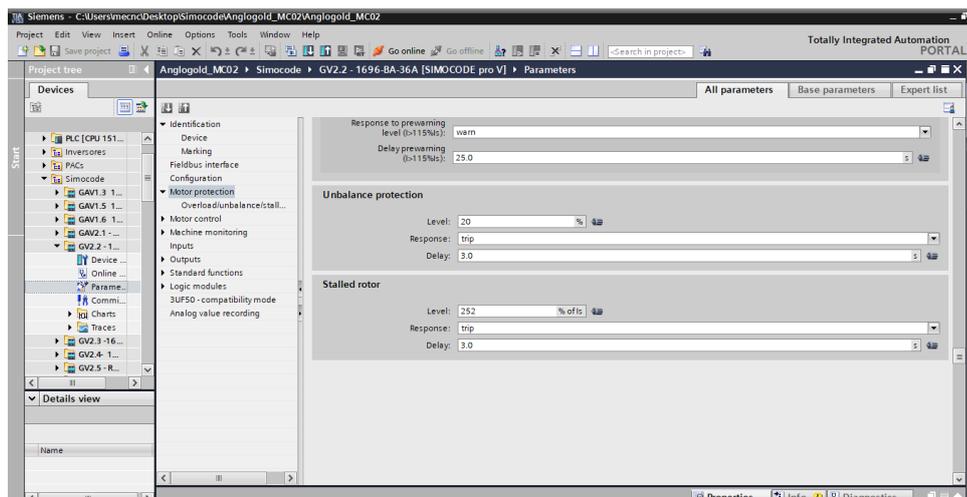


Figura 26 – Parâmetros de Rotor desbalanceado ou travado. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A seguir são adicionados os valores das funções de monitoramento do ativo, na imagem 27, também calculadas na seção anterior. Os limites superiores e inferiores de corrente na máquina estão desativados, pois já foi feita essa configuração na aba do motor, agora trata-se dos parâmetros para a máquina propriamente dita. *Hysteresis for current limits*: indica que a configuração se refere à diferença entre o ponto de ativação e o ponto de desativação de uma ação, usada para evitar comutações constantes. O valor mostrado é 5% of threshold, o que significa que a histerese está configurada para 5% do valor limite. Abaixo, o texto *Value range: [0 ... 15]* especifica que os valores ajustáveis para este parâmetro devem estar dentro do intervalo de 0 a 15%. Esta configuração é crucial para garantir que o sistema opere de forma estável, evitando acionamentos frequentes e desnecessários.

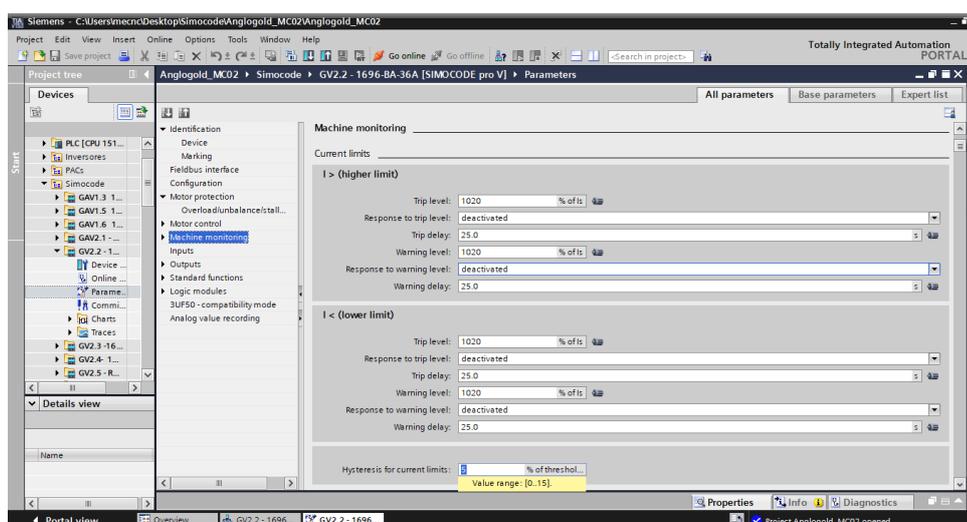


Figura 27 – Parâmetros das funções de monitoramento para limite superior e inferior de operação do motor. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

Na imagem 28 a seguir, o campo *Trip level* está configurado para um valor específico que determina o ponto em que o sistema tomará uma ação significativa, como desligar o equipamento ou acionar um alarme, devido a um parâmetro exceder os níveis operacionais seguros. O *Trip level active status* está definido como *always except with TPF (on+)*, indicando que o nível de disparo está sempre ativo, exceto em condições específicas definidas pelo *TPF*. A resposta ao nível de disparo está configurada como *deactivated*, o que significa que, ao atingir o nível de disparo, a ação de resposta está desativada. O *Trip delay* está ajustado para 0.5 segundos, especificando o intervalo de tempo entre a detecção da condição e a ação de desligamento.

O *Warning level* está configurado para um valor que sinaliza quando um parâmetro começa a se aproximar de uma condição insegura, ativando medidas preventivas ou alertas. O *Warning level active status* também está definido como *always except with TPF (on+)*, indicando que o nível de aviso está sempre ativo, exceto em condições específicas definidas pelo *TPF*. A resposta ao nível de aviso está configurada como *deactivated*, significando que, ao atingir o nível de aviso, a ação de resposta está desativada. O *Warning delay* está ajustado para 0.5 segundos, garantindo que haja um tempo de resposta adequado antes de qualquer ação ser tomada.

A seção *Hysteresis for voltage, CosPhi, power* está configurada com um valor de 5% do limiar, controlando o atraso antes de redefinir ou desativar avisos ou disparos uma vez que tenham sido ativados.

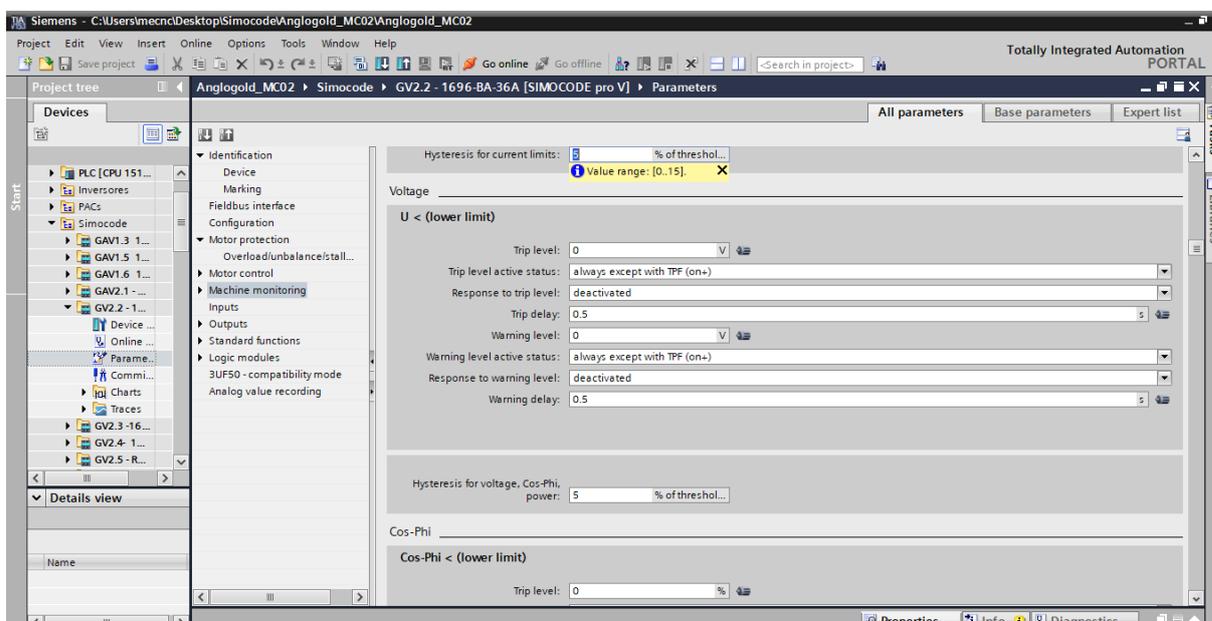


Figura 28 – Parâmetros das funções de monitoramento para limite inferior de tensão do motor. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A imagem 29 apresenta três módulos distintos de configuração de proteção de motores elétricos, cada um com seus próprios parâmetros. No módulo *Stop time*, o campo *Level* está configurado para 0 horas, indicando que não há um tempo de parada definido para o motor. Isso significa que o motor não tem uma duração específica de operação antes de ser desligado automaticamente.

No módulo *Number of starts monitoring motor*, o campo *Permissible starts* está definido para 3, permitindo até três partidas do motor dentro de um intervalo de tempo específico. O *Time range for starts* está ajustado para 1 hora, indicando que essas três partidas podem ocorrer dentro de um período de uma hora. O parâmetro *Response to overstart* está configurado para realizar a ação de desligar o sistema, o campo abaixo *Response to prewarning* emite um aviso (*warn*) um pouco antes de número de partidas exceder o limite permitido dentro do intervalo de tempo especificado. Além disso, o campo *Interlocking time prev.* está ajustado para 20 minutos, o que significa que deve haver um intervalo mínimo de 20 minutos entre eventos ou ações relacionadas às partidas do motor.

No módulo *Monitoring interval for mandatory testing*, o *Test interval* está definido para 0 semanas, indicando que não há um intervalo de teste obrigatório configurado. A resposta a este parâmetro está desativada, o que significa que nenhuma ação será tomada em relação ao intervalo de teste.

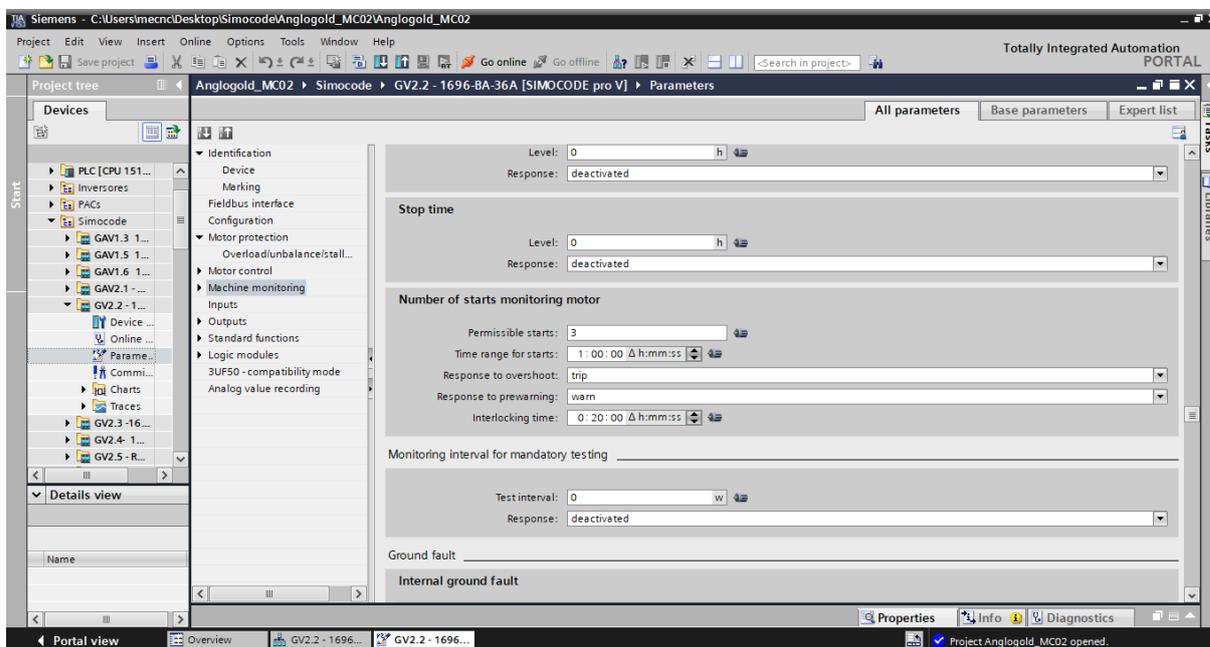


Figura 29 – Parâmetros das funções de monitoramento para número de partidas realizadas. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A imagem 30 apresenta uma interface de configuração de proteção de motores elétricos, focada na detecção de falhas de fuga a terra interna. No módulo *Trip level*, o valor está ajustado para 30% da corrente nominal ( $I_s$ ), indicando que, ao atingir esse

percentual, o sistema deveria tomar uma ação significativa, como desligar o equipamento. No entanto, a resposta a esse nível de disparo está configurada como *deactivated*, o que significa que, mesmo que o limite seja atingido, nenhuma ação automática será tomada. O parâmetro de atraso está definido em 0.5, sugerindo um pequeno intervalo de tempo antes que qualquer ação ocorra.

No módulo *Warning level*, o valor também está ajustado para 30% da corrente nominal ( $I_s$ ), o que implica que, ao atingir esse percentual, um sinal de aviso será gerado. A resposta a esse nível de aviso está configurada como *signal*, indicando que um alerta será emitido quando essa condição for detectada. O atraso para o nível de aviso está definido em 0.1, indicando um intervalo muito curto antes da emissão do sinal de aviso.

A configuração de *Hysteresis* está ajustada para 5% do limiar, o que controla a diferença entre os pontos de ativação e desativação para evitar comutações constantes. Isso significa que, após um sinal ser ativado, os valores devem cair abaixo de 5% do limiar antes que o sinal seja desativado, garantindo estabilidade no sistema.

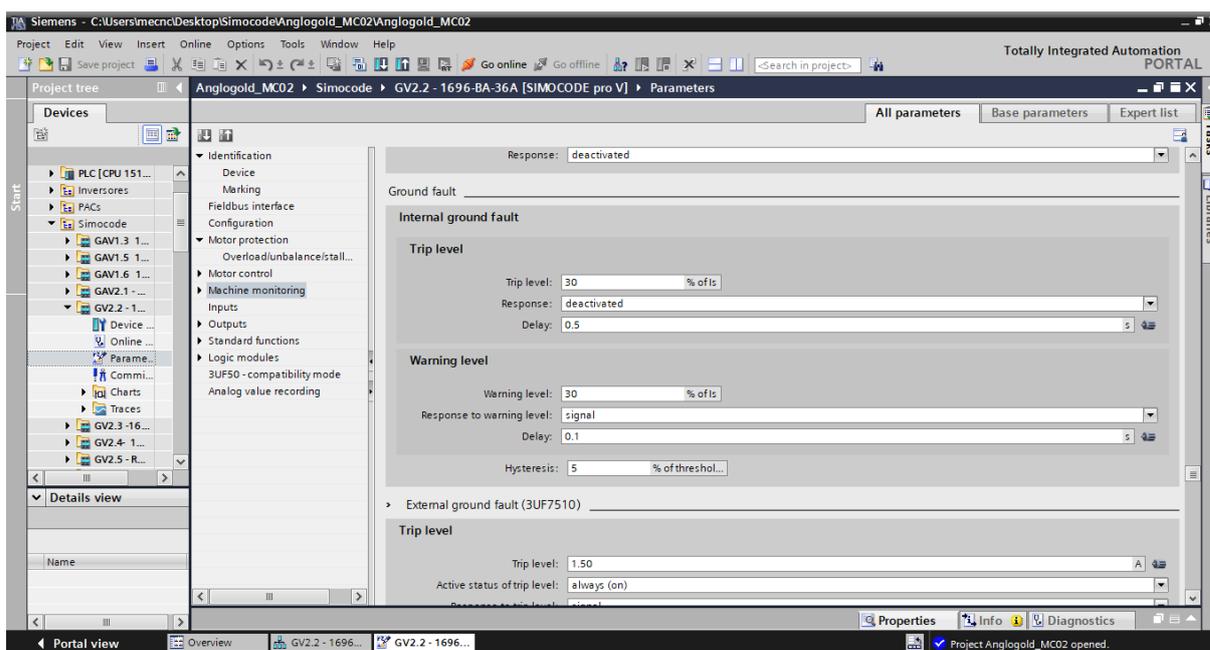


Figura 30 – Parâmetros das funções de monitoramento para número de fugas a terra (internas) detectadas. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

A imagem 31 apresenta uma interface de configuração de proteção de motores elétricos, focada em parâmetros de falha de fuga a terra externa. No módulo *Trip level*, o valor está ajustado para 1.50, indicando que, ao atingir esse nível de corrente, o sistema tomará uma ação significativa, como desligar o equipamento. O status ativo do nível de disparo está definido como *always on*, o que significa que essa configuração está sempre ativa. A resposta ao nível de disparo está configurada como *signal*, indicando que um sinal será emitido quando o nível de disparo for atingido. O parâmetro de atraso está definido

em 2.0, sugerindo um intervalo de tempo de 2 segundos antes que a ação de disparo ocorra.

No módulo *Warning level*, o valor está ajustado para 2.50, indicando que, ao atingir esse nível de corrente, um aviso será gerado. O status ativo do nível de aviso também está definido como *always on*, o que significa que essa configuração está sempre ativa. A resposta ao nível de aviso está configurada como *deactivated*, o que significa que, mesmo que o limite de aviso seja atingido, nenhuma ação automática será tomada. O parâmetro de atraso está definido em 0.5, indicando um intervalo de tempo de 0.5 segundos antes que o aviso seja emitido.

A configuração de *Hysteresis* está ajustada para 5% do limiar, controlando a diferença entre os pontos de ativação e desativação para evitar comutações constantes. Isso significa que, após um sinal ser ativado, os valores devem cair abaixo de 5% do limiar antes que o sinal seja desativado, garantindo estabilidade no sistema. O parâmetro “*Response to sensor fault*” está configurado como “*warning*,” indicando que um aviso será emitido em caso de falha do sensor.

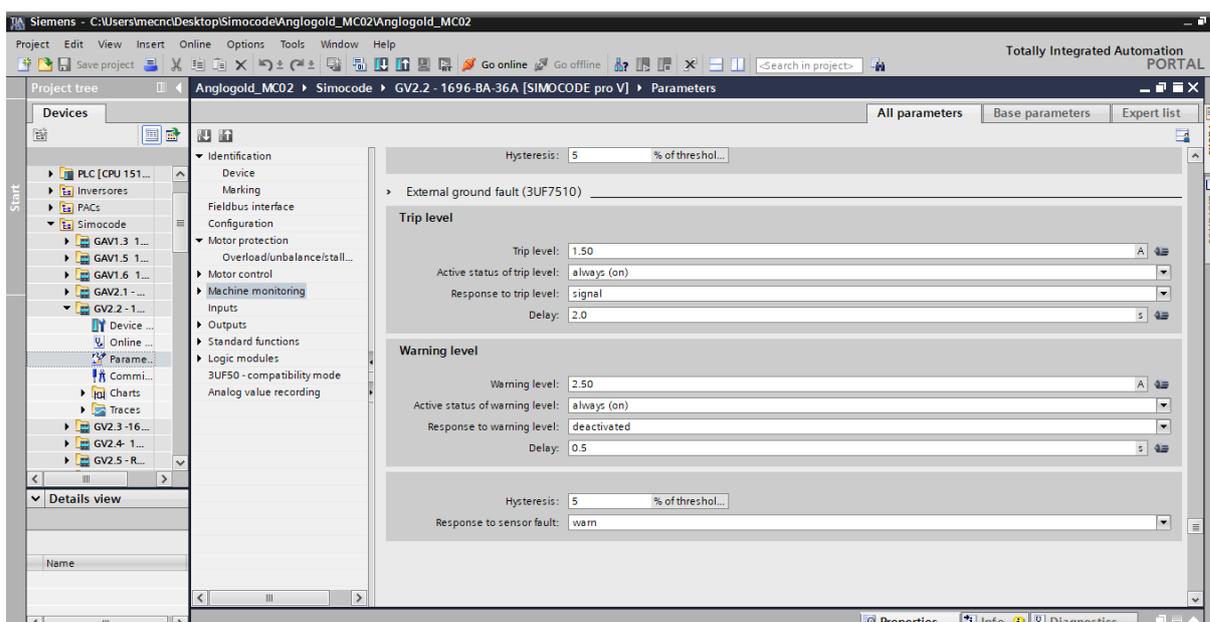


Figura 31 – Parâmetros das funções de monitoramento para número de fugas a terra (externas) detectadas. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

## 6 Considerações finais

Este capítulo de conclusão reforça a contribuição do SIMOCODE para o avanço tecnológico na automação industrial, destacando a necessidade de democratizar o acesso a tecnologias avançadas, já que os resultados do estudo e parametrização para culminar no funcionamento efetivo foram apresentados no capítulo anterior.

Não foi possível realizar testes de simulação de falhas ou cronometrar tempo de resposta entre outras possíveis técnicas para comprovar resultados. Isso ocorreu devido a necessidade de manter o processo em funcionamento, porém pode ser observado a operação em boas condições do motor. Além disso é possível monitorar dados transmitidos pelo relé para o sistema supervisório e através de lá realizar testes se em uma operação normal o equipamento iria parar e o sistema reserva funcionaria.

Nesse estudo foi apresentada uma análise detalhada da implementação do relé inteligente SIMOCODE PRO V da SIEMENS em um contexto industrial específico, com foco na operação de um motor de indução trifásico de baixa tensão. A discussão a seguir destaca as principais descobertas e sua relevância para o avanço da automação industrial. Além disso são mostradas algumas direções para futuros estudos com o dispositivo.

### 6.1 Inovação e eficiência operacional

A introdução do relé estudado como uma alternativa aos métodos tradicionais de acionamento de motores elétricos trouxe à tona seu potencial disruptivo. A eficiência operacional foi significativamente aprimorada pela sua capacidade de combinar múltiplas funções de controle e proteção em uma única unidade. Esta inovação não só simplifica o processo de acionamento como também oferece:

- **Controle Aprimorado:** A precisão do SIMOCODE em controlar e ajustar parâmetros críticos do motor é notável. Isso inclui a habilidade de manejar a partida suave, a parada e a reversão da direção de rotação sem o risco de danos ao equipamento
- **Monitoramento Avançado:** O monitoramento em tempo real das condições do motor permite uma resposta rápida a qualquer irregularidade, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a longevidade do equipamento.
- **Proteção Integral:** O relé inteligente oferece proteção abrangente contra sobrecargas e falhas elétricas, o que é crucial para prevenir acidentes e manter a segurança no local de trabalho.

## 6.2 Interface Intuitiva e Implementação Simplificada

A interface do SIMOCODE PRO V é intuitiva, permitindo que mesmo operadores com experiência limitada possam configurar e gerenciar o sistema eficientemente. Essa facilidade de uso é acompanhada por uma implementação simplificada que não requer extensas modificações no painel CCM existente, tornando a transição para sistemas mais avançados menos onerosa e mais rápida. Isso se reflete em:

- **Redução de Tempo de Configuração:** A instalação e configuração aceleradas minimizam o tempo de parada do sistema, contribuindo para um aumento na produtividade.
- **Flexibilidade:** A capacidade do dispositivo de se integrar com uma variedade de sistemas existentes significa que ele pode ser adotado em uma ampla gama de aplicações industriais sem a necessidade de equipamentos adicionais.

## 6.3 Custo e Benefício proveniente

Enquanto o SIMOCODE apresenta um custo inicial mais alto (encontrado na internet por valores na faixa de R\$ 5.786,99 - Loja [Dimensional \(2024\)](#)) em comparação com alternativas convencionais, os benefícios operacionais e de longo prazo justificam o investimento. A análise custo-benefício deve considerar:

- **Redução de Custos Operacionais:** A eficiência energética melhorada e a redução no desgaste dos componentes podem resultar em economias significativas ao longo do tempo.
- **Menos Manutenção:** A robustez e o diagnóstico proativo desse dispositivo podem diminuir a frequência e a gravidade das manutenções necessárias.

## 6.4 Importância dos Dados na Automação Industrial

O acesso facilitado aos dados coletados é essencial na era da Indústria 4.0. O SIMOCODE oferece um vasto conjunto de dados operacionais que podem ser utilizados para:

- **Análise Preditiva:** Os dados coletados permitem a implementação de estratégias de manutenção preditiva, antecipando falhas antes que elas ocorram, por exemplo através de alarmes configurados no sistema supervisório, cujo valor será determinado por estudos de variações na corrente que ocasionam cada problema, podendo assim realmente prever quando elas irão acontecer.

- Otimização Contínua: A análise dos dados pode levar a melhorias contínuas nos processos, aumentando a eficiência e reduzindo custos.

Em resumo, o SIMOCODE PRO V emerge como uma solução poderosa para o acionamento, controle e proteção de motores elétricos em ambientes industriais. Apesar do investimento inicial ser considerável, os ganhos em termos de eficiência operacional, segurança, facilidade de uso e acesso a dados justificam sua adoção. Este estudo demonstra que ferramentas como o SIMOCODE são vitais para impulsionar inovações no campo da automação industrial, enfatizando a necessidade de tornar essas tecnologias acessíveis para facilitar a transição para operações inteligentes e conectadas.

## 6.5 Sugestões para trabalhos futuros

Embora este estudo tenha fornecido algumas informações sobre o tema dos relés inteligentes e suas funcionalidade, várias questões permanecem abertas para investigações futuras. Primeiramente, recomenda-se a realização de estudos com testes de efetividade, por exemplo cronometrando tempo de resposta ou simulando falhas entre outros métodos mais diversificadas para validar os achados e garantir a generalização dos resultados. Além disso, a inclusão de testes em bancadas ou em ambientes controlados, podem oferecer uma compreensão mais abrangente dos fatores que influenciam o funcionamento do dispositivo. Por fim, estudos longitudinais seriam benéficos para examinar as mudanças ao longo do tempo e identificar possíveis falhas a longo prazo.

# Referências

- ABBOUD, Ricardo et al. Avanços nos Recursos dos Relés de Proteção de Motores. Citado 1 vez na página 30.
- ALERICH, W.N.; HERMAN, S.L. *Electric Motor Control*. Thomson/Delmar Learning, 2002. ISBN 9780766861640. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=mNPRwAEACAAJ>. Citado 1 vez na página 27.
- BOWEN, J. Grounding for Industrial Systems. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2011. Citado 1 vez na página 31.
- COURY, Denis Vinicius; OLESKOVICZ, Mário; GIOVANINI, Renan. *Proteção digital de sistemas elétricos de potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessados inteligentes*. SEL/EESC/USP, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 19, 26.
- DIMENSIONAL. *Dimensional - A Sonepar Company*. Acessado em: 18 de setembro de 2024. 2024. Disponível em: <https://www.dimensional.com.br/>. Citado 1 vez na página 57.
- FLEITER, Tobias; EICHHAMMER, Wolfgang; SCHLEICH, Joachim. *Energy efficiency in electric motor systems: Technical potentials and policy approaches for developing countries*. United Nations Industrial Development Organization, 2011. Citado 1 vez na página 29.
- FRANCHI, C.M. *Sistemas de Acionamento Elétrico*. Saraiva Educação S.A. ISBN 9788536506937. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=04mwDwAAQBAJ>. Citado 2 vezes nas páginas 19, 24.
- FRANCHI, Claiton Moro. *Acionamentos Elétricos*. 3. ed.: Editora Arijadna, 2008. Citado 5 vezes nas páginas 11, 21–23.
- KAIC TORRES E ARTHUR MELO E MARCOS MEIRA E THIAGO BATISTA E ALVARO MACIEL, Gabriel Soares e. Sistema de Proteção Microcontrolado para Motores Elétricos de Indução Trifásicos. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, v. 1, n. 50, 2020. Citado 1 vez na página 29.
- LAMB, Frank. *Automação industrial na prática-série Tekne*. AMGH Editora, 2015. Citado 1 vez na página 21.
- MARTINEWSKI, A. *Máquinas Elétricas: Geradores, Motores e Partidas*. Saraiva Educação S.A. ISBN 9788536531007. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=k4ywDwAAQBAJ>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 24, 25.
- MORENO, William Marín. *Modelo Osi*. línea). Disponible en [http://www.htmlweb.net/redes/osi/osi\\_3.html](http://www.htmlweb.net/redes/osi/osi_3.html).(Fecha ..., 2003. Citado 1 vez na página 34.
- NEAL, TE; HIRSCHMANN, RB. The Myths and Realities of Arc Flash Protection. *Electric Energy Magazine*, 2004. Citado 1 vez na página 30.

PETRUZELLA, F.D. *Eletrotécnica II: Série Tekne*. Bookman Editora, 2013. (Tekne). ISBN 9788580552898. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Uvs4AgAAQBAJ>. Citado 1 vez na página 19.

PEZZANI, Carlos et al. Detecting broken rotor bars with zero-setting protection. *IEEE Transactions on Industry Applications*, IEEE, v. 50, n. 2, p. 1373–1384, 2013. Citado 1 vez na página 30.

ROÇAS, Alexandre Augusto Carvalho et al. Análise de qualidade e processos de bobinagem de motores de indução de baixa tensão, 2012. Citado 1 vez na página 20.

SEIXAS FILHO, Constantino. *Industrial Ethernet*. Apostila do Curso de Engenharia Eletrônica da UFMG– Cap. Citado 1 vez na página 34.

UMANS, S.D. *Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley - 7.ed.* AMGH Editora, 2014. ISBN 9788580553741. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=3Fa2AwAAQBAJ>. Citado 1 vez na página 19.

O software utilizado além de algumas imagens do Relé SIMOCODE PRO V são de direito da marca SIEMENS. Além disso, as imagens que envolvem a implementação física e a parametrização do dispositivo assim como as tabelas de valores são de direito da empresa AngloGold Ashanti, operações CDS II, que concordou em ceder todo o conteúdo para o desenvolvimento desse estudo.

# ANEXO A – Legenda Diagrama P&ID

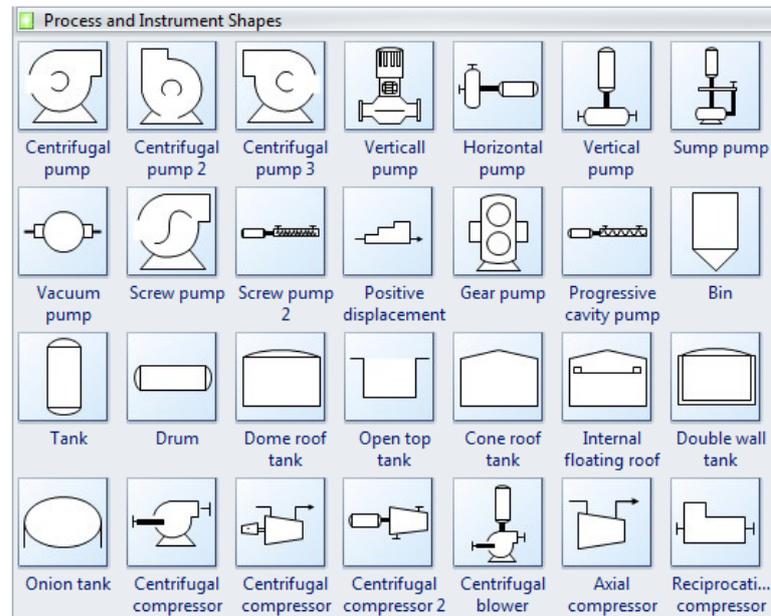


Figura 32 – Símbolos de Equipamentos de P&ID. Edraw (2023).

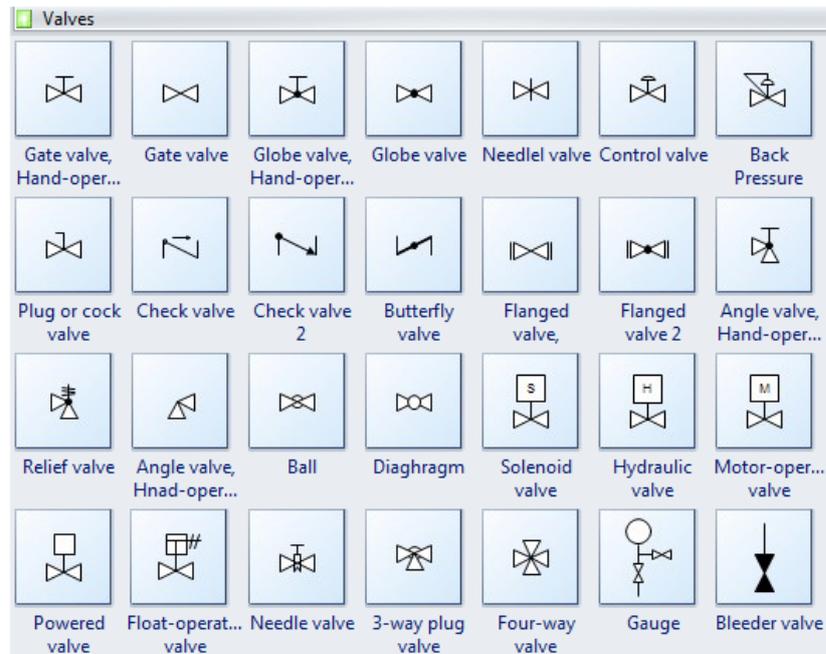


Figura 33 – Símbolos de Válvulas P&ID. Edraw (2023).

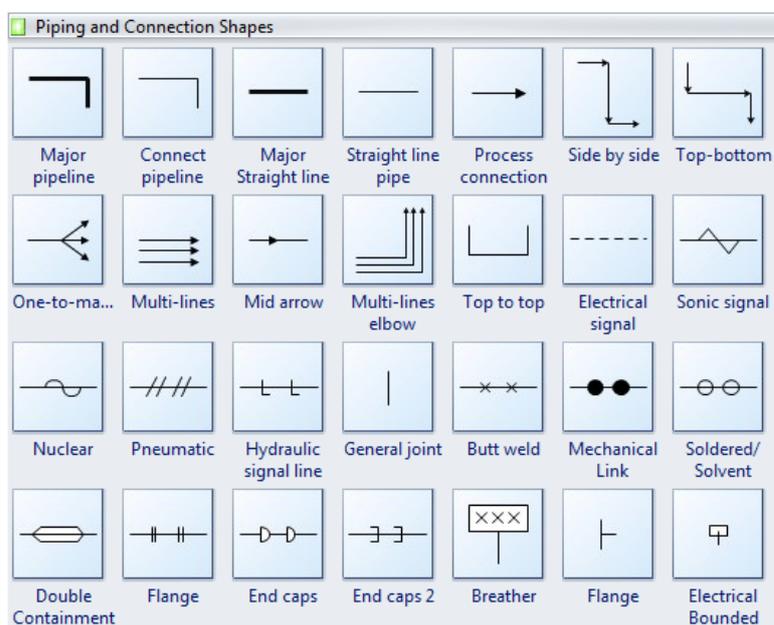


Figura 34 – Símbolos P&ID de Linhas Tubulares. Edraw (2023).

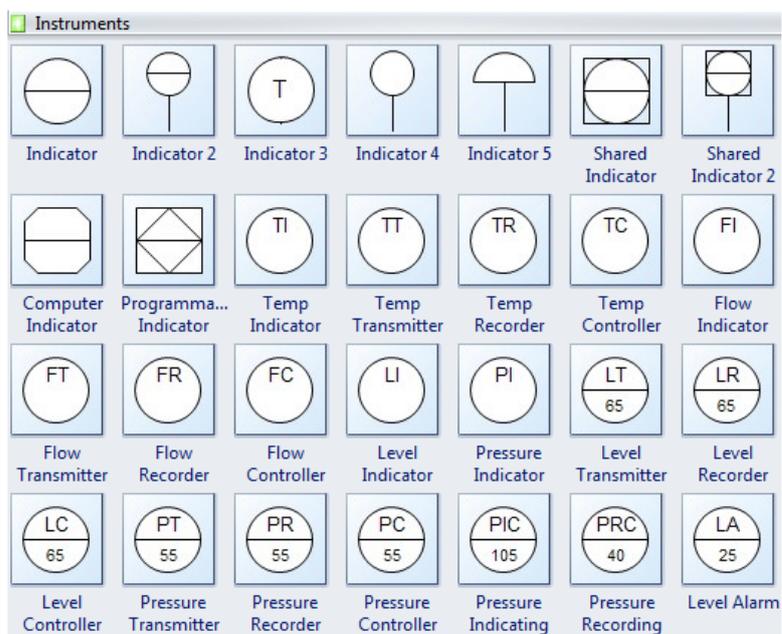


Figura 35 – Símbolos de Instrumentos P&ID. Edraw (2023).

# ANEXO B – Legenda Projeto elétrico

TABELA 01 - LETRA IDENTIFICADORA DE COMPONENTES

LETRA IDENTIFICADORA	COMPONENTES NO PAINEL
A	CLP's, IHM's, CONVERSORES CA/CA, CONVERSORES CA/CC, DISPOSITIVOS DE PARTIDA SUAVE (SOFT-START).
B	TACO GERADOR DE PULSO (ENCODER)
C	CAPACITORES.
F	FUSÍVEIS, BORNES-FUSÍVEIS, RELÉS DE PROTEÇÃO.
G	GERADORES, RETIFICADORES, FONTES, NO-BREAKS.
H	SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO, BUZINAS, SIRENES.
K	CONTADORES, RELÉS, BORNES RELÉS.
L	INDUTORES, REATORES.
M	MOTORES, VENTILADORES.
N	TRANSDUTORES DE GRANDEZAS ELÉTRICAS, ISOLADORES GALVÂNICOS.
P	INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.
Q	DISJUNTORES, SECCIONADORES, INTERRUPTORES.
R	RESISTORES EM GERAL, DE FRENAGEM, DE PARTIDA, DE AQUECIMENTO.
S	BOTOEIRAS, COMUTADORAS, CHAVES FIM-DE-CURSO, CHAVES DE AFERIÇÃO.
T	TRANSFORMADORES, TERMOSTATOS.
U	PROTETORES DE SURTO, DISTRIBUIDOR ÓPTICO
X	BORNES, BORNES-FUSÍVEIS (QUANDO EM RÉGUA DE BORNES), TOMADAS.
W	CABOS ELÉTRICOS

Figura 36 – Letra Identificadora de cada componente. AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

1	2	3	4	5	6	7	8
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	BARRA DE TERRA (CARCAÇA)		VENTILADOR		RELÉ TÉRMICO		INDUTOR (REATOR)
	BARRA DE TERRA (ISOLADO)		VENTILADOR		CONTATOR / BORNE-RELÉ		CONVERSOR CA/CA (INVERSOR DE FREQUÊNCIA)
	BORNE-FUSÍVEL		FORNE DE C. C.		SUPRESSOR DE SOBRETENSÃO TIPO RC		
	BORNE-FUSÍVEL COM LED		FORNE DE C. C.		SUPRESSOR DE SOBRETENSÃO À DIODO		DISPOSITIVO DE PARTIDA SUAVE (SOFT-START)
	TRANSFORMADOR DE CORRENTE		NO-BREAK		SUPRESSOR DE SOBRETENSÃO À VARISTOR		
	TRANSFORMADOR DE COMANDO		CHAVE SECCIONADORA		CHAVE SECCIONADORA COM FUSÍVEL		CONVERSOR CA/CC
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL		MINI-DISJUNTOR		POTENCIÔMETRO		
	A-AMPERÍMETRO V-VOLTIMETRO		DISJUNTOR		RELÉ TEMPORIZADO NA ENERGIZAÇÃO		
	HORÍMETRO						
	TOMADA 2P-1						

Figura 37 – Simbologia Projetos Elétricos - 1 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	MOTOR DE INDUÇÃO		BOTÃO DE COMANDO		CHAVE COMUTADORA, 3 POSIÇÕES, COM RETORNO		ALARME SONORO
	MOTOR DE ROTOR BOBINADO		BOTÃO DE COMANDO TIPO COGUMELO		CHAVE COMUTADORA, TIPO YALE		VÁLVULA SOLENÓIDE
	MOTOR DE CORRENTE CONTINUA		BOTÃO DE COMANDO TIPO COGUMELO COM TRAVA LIBERADA POR GIRO		CONTATO NORMALMENTE ABERTO		VÁLVULA SOLENÓIDE DUPLA
	FREIO		BOTÃO DE COMANDO TIPO COGUMELO COM TRAVA LIBERADA POR CHAVE		CONTATO NORMALMENTE FECHADO		SENSOR FOTOELÉTRICO (RECEPTOR) (3 FIOS)
	MEDIDOR DE MULTIFUNÇÃO		SINALEIRO COM LÂMPADA OU LED		CONTATO TEMPORIZADO NA ENERGIZAÇÃO		SENSOR FOTOELÉTRICO (RECEPTOR) (4 FIOS)
			BOTÃO DE COMANDO COM SINALEIRO		CONTATO TEMPORIZADO NA DESENERGIZAÇÃO		SENSOR FOTOELÉTRICO (EMISSOR-RECEPTOR)
			CHAVE COMUTADORA, 2 POSIÇÕES, COM TRAVA		CONTATO AUXILIAR DE RELÉ TÉRMICO		SENSOR DE PROXIMIDADE (3 FIOS)
			CHAVE COMUTADORA, 3 POSIÇÕES, COM TRAVA		CHAVE FIM-DE-CURSO		SENSOR ULTRA-SÔNICO (3 FIOS)

Figura 38 – Simbologia Projetos Elétricos - 2 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).

1	2	3	4	5	6	7	8
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	TRANSMISSOR INDICADOR DE NÍVEL (2 FIOS) L=NÍVEL F=VAZÃO P=PRESSÃO T=TEMPERATURA W=PESO V=VIBRAÇÃO		FUSÍVEL		LÂMPADA FLUORESCENTE		TERMOPAR
	TRANSMISSOR INDICADOR DE NÍVEL (4 FIOS) L=NÍVEL F=VAZÃO P=PRESSÃO T=TEMPERATURA W=PESO		P=PRESSOSTATO T=TERMOSTATO F=FLUXOSTATO L=CHAVE DE NÍVEL		CHAVE COMUTADORA, 2 POSIÇÕES, COM RETORNO		CHAVE COMUTADORA, 2 POSIÇÕES, COM RETORNO AO CENTRO
	TRANSDUTOR DE GRANDEZA ELÉTRICA		RELÉ TEMPORIZADO NA DESENERGIZAÇÃO				

Figura 39 – Simbologia Projetos Elétricos - 3 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).



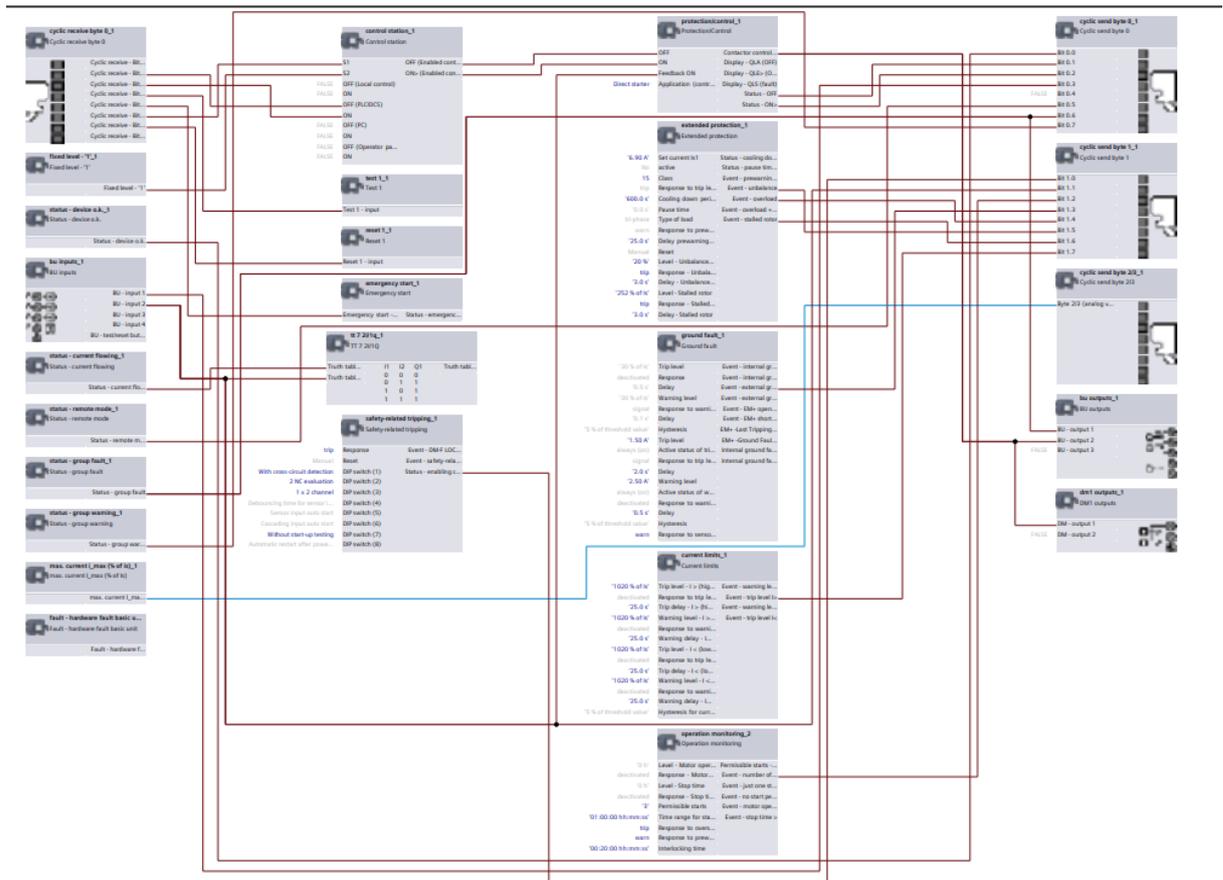


Figura 41 – Chart do bloco SIMOCODE no software TIA PORTAL V15.1 . AngloGold Ashanti - CDSII (2023).