



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATEUS GONZAGA DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE RETROFIT DOS RELÉS DE PROTEÇÃO DA MINA DE MINÉRIO
DO SOSSEGO DA SALOBO METAIS**

TUCURUÍ
2025

MATEUS GONZGA DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE RETROFIT DOS RELÉS DE PROTEÇÃO DA MINA DE MINÉRIO
DO SOSSEGO DA SALOBO METAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Davi Carvalho Moreira

TUCURUÍ
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

O48p Oliveira, Mateus Gonzaga de.
PROPOSTA DE RETROFIT DOS RELÉS DE PROTEÇÃO
DA MINA DE MINÉRIO DO SOSSEGO DA SALOBO METAIS
/ Mateus Gonzaga de Oliveira. — 2025.
67 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Davi Carvalho Moreira
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia
Elétrica, Tucuruí, 2025.

1. Relé de Proteção. 2. Relé Digital. 3. Retrofit. I. Título.

CDD 621.3191

MATEUS GONZAGA DE OLIVEIRA


**PROPOSTA DE RETROFIT DOS RELÉS DE PROTEÇÃO DA MINA DE MINÉRIO
DO SOSSEGO DA SALOBO METAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.


Data da aprovação: 04 / 08 / 2025

Conceito: EXCELENTE


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DAVI CARVALHO MOREIRA**
Data: 26/08/2025 10:10:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Davi Carvalho Moreira
Orientador / UFPA-CAMTUC-FEE

Documento assinado digitalmente
 **BERNARD CARVALHO BERNARDES**
Data: 08/09/2025 20:41:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bernard Carvalho Bernardes
Membro interno / UFPA-CAMTUC-FEE

Documento assinado digitalmente
 **PAULO ANDREW VIANA DE FARIAS**
Data: 08/09/2025 20:01:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Paulo Andrew Viana de Farias
Membro Externo / Salobo Metais

**PROPOSTA DE RETROFIT DOS RELÉS DE PROTEÇÃO DA MINA DE MINÉRIO
DO SOSSEGO DA SALOBO METAIS**

DISCENTE: MATEUS GONZAGA DE OLIVEIRA

MATRÍCULA: 201733940012

Trabalho Escrito (0 a 10 pontos por critério)	Davi Moreira	Bernard Bernardes	Paulo Farias
Formatação	9,00	9,00	9,20
Linguagem (gramática e semântica)	9,00	9,00	9,00
Conteúdo técnico	9,00	9,00	9,50

Defesa Oral (0 a 10 pontos por critério)	Davi Moreira	Bernard Bernardes	Paulo Farias
Sequência lógica de apresentação	10,00	10,00	10,00
Administração do tempo	8,50	10,00	9,00
Expressão oral	9,50	10,00	10,00
Domínio do tema	9,50	10,00	10,00

Média por examinador	9,21	9,57	9,53
Média Final	9,44		
Conceito Final	EXC		

Dedico este trabalho a Deus, por me fortalecer nos momentos difíceis, à minha mãe, Laudeci Gonzaga, e ao meu irmão, Marcos Henrique, pelo apoio incondicional, além de todos que estiveram ao meu lado nessa etapa tão importante da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero expressar a minha gratidão à Deus, fez com que fosse possível eu alcançar os meus objetivos nesse período de graduação.

Em seguida, expresso a minha profunda gratidão à minha mãe Laudeci Gonzaga, por me apoiar, acreditar em mim, e principalmente por me cobrar em momentos que pensei em desistir dessa jornada. Agradeço a toda a minha família e amigos pelo suporte dado nessa caminhada.

A todos os professores do curso de engenharia elétrica pela dedicação em simplificar o complexo, em especial aos professores André Cruz, Jefferson Costa, Karlo Queiroz e Raphael Teixeira.

Aos amigos e colegas de classe Ricardo Freitas, Victor Sérgio, Alexandre Montibeller, Dywles Soares, Wallas Ximenes, Felipe Piano, Álvaro Pereira, Nílton Gomes, Walder Júnior, Geisielen Seth, Joelia Rodrigues e Maria Aline, agradeço a amizade, por me ajudar alcançar as minhas metas e pelas experiências vivenciadas dentro do período acadêmico. A Taise Oliveira pelo seu apoio e companheirismo na minha jornada acadêmica.

Agradeço ao meu orientador de TCC, professor Davi Moreira, pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo deste período de orientação. Expresso também minha sincera gratidão ao meu orientador de estágio obrigatório, Paulo Andrew Farias, cujos conhecimentos e conselhos ampliaram minha compreensão sobre a engenharia elétrica, especialmente na área de manutenção elétrica de mina. Não poderia deixar de agradecer ao meu amigo e parceiro de trabalho, Darlisson Lima, assim como a toda a equipe da Redes e Linhas da mina do Sossego, pelo apoio e aprendizado compartilhados ao longo dessa jornada.

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade.”

(Albert Einstein).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os tipos e modelos de relés de proteção utilizados para proteção de máquinas elétricas e transformadores na área da mina do Sossego, localizada em Canaã dos Carajás, no sudeste do estado do Pará. Verificar se esses dispositivos de proteção estão obsoletos e se foram descontinuados pelos fabricantes. Diante desse cenário, propõe-se um retrofit para modernização desses equipamentos. Para isso, são abordados o funcionamento básico de um sistema de proteção, suas principais características e a evolução histórica dos relés de proteção, desde os modelos eletromecânicos até os modernos relés digitais. Além disso, são apresentadas as características dos novos relés sugeridos para substituição, destacando os benefícios de sua implementação.

Palavras-chaves: relé de proteção; relé digital; retrofit.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the types and models of protective relays used to protect electrical machines and transformers in the Sossego mine area, located in Canaã dos Carajás, in southeastern Pará state. It will determine whether these protective devices are obsolete and have been discontinued by manufacturers. Given this scenario, a retrofit is proposed to modernize this equipment. This involves the basic operation of a protective system, its main characteristics, and the historical evolution of protective relays, from electromechanical models to modern digital relays. Furthermore, the characteristics of the new relays suggested for replacement are presented, highlighting the benefits of their implementation.

Keywords: protection relay; digital relay; retrofit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Obsolescência tecnológica dos relés de proteção.....	16
Figura 2 – Gráfico da evolução dos relés de proteção.....	20
Figura 3 – Evolução dos relés de proteção	21
Figura 4 – Construção lógica de um relé de proteção digital multifuncional.....	22
Figura 5 – Construção física de um relé de proteção multifuncional digital.....	22
Figura 6 – Easergy P3 (relé de proteção - IED)	23
Figura 7 – Curva de Tempo Inverso.....	26
Figura 8 – Curvas de ajuste do rele de sobrecorrente temporizado.....	26
Figura 9 – Esquema de Proteção Diferencial	28
Figura 10 – Indicação de proteção direcional em quatro linhas de transmissão	29
Figura 11 – Eletrocentro WEG.....	33
Figura 12 – Escavadeira elétrica, tensão de alimentação 13.8 kV	36
Figura 13 – SE móvel 13.8 kV	36
Figura 14 – Painéis e bombas d'água de 4.160 kV	37
Figura 15 – Diagrama unifilar 13.8kV ~ 4.16kV	38
Figura 16 – Subestação abaixadora de 13.8 kV para 4.16 kV.....	39
Figura 17 - Relé MIF I.....	41
Figura 18 – Diagrama unifilar QD entrada da 1108SE03	42
Figura 19 – Diagrama de blocos funcionais do relé de proteção do alimentador Multilin 350.....	45
Figura 20 – Analise de distúrbios do sistema de energia com registrador de Falhas Transitória se registros de eventos.....	47
Figura 21 – Relé 350 com e sem extração.....	49
Figura 22 – Interface de usuário	49
Figura 23 – Retirando os parafusos	50
Figura 24 – Retirando o relé	50
Figura 25 – Inserindo o relé 350.....	51
Figura 26 – Parte traseira do relé novo.....	51
Figura 27 – Fixando o novo relé.....	51
Figura 28 – Bornes do relé 350, não extraíveis	52
Figura 29 – Diagrama unifilar, QD entrada da 1108SE03 com Multilin 350.....	55
Figura 30 – Informações do SEPAM M20.....	57

Figura 31 – Informações do SEPAM M41	58
Figura 33 – Informações dos SEPAM S20 e S40 para alimentadores	59
Figura 33 – Informações do SEPAM S20 e S40 para entradas	60
Figura 34 – Troca do SEPAM pelo P3	60
Figura 35 – Identificação dos pinos.....	61
Figura 36 – Identificação dos cabos	62
Figura 37 – Soft de conversão de ajuste	63
Figura 38 – Troca dos relés das séries 20 e 40 pelo relé P3	64
Figura 39 – Troca dos relés das séries 20 e 40 pelo relé P5	65
Figura 40 – Ecofit x Retrofit convencional	65
Figura 41 – Diagrama unifilar 13.8kV ~ 4.16kV com PowerLogic P3.....	66
Figura 42 – Relé SEPAM danificado	67
Figura 43 – Relé PowerLogic P5M30	69
Figura 44 – QD de 13.8 kV da Sempel Painéis Elétricos.....	69
Figura 45 – Relé PowerLogic P3F30	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relés de proteção (Redes e Linhas).....	39
Tabela 2 – Relés modelos MIF e MIF II	43
Tabela 3 – Recursos do MIF e MIF II	44
Tabela 4 – Números e funções de dispositivos ANSI® do relé 350	46
Tabela 5 – Identificação dos bornes	52
Tabela 6 – Conexões do TC	53
Tabela 7 – Alimentação de controle e conexão de aterramento	53
Tabela 8 – Saídas de contato de E/S.....	53
Tabela 9 – Entradas de contato de E/S	54
Tabela 10 – Comunicações.....	54
Tabela 11 – Relés SEPAM	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AT/MT	Transformador de alta tensão para média tensão
CLP	Controlador Lógico Programáveis
GE	General Electric
IEEE	Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	Dispositivos eletrônicos inteligentes
LCUs	Unidades de controle local
MT/BT	Transformadores de média tensão para baixa tensão
MIF I	Relé da General Electric da família Multilin I
MIF II	Relé da General Electric da família Multilin II
NA	Normalmente aberto
NC	Normalmente fechado
P3	Relé da Schneider Electric PowerLogic P3
P5	Relé da Schneider Electric PowerLogic P5
PC	Painel de Controle e Proteção
QD	Quadro de distribuição
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SE	Subestação de energia elétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SEPAM	Relé proteção da Schneider Electric
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de potencial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivos gerais	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
1.3	Estrutura do Trabalho de Conclusão de curso	17
2	SISTEMA DE PROTEÇÃO	18
2.1	Fundamentação teórica	18
2.1.1	Sistema de proteção elétrica e a evolução dos relés	18
2.2	Relés digitais microprocessados ou relés numéricos	21
2.3	Dispositivos eletrônicos inteligentes (IED)	23
2.3.1	Norma IEC 61850.....	24
2.4	Funções de proteções	25
2.4.1	Classificações dos relés	25
2.4.1.1	Relé de Sobrecorrente (50/51).....	25
2.4.1.2	Relés Diferenciais (87)	27
2.4.1.3	Relés Direcionais (67)	28
2.4.1.4	Relés de Distância (21).....	29
2.4.1.5	Relés de Tensão (27/59)	29
2.4.1.6	Relés de Religamento (79)	30
2.5	Obsolescência do relé de proteção	31
2.6	Subestações de Energia Elétrica	32
2.7	Características de um Sistema de Proteção	33
3	PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO	35
3.1	Desenvolvimento	35
3.2	Relé MIF I	40
3.3	Relé MIF II	41
3.4	MIF I e MIF II, outros recursos e suas descontinuidades	43
3.5	Características do relé para substituir os MIF I e MIF II	44
3.6	Retrofit dos MIF I e MIF II com Multilin™ 350	49
3.7	Relés SEPAM	55
3.7.1	Relés SEPAM modelos M20 e M41.....	56

3.7.2 Relés SEPAM modelo S40.....	58
3.8 Retrofit dos relés SEPAM.....	60
3.8.1 Adaptação mecânica	61
3.8.2 Sem atualização do projeto.....	61
3.8.3 Suporte na fiação	62
3.8.4 Software de conversão de ajuste.....	62
3.9 Retrofit do relé SEPAM com Powerlogic P3.....	63
3.10 Retrofit do relé SEPAM com Powerlogic P5.....	64
3.11 Comparação de solução Ecofit vs Retrofit convencionada	65
4 DISCUSSÕES E RESULTADOS	67
5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A - TABELA ANSI	76
ANEXO B - SUBESTAÇÃO MÓVEL DE 13.8 KV/4.160 KV	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Não há dúvidas que a energia elétrica é muito importante para a sociedade moderna, que deve estar acessível sempre na tensão e frequência correta pronta para o seu consumo. Sato e Freitas (2015) descrevem que um dos grandes desafios para engenheiros de sistema de potência, é que esse objetivo seja alcançado, sendo assim, é necessário que seja planejado, projetado, construído e operado obedecendo a critérios técnicos rígidos e investimentos compatíveis.

A mineração é uma atividade caracterizada pelo uso intensivo de equipamentos elétricos e eletrônicos em ambientes desafiadores e muitas vezes adversos. Por esse motivo, torna-se essencial a implementação de sistemas robustos de proteção e controle elétrico, capazes de garantir a segurança dos trabalhadores, a integridade dos equipamentos e a continuidade das operações. Tais sistemas devem atender às exigências da Norma Regulamentadora NR-10, que estabelece requisitos mínimos de segurança em instalações e serviços com eletricidade (BRASIL, 2004), bem como à NR-22, que trata da segurança e saúde ocupacional na mineração, incluindo dispositivos automáticos de proteção contra curto-circuito, sobrecarga e choques elétricos (BRASIL, 2019). Adicionalmente, recomenda-se observar a norma internacional IEC 61508, relativa à segurança funcional de sistemas elétricos de proteção, assegurando que estes operem corretamente ou falhem de forma previsível e segura (IEC, 2010).

No sistema elétrico de potência, o SEP, os equipamentos primários, como transformador de potência, disjuntor de potência, transformador de instrumento e para-raios, são os principais componentes para transferências de energia na rede. Considerando que o equipamento secundário; sistema de controle e proteção e sistema de comunicação, são utilizados para apoiar o equipamento primário, a fim de incorporar todas as funções e manter a confiabilidade aceitável no sistema de energia da maneira mais eficaz possível (Suwanasri et al., 2013).

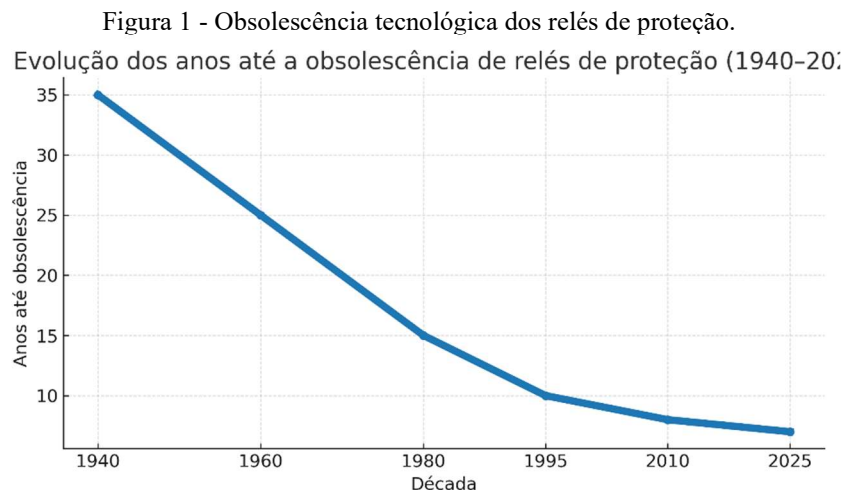
Se tratando do sistema de proteção elétrica, ele é responsável por detectar e responder a anomalias na rede elétrica, como curtos-circuitos, sobrecargas, falhas de isolamento e outros eventos que possam causar danos aos equipamentos ou representar riscos para a segurança dos trabalhadores. Ele atua rapidamente para isolar a parte defeituosa da rede, minimizando assim os danos e interrupções nas operações (Filho; Mamede, 2024).

Autores como Filho e Mamede (2024) e Sato e Freitas (2015) mostram que em sistema de proteção e controle de subestações de alta tensão, um dos dispositivos mais relevantes são os relés de proteção. O principal trabalho dos relés de proteção é monitorar a atividade elétrica

e desarmar os disjuntores sempre que uma falha elétrica for detectada no sistema. A tecnologia de relés de proteção em subestações de alta tensão vem melhorando nas últimas décadas.

Atualmente, os dispositivos denominados de relé digital vêm dominando o campo do sistema de controle e proteção, substituindo os relés mais antigos, como os relés eletromecânicos e relés estáticos. Os relés digitais são compostos com microprocessador, isso possibilita capacidade de combinar as funções de muitos relés eletromecânicos em um único dispositivo (Filho; Mamede, 2024). Eles também fornecem recursos adicionais; como interface de comunicação com SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), análise de formas de onda e medição.

Devido ao ritmo acelerado da tecnologia e em consonância com evolução rápida dos relés com microeletrônica, resultou em mudanças importantes na área de proteção. Uma delas é o tempo que vai da concepção à obsolescência tecnológica de um relé reduziu-se drasticamente. A obsolescência tecnológica dos relés eletromecânicos era atingida em aproximadamente 30 anos, caindo para cerca de 5 anos para os relés digitais, o gráfico da Figura 1 mostra esse decaimento. Outra mudança refere-se à necessidade de softwares para sistemas de proteção digital, alguns dados desatualizados e o equipamento precisam acompanhar o sistema moderno (Sato; Freitas, 2015).



Fonte: Adaptado de Suwanasri et al. (2013), Sato e Freitas (2015).

A simples substituição de equipamentos antigos por novos nem sempre é suficiente para implementar plenamente as funções da tecnologia moderna em sistemas de proteção. Por isso, torna-se necessário adotar um método de renovação que vá além da atualização de hardware, ou seja, realizar um projeto de retrofit voltado à proteção e controle elétrico. Esse processo busca promover maior confiabilidade, aprimoramento da segurança e integração com sistemas automatizados, o que impacta diretamente as operações de mineração. Conforme a NR-22, os circuitos elétricos e dispositivos de proteção devem ser projetados de forma a garantir a

segurança dos trabalhadores (BRASIL, 2019). Além disso, a norma IEC 61850 estabelece padrões para sistemas de automação em instalações elétricas, permitindo interoperabilidade entre dispositivos, redução de cabeamento e aumento da rapidez de resposta, fatores essenciais em ambientes industriais críticos como a mineração (IEC, 2003).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

Apresentar proposta de retrofit para os relés de proteção instalados em subestações e painéis de controle e proteção das cavas de mineração na área da mina do Sossego, localizado em Canaã dos Carajás, no sudeste do estado do Pará.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamento quantitativo e localização dos relés de proteção;
- Identificar modelos e fabricantes dos relés de proteção;
- Verificar dados técnicos dos relés de proteção e analisar obsolescência;
- Elaborar de proposta de retrofit dos relés de proteção;

1.3 Estrutura do Trabalho de Conclusão de curso

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O capítulo 1 é introdutório, no qual são apresentados a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho desenvolvido.

No capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica sobre sistemas de proteção, os relés digitais e as funções de proteção.

O capítulo 3 mostra o atual cenário dos reles e sua descontinuidade, e em seguida é como pode-se realizar o retrofit desses dispositivos.

Capitulo 4 relata os resultados obtido do levantamento quantitativo dos relés de proteção.

No capítulo 5, são apresentadas as considerações finais, tomando como base a obsolescência dos dispositivos proteção. Por fim, é apresentado os anexos, dentre eles está a tabela ANSI completa e atualizada.

2 SISTEMA DE CONTROLE PROTEÇÃO

2.1 Fundamentação teórica

Segundo Barrientos (2004), *retrofit* (“retro”, do latim, significa andar para trás e fit, do inglês, adaptação, ajuste) surgiu nos Estados Unidos e na Europa no final da década de 90. O foco principal do termo é modernização, ajustando e adequando um sistema ou equipamento de tecnologia ultrapassada aos critérios de desempenho determinados pela tecnologia atual de modo que prolonga a vida útil, aumenta a disponibilidade, confiabilidade e adequa-se as normas vigentes (Valentim, 2023).

Nesse contexto, é comum encontrar proposta e projetos de modernização de sistema de proteção abordando a migração dos relés eletromecânicos e eletrônicos para os dispositivos digitais microprocessados. Contudo, esse trabalho propões a modernização e substituição de relés digitais já em descontinuidade e obsoletos por outros dispositivos da mesma classe, porém que tenha uma tecnologia mais avançada, como os dispositivos eletrônicos inteligentes (IED), que sejam eficazes e seguro, tanta para operabilidade do sistema de proteção, como também para os trabalhos em contatos com esses equipamentos (Suwanasri et al., 2013).

2.1.1 Sistema de proteção elétrica e a evolução dos relés

Na operação dos sistemas elétricos de potência surgem, com frequência, falhas nos seus componentes que resultam em interrupções no fornecimento de energia aos equipamentos e máquinas conectados a esses sistemas, causando danos a essas máquinas, particularmente nos enrolamentos dos motores e transformadores, com a conseqüente redução da qualidade do serviço prestado (Filho; Mamede, 2024).

Os sistemas de potência estão continuamente expostos a distúrbios que alteram seu estado normal de operação, provocando variações significativas nas grandezas elétricas, como corrente, tensão, frequência e potência. Essas perturbações podem violar limites operacionais e comprometer a integridade de equipamentos e instalações. Nesses casos, são indispensáveis ações preventivas e/ou corretivas para mitigar ou eliminar os efeitos adversos causados por tais eventos (Sato; Freitas, 2015).

O curto-circuito, é a falha mais comum em qualquer sistema de potência, que provocam correntes elevadas circulando em elementos energizados, tendo como resultado severos distúrbios de tensão ao longo de todo o sistema elétrico, ocasionando, muitas vezes, danos

irreparáveis ao sistema e às instalações dos equipamentos elétricos conectados a ele (Filho; Mamede, 2024).

Além do problema anterior, a sobrecarga é outro fator de anormalidade nos sistemas de potência que pode originar danos materiais significativos. Existem outros dois fenômenos, não menos severos, que podem ocorrer nos sistemas elétricos: as sub e sobretensões com diferentes origens, de descargas atmosféricas a manobras, entre outras (Filho; Mamede, 2024).

Os curtos-circuitos, as sobrecargas e as sub e sobretensões são inerentes ao funcionamento dos sistemas de potência, apesar das precauções e cuidados tomados durante a elaboração do projeto e a execução das instalações, mesmo seguindo as normas mais severas e as recomendações existentes. Essas anormalidades poderão ter consequências irrelevantes ou desastrosas, dependendo do sistema de proteção preparado para aquela instalação em particular (Filho; Mamede, 2024).

A principal função de um sistema de proteção é garantir a rápida desconexão de partes do sistema elétrico que operem fora dos limites estabelecidos, preservando a integridade dos equipamentos e a segurança da instalação. Adicionalmente, o sistema de proteção deve fornecer informações úteis aos operadores, facilitando a identificação e o diagnóstico de falhas para posterior correção. A proteção de sistemas de potência é tradicionalmente implementada com o uso de fusíveis e relés acoplados a disjuntores, sendo estes os dispositivos mecânicos responsáveis pela interrupção do circuito defeituoso (Filho; Mamede, 2024). Neste trabalho, será abordado especificamente o funcionamento e a aplicação dos relés de proteção.

Sendo assim, os relés representam uma gama de dispositivos, com as mais diferentes formas de construção e funções incorporadas, para aplicações diversas, dependendo da importância, do porte e da segurança da instalação considerada. Os relés sempre devem atuar sobre o equipamento responsável pela desconexão do circuito elétrico afetado, normalmente o disjuntor ou o religador (Filho; Mamede, 2024).

A detecção de um defeito em um sistema elétrico é obtida, de forma geral, pela aplicação de um dos seguintes critérios:

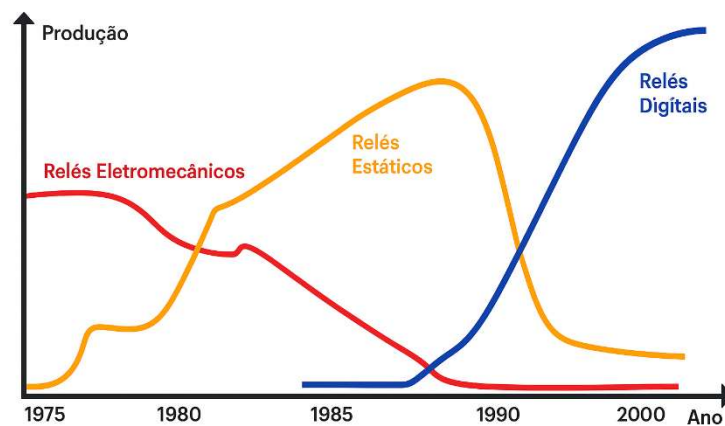
- Elevação da corrente;
- Elevação e redução da tensão;
- Inversão do sentido da corrente;
- Alteração da impedância do sistema;
- Comparação de módulo e ângulo de fase na entrada e na saída do sistema.

O relé de proteção é a peça central do sistema de proteção. Este equipamento tem o seguinte princípio de funcionamento: a partir da aquisição das grandezas elétricas de tensão e

corrente, este realiza medidas, classificações e toma a decisão da abertura de um ou mais disjuntores em uma condição anormal de funcionamento do sistema elétrico, em está instalado (Filho; Mamede, 2024).

O relé tem evoluído juntamente com os Sistemas Elétricos de Potência (SEPs). A Figura 2, resume esta evolução, apresentando as tecnologias de relés existentes em ordem cronológica. A primeira base tecnológica aplicada ao projeto foram os relés eletromecânicos, que tem como princípio de funcionamento o movimento de elementos mecânicos sob influência de forças elétricas nos circuitos de entrada. Com o advento dos transistores, foi possível compor um novo tipo de relé de proteção, em que a operação é baseada na interação das tensões e correntes com circuitos analógicos: o relé estático (Silva et al., 2015).

Figura 2 – Grafico da evolução dos relés de proteção.



Fonte: Paulino (2008).

Esta tecnologia tem esta denominação por não ter partes móveis, como seus antecessores, e apresentava maior seletividade e facilidade de configuração por seus usuários. Por fim, a última tecnologia aplicada a relés é a digital ou relés numéricos e os IED, em que um microprocessador executa algoritmos codificados na forma de software para desempenhar as funções do relé, a Figura 3 retrata o surgimento dos IED (Silva et al., 2015).

Figura 3 - Evolução dos relés de proteção.



Fonte: Bê-á-bá da IEC (2021).

Os relés digitais, por terem um único microprocessador gerenciando inúmeros recursos simultaneamente, podem estar sujeitos a algum tipo de degradação de performance dependendo da forma como o equipamento está configurado (múltiplas funções de proteção ativadas). Além disso, outra característica que pode ser observada é a variação no tempo de atuação de uma função de proteção (jitter), característica de sistemas com múltiplos recursos compartilhados. Deste modo, vislumbra-se uma maneira de garantir o tempo de atuação das funções de proteção em um relé de proteção, independente da forma como este está configurado e de eventos externos às próprias funções de proteção (Silva et al., 2015).

A relevância dos relés de proteção no sistema elétrico pode ser ilustrada por meio de uma analogia com o corpo humano, comparando sua função à do cérebro. Os relés de proteção são responsáveis pelo monitoramento e controle das ações do sistema elétrico, atuando conforme parâmetros previamente definidos com base em estudos elaborados por profissionais da engenharia. A ausência desse estudo prévio inviabiliza a operação segura dos equipamentos elétricos no ambiente de trabalho, comprometendo tanto a integridade dos sistemas quanto a segurança operacional.

2.2 Relés digitais microprocessados ou relés numéricos

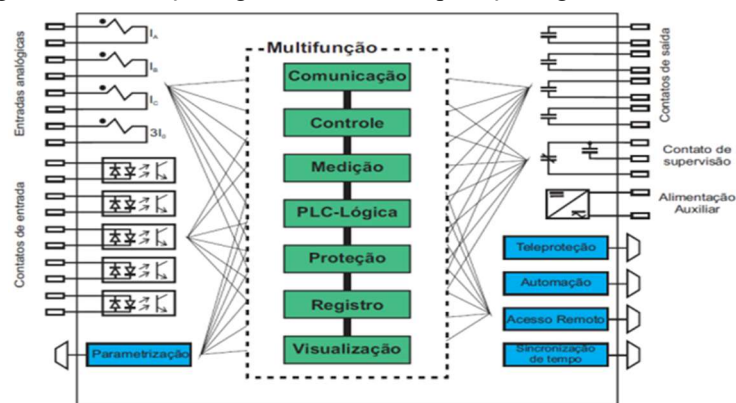
Cada vez mais, a automação está presente nos sistemas elétricos industriais e de potência, os relés digitais se tornaram elementos obrigatórios nos esquemas de proteção. São constituídos de circuitos eletrônicos providos de chips de alta velocidade de processamento. O seu funcionamento acontece por meio de programas que trabalham processando as informações que chegam pelos transformadores de medida. (Filho; Mamede, 2024).

Com auxílio dos contatos externos são efetuados os comandos decididos pelo processo de avaliação microprocessado do relé. Os ajustes podem ser efetuados ou na parte frontal do relé por uma tecla de membrana por meio de instruções específicas ou através de um

microcomputador conectado ao relé por meio de uma comunicação serial RS 485, por exemplo, dentre outras formas de comunicação (Filho; Mamede, 2024).

Os relés digitais revolucionaram os esquemas de proteção, oferecendo vantagens impossíveis e serem obtidas por seus antecessores e notoriamente se destaca das tecnologias anteriores pela riqueza de recursos existentes em um único equipamento. A Figura 4 mostra as características construtiva dos relés digitais. Em um mesmo equipamento é possível encontrar diversos tipos e métodos de funções de proteção, bem como outros recursos: comunicação, controle, medição, lógica e registros oscilográficos (Silva et al., 2015).

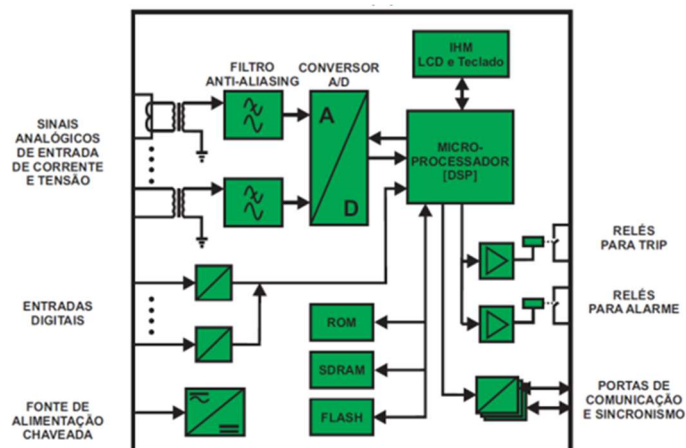
Figura 4 - Construção lógica de um relé de proteção digital multifuncional.



Fonte: Silva et al. (2015).

O microprocessador, ilustrado na Figura 5, é o componente central responsável por gerenciar todos os recursos do sistema. Ele executa, de forma sequencial, os comandos codificados no software. Para administrar os múltiplos recursos simultaneamente, o microprocessador precisa dividir e organizar seu tempo de processamento. Essa tarefa é geralmente coordenada por meio do sistema operacional (SO) (Silva et al., 2015).

Figura 5 - Construção física de um relé de proteção multifuncional digital.



Fonte: Silva et al. (2015).

2.3 Dispositivos eletrônicos inteligentes (IED)

Essa seção é uma abordagem sobre os IEDs, sendo assim, será feito um paralelo com os relés digitais, mostrando a diferença entre os dispositivos.

Para Goes (2013), os IEDs são dispositivos eletrônicos inteligentes projetados para executar funções específicas em sistemas de energia elétrica, como proteção, controle, medição e monitoramento. Eles são altamente programáveis e podem executar uma variedade de funções complexas, além das funções básicas de proteção, enquanto os relés digitais são mais simples em termos de funcionalidade e são usados principalmente para proteção e controle, ou seja, os IEDs são mais complexos.

Os IEDs geralmente possuem capacidade de comunicação embutida, permitindo a comunicação com outros dispositivos em uma rede de energia elétrica, como sistemas de supervisão e controle (SCADA), outros IEDs e controladores lógicos programáveis (PLCs). Os relés digitais podem ou não ter capacidade de comunicação, dependendo do modelo e da aplicação. São altamente flexíveis e programáveis, permitindo que os usuários personalizem suas funções e algoritmos de proteção de acordo com os requisitos específicos do sistema de energia. Os relés digitais também são programáveis, mas sua flexibilidade pode ser limitada em comparação com os IEDs (Santos; Pereira, 2008).

A Figura 6 apresenta o Easergy P3, um IED da Schneider Electric pertencente à linha de relés de proteção projetada para aplicações em média tensão, incluindo proteção para alimentadores, motores, transformadores e geradores.

Figura 6 – Easergy P3 (relé de proteção - IED).



Fonte: Schneider Electric (2024).

Esses dispositivos podem integrar várias funções, como proteção, controle, medição e monitoramento. Isso simplifica a arquitetura do sistema e reduz a necessidade de vários dispositivos separados (Santos; Pereira, 2008).

Os relés digitais geralmente executam funções de proteção específicas, como proteção de sobrecorrente ou proteção de falta de terra, e são frequentemente usados em conjunto com outros dispositivos para atender a todas as necessidades de proteção do sistema. Em contrapartida, os IEDs são dispositivos mais avançados e versáteis, capazes de executar uma variedade de funções e se comunicar com outros dispositivos em uma rede de energia elétrica (MEMT, 2018).

2.3.1 Norma IEC 61850

A norma IEC 61850, desenvolvida pela International Electrotechnical Commission, é um padrão internacional que define regras para a comunicação e o intercâmbio de informações entre dispositivos de automação, proteção e controle em subestações elétricas. A norma estabelece um conjunto de protocolos e modelos de dados que viabilizam a integração e a troca eficiente de informações entre diversos equipamentos da subestação, como relés de proteção, controladores lógicos programáveis (PLCs), unidades de controle local (LCUs) e sistemas de supervisão e controle (SCADA).

Os relés IED são projetados para serem compatíveis com a norma IEC 61850, o que significa que eles são capazes de comunicar e trocar informações de forma padronizada com outros dispositivos na subestação e no sistema de controle. Isso permite uma integração mais eficiente e uma operação mais inteligente do sistema elétrico (Vicente, 2011).

Além disso, a norma IEC 61850 também define conceitos como arquitetura de rede, modelagem de dados, serviços de comunicação e segurança, que são fundamentais para garantir a interoperabilidade entre os dispositivos de subestação. Os fabricantes de relés IED devem seguir essas especificações ao desenvolver seus produtos para garantir a conformidade com a norma (Vicente, 2011).

Portando, os relés IED são dispositivos que se alinham com os requisitos de comunicação e interoperabilidade estabelecidos pela norma IEC 61850, facilitando a integração e o intercâmbio de informações em sistemas de automação de subestações elétricas.

2.4 Funções de proteções

As funções de proteção são caracterizadas por um código numérico que indica o tipo de proteção a que se destina um relé. Um determinado relé é fabricado para atuar somente em um evento específico, respondendo a esse evento de uma única forma. O relé de sobrecorrente instantâneo do tipo indução, constituído apenas de uma unidade instantânea (função 50), por exemplo, diz-se que o relé é monofunção. Outros relés, no entanto, são fabricados para atuar na ocorrência de vários tipos de evento, respondendo a esses eventos de duas ou mais formas.

Já o relé de sobrecorrente, constituído de uma unidade instantânea (função 50) e uma unidade temporizada (função 51), nesse caso, diz-se que o relé é multifunção (Filho; Mamede, 2024).

A ANSI – *American National Standards Institute*, é quem padroniza as funções de proteção ao seu código numérico correspondente. Na seção de anexos, encontra-se a tabela completa com todas as funções, seus códigos e sua complementação.

2.4.1 Classificações dos relés

Independentemente de suas características construtivo (eletromecânico, estático ou com microprocessador), os relés utilizados nos sistemas elétricos de potência podem ser classificados de acordo com as funções da tabela ANSI. Sendo assim, nesta seção será comentado sobre alguns dos principais relés usados e mais populares, de acordo com sua função e tabela ANSI.

2.4.1.1 Relé de Sobrecorrente (50/51)

Encontra-se relés de sobrecorrente instantâneos e os temporizados, são conectados ao sistema por meio de transformadores de corrente (TC), que trabalham reduzido as correntes reais em escalas menores. Esses relés são mais utilizados, empregados tanto para proteção primária quanto para retaguarda e auxiliar. Sua competência é proteger quase todos os elementos do sistema elétrico de potência, como máquinas rotativas (motor, gerador), transformadores e linhas de transmissão (Ferraro; Artico; Bianco, 2013).

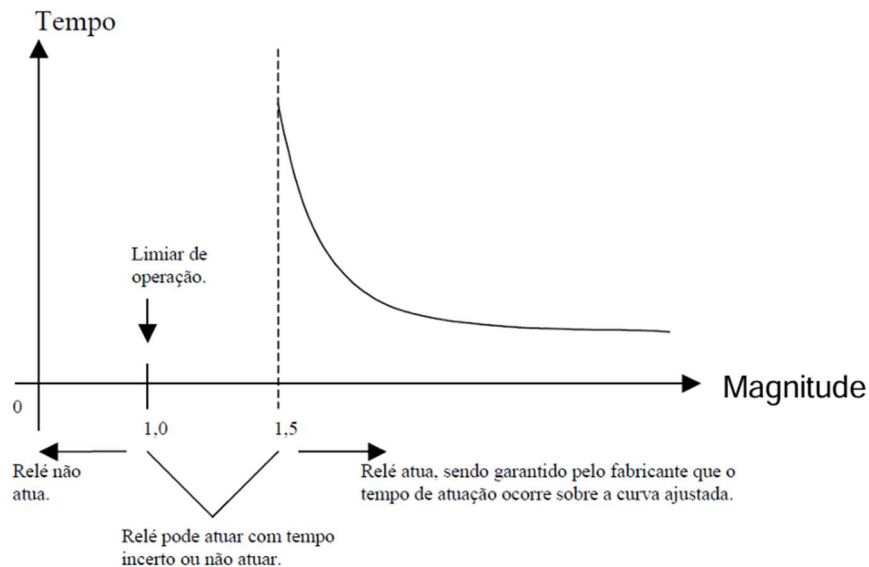
A codificação ANSI dada aos relés de sobrecorrente instantâneos é 50 e para os temporizados 51. Adiciona-se a letra "N" após o número para mostrar que o equipamento será aplicado ao neutro do sistema e "G" quando aplicado no terra do sistema.

Os relés de sobrecorrente instantâneos, atuam imediatamente para qualquer corrente superior ao seu ajuste, dependendo apenas do seu mecanismo de operação. Por outro lado, os relés de sobrecorrente temporizado, tem o tempo de atuação inversamente proporcional a

magnitude da corrente, sendo assim, quanto maior o nível de corrente, menor o tempo de atuação do equipamento (Silva, 2020).

Para o ajuste desses relés, não é designado tempo de atuação e sim uma curva, como mostrado no gráfico na Figura 7.

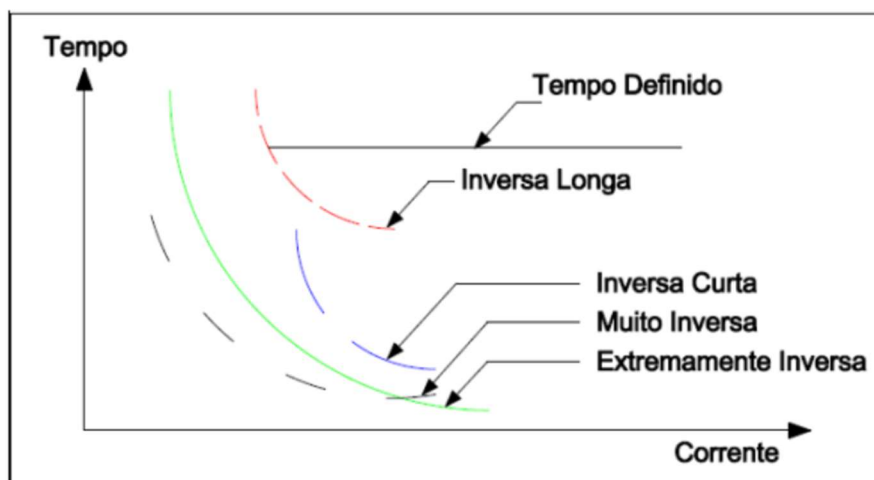
Figura 7 – Curva de Tempo Inverso.



Fonte: Goes (2013).

A norma IEC 60255-3, define quatro curvas de ajuste para os relés de sobrecorrente temporizados, elas são denominadas de inversa longa, inversa curta, muito inversa e extremamente inversa. A Figura 8 retrata essas curvas de ajuste.

Figura 8 – Curvas de ajuste do relé de sobrecorrente temporizado.



Fonte: Kindermann (1999).

De acordo com Silva (2020), o ajuste do relé deve ser optado pela faixa mais inversa da curva, de maneira que aconteça a maior variação do tempo em relação a corrente, pois nas partes mais planas praticamente não existe variação de tempo de atuação. Esse tipo de relé sem

direcionalidade é usado onde se tem o conhecimento do fluxo de corrente. Dessa forma, eles devem ser arranjados com outros dispositivos como religadores, fusíveis e outros tipos de relés.

2.4.1.1.1 Funções complementares do Relé de Sobrecorrente (50/51)

As funções 50/51 tem seus complementos, dentre esses, estar a função 50N (sobrecorrente instantâneo de neutro) e 51N (sobrecorrente temporizado de neutro, com tempo definido ou curvas inversas), que trabalha para realizar a proteção contra sobrecorrente de neutro tem como finalidade identificar as faltas a terra, ou seja, fase-terra ou fase-fase-terra. Fazendo leitura, ou cálculo, da componente sequência de zero presente no neutro de um circuito, é possível determinar se de fato há uma falta no sistema. Ao perceber uma situação anormal, o equipamento solicita a abertura do disjuntor (Guimarães, 2024).

Por outro lado, existe as funções complementares 50GS e 51GS, denominadas respectivamente de sobrecorrente instantâneo de terra e de sobrecorrente temporizado de terra, com tempo definido ou curvas inversas, essas funções de proteção também chamadas de sensível à terra, elas operam detectar a corrente de sequência zero de forma medida, ou seja, elas precisam do tipo TC toroidal ou janela para que realizem a proteção.

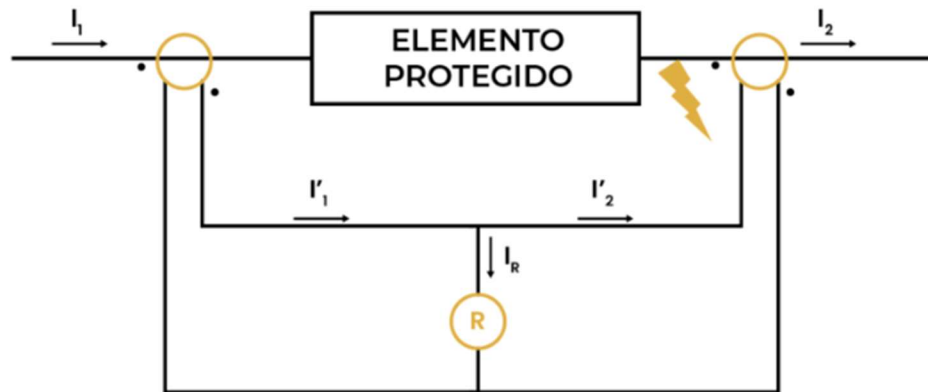
2.4.1.2 Relés Diferenciais (87)

Para Filho e Mamede (2011), o relé diferencial opera com o princípio de funcionamento a comparação entre grandezas elétricas semelhantes, que transitam entre os dois terminais de um equipamento ou de um sistema que se deseja proteger. Caso a diferença dessas grandezas ultrapassa um valor pré-definido, o dispositivo de proteção atua. Normalmente, essa grandeza a ser comparada é a corrente elétrica, relacionado a corrente de entrada em relação a corrente de saída.

Conforme a tabela ANSI, a codificação para esse relé é 87, porém, existe uma tabela completar diversas variações dessa função, que encontra no ANEXO.

Essa proteção pode ser aplicada em diversos equipamentos e zonas, por exemplo: proteção para máquinas síncronas, transformadores de potência e linhas de transmissão. Através da Figura 9, é possível compreender melhor como essa função opera em um sistema.

Figura 9 - Esquema de Proteção Diferencial.



Fonte: Adaptado de Silva (2020).

2.4.1.3 Relés Direcionais (67)

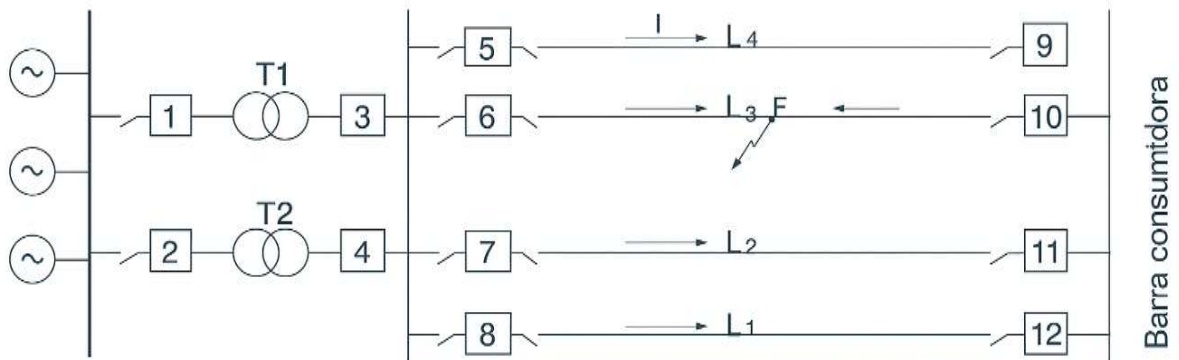
É de praxe as redes de distribuição e linhas de transmissão radiais serem protegidas por relés de sobrecorrente temporizados. No entanto, sistemas que são alimentados por duas extremidades, ou seja, apresentam configuração anel, torna-se necessário implementar relés de sobrecorrente temporizados incorporados a elementos direcionais, isto é, que são sensibilizados ou não pelo sentido em que flui a corrente (relés direcionais de corrente) ou a potência (relés direcionais de potência) (Filho; Mamede, 2024).

Dessa forma, entende-se que os relés proteção com relé direcional tem a habilidade de reconhecer em que sentido está fluindo a corrente ou a potência numa determinada parte do sistema. No instante que a corrente ou a potência fluir num sentido inverso ao normal, o relé direcional tem a obrigação de enviar ao disjuntor um sinal de disparo, proporcionando uma proteção seletiva, a ANSI codifica esse dispositivo com o número 67.

A Figura 10 representa um sistema composto por quatro linhas de transmissão, alimentado por uma fonte formada por três geradores conectados a uma barra de carga. Os disjuntores 9, 10, 11 e 12 estão equipados com relés direcionais. Nesse cenário, a corrente flui da fonte para a carga; no entanto, uma falha no ponto F provoca uma inversão de corrente na linha L3. Como resposta, o relé direcional associado ao disjuntor 10 detecta a inversão e comanda sua abertura, isolando a falha. Nas demais linhas, a corrente mantém seu fluxo normal, e os relés dos disjuntores 9, 11 e 12 não atuam.

Com a existência dos relés direcionais junto aos disjuntores 9, 10, 11 e 12, há necessidades de implementar esse tipo de relé nos disjuntores 5, 6, 7 e 8, para esses basta a presença dos relés de sobrecorrentes 50/51 e 50/51N ou outras funções. Por outro lado, relés dos disjuntores 3 e 4, devem ser operados por relés de sobrecorrente direcionais devido ao paralelo das fontes de geração.

Figura 10 - Indicação de proteção direcional em quatro linhas de transmissão.



Fonte: Filho e Mamede (2024)

2.4.1.4 Relés de Distância (21)

Os relés de distância são dispositivos utilizados para proteção de linhas de transmissão, pois estas apresentam longas distâncias e configurações de sistema bastante complexas, tornando outros dispositivos, como os relés de sobrecorrente, dificultoso para cumprir uma proteção adequada. A sua codificação pela tabela ANSI é o número 21, encontrase de admitância, reatância e impedância, sendo este último o mais comum.

Os dispositivos tipo impedância têm o tempo de atuação proporcional à distância entre o local de instalação do dispositivo e o local do defeito. Normalmente, são instalados no início da linha e alimentados por tensão e corrente do próprio circuito protegido. Esses relés processam a tensão aplicada em seus terminais, ligados por meio dos transformadores de potencial (TPs), ao sistema de potência e à corrente de defeito que circula no mesmo ponto, resultando na expressão V/I , de onde originou-se o nome do dispositivo, uma vez que tal grandeza determina a distância de um trecho do alimentador a partir da impedância do condutor. Caso a impedância medida for menor que o valor de ajuste do relé, ele deve atuar (Filho; Mamede, 2024).

2.4.1.5 Relés de Tensão (27/59)

Os relés de tensão são constituídos por sub e sobretensão, de acordo com a tabela ANSI, a codificação para o elemento subtensão é o número 27 e o número 59 representa os relés de sobretensão.

Silva (2020) em seu trabalho diz que os dispositivos de subtensão tem objetivo de realizar a proteção de sistemas submetidos a níveis de tensão inferiores aos valores mínimos necessários aos equipamentos em operação. Para os relés de subtensão temporizados, tem o seu valor de

ajuste de 90% do valor nominal e para os relés instantâneos esse ajuste é de 80% do valor nominal. Esses dispositivos podem operar em proteção monofásica e também proteção trifásica.

Por outro lado, Silva (2020) descreve os relés de sobretensão, como sendo os dispositivos a designados a proteção de sistemas submetidos a níveis de tensão superior aos valores máximos necessários para os equipamentos em operação. Os relés de sobretensão podem ser temporizados, o valor de ajuste é de 115% do valor nominal e para os relés instantâneos o valor é de 120% do valor nominal. Esses dispositivos podem atuar tanto para proteção monofásica, assim como proteção trifásica.

2.4.1.6 Relés de Religamento (79)

Esses dispositivos são aplicados para o religamento do sistema quando as condições normais do circuito foram restituídas. Codificado com o número 79, esse relé trabalha associado a um religador. O seu funcionamento é enviar um sinal para o fechamento automático do religador que desconectou o sistema.

Os relés de religamento somente devem ser aplicados nas subestações de potência para proteção do alimentador de distribuição ou em linhas de transmissão. Nesses sistemas, é muito grande a porcentagem de defeitos transitórios como, por exemplo, o toque de galhos de árvore nos cabos condutores aéreos durante a passagem de uma onda de vento de maior intensidade. O defeito é logo removido sem a necessidade de deslocamento de uma turma de manutenção. Caso contrário, sem o emprego do relé de religamento, a turma de manutenção deveria percorrer o alimentador à procura de anormalidades que geralmente não iria encontrar nesse caso específico, antes de religar o disjuntor na subestação (Filho; Mamede, 2024, p 260).

No instante que ocorre algum pico de corrente, surto de manobra, como exemplo, o relé de religamento poderia atuar, mas ele é equipado com um sistema de bloqueio que é ligado a uma unidade de atuação instantânea de um relé de sobrecorrente. Caso o defeito seja permanente, a proteção temporizada do relé de sobrecorrente fará o desligamento do religador.

2.5 Obsolescência do relé de proteção

A obsolescência de relés de proteção em sistemas elétricos é um fenômeno que ocorre quando esses dispositivos se tornam desatualizados ou não atendem mais aos requisitos técnicos, normativos ou operacionais. A determinação de obsolescência de um relé de proteção pode depender de vários fatores, e as regras específicas podem variar de acordo com a indústria, as normas aplicáveis e as políticas da organização.

A obsolescência tecnológica pode ser interpretada como uma transição da disponibilidade do fabricante original para a indisponibilidade, aliado a uma transição permanente da operabilidade para a não funcionalidade devido a razões externas, a primeira definição sujeita-se ao suporte do fabricante e a segunda do desempenho do equipamento em serviço (Cesar et al, 2020). No entanto, aqui estão algumas considerações gerais que podem nos ajudar a avaliar se um relé de proteção está obsoleto:

Avanços Tecnológicos: o rápido avanço da tecnologia pode tornar os modelos mais antigos de relés obsoletos, uma vez que versões mais recentes podem oferecer recursos aprimorados, melhor desempenho e maior eficiência.

Idade do equipamento: relés de proteção têm uma vida útil limitada, se um relé é muito antigo, pode ser considerado obsoleto devido à falta de suporte do fabricante, peças de reposição e avanços tecnológicos.

Descontinuação pelo fabricante: se o fabricante do relé de proteção descontinuar o modelo específico, isso pode levar à obsolescência, já que futuras atualizações de firmware, suporte técnico e peças de reposição podem não estar mais disponíveis. Quando um fabricante interrompe a produção ou suporte técnico para um modelo específico de relé, pode resultar em obsolescência, pois a falta de atualizações de firmware e peças de reposição torna a manutenção difícil.

Compatibilidade com novos sistemas: se o relé não é compatível com os requisitos dos sistemas modernos ou não pode ser integrado eficientemente a novas tecnologias, pode ser considerado obsoleto.

Normas atuais: mudanças nas normas e regulamentações podem tornar um relé de proteção obsoleto se eles não estiverem em conformidade com os padrões mais recentes de segurança e desempenho. Relés que não atendem mais a essas normas podem ser considerados obsoletos.

Capacidade de manutenção: se a manutenção do relé se torna difícil devido à falta de documentação, suporte técnico ou disponibilidade de peças, isso pode ser um indicativo de obsolescência.

Eficiência e Desempenho: relés mais antigos podem não ser tão eficientes quanto modelos mais recentes em termos de desempenho e funcionalidades. Se um relé não atende mais às necessidades operacionais da instalação, pode ser considerado obsoleto.

Disponibilidade de peças de reposição: a falta de disponibilidade de peças de reposição pode tornar a manutenção do relé difícil ou impossível, levando à obsolescência.

Contudo, antes de declarar um relé de proteção como obsoleto, é aconselhável consultar as diretrizes do fabricante, as normas relevantes da indústria e os requisitos operacionais específicos da instalação. Além disso, a análise de custo-benefício e a avaliação de riscos associados à obsolescência também são aspectos importantes a serem considerados e isso estará feito junto a proposta do projeto de retrofit.

2.6 Subestações de Energia Elétrica

Mamede (2021) explica que há distintas maneiras de denominar uma subestação (SE), pode ser um grupo de equipamentos, dispositivos e condutores elétricos cuja finalidade de modificar as características da energia elétrica (tensão, corrente e frequência), permitindo a sua distribuição aos pontos de consumo em níveis desejáveis para utilização. Outrossim, pode ser representada como parte de um sistema de potência, associado aos terminais de uma ou mais linhas de transmissão e de um ou mais alimentadores de distribuição, sejam eles industriais, urbanos ou rurais, contendo equipamentos de transformação (ou não) e de manobra e de dispositivos de controle e proteção.

Para Mamede (2021) as subestações podem ser classificadas baseado em níveis de tensões, sendo assim, tem-se as elevadoras, que eleva os níveis de tensão, no qual a tensão de saída maior que tensão de entrada; abaixadora, que diminui os níveis de tensão, que tem a tensão de saída menor que tensão de entrada e subestação de manobra, que serve para chaveamento de trechos da rede, para fins de proteção em momento de manutenção ou mesmo suprir falhas, essas mantem o nível de tensão da saída igual ao de entrada. Existe a subestação de compensação, que é aquela responsável por injetar energia reativa indutiva e/ou capacitiva no SEP.

Tratando-se das subestações de média tensão, que são instalações no qual o nível de tensão varia de 1 a 36,2kV. A norma que preconiza os requisitos mínimos que devem ser adotados nesse tipo de instalação é a NBR14039. Outra maneira de dividi-las é de acordo com

sua característica construtiva e ao seu local de instalação, sendo assim, elas podem ser Subestação Abrigada em Alvenaria, Subestação Blindada, Subestação ao tempo, Subestação Compacta, Subestação Aérea ou Posto Simplificado e Eletrocentro.

Mamede (2021), em seu livro Subestações de Alta tensão, cita o modelo de subestação móvel ou semimóvel, que é aquela montada sobre um veículo motorizado ou podem ser somente embarcadas e tem por objetivo atender a situações específicas, como emergenciais, mineração e entre outras, pode-se ver uma SE desse modelo nas Figura 11, Figura 15 e no Anexo B.

Figura 11 – Eletrocentro WEG.



Fonte: WEG (2024).

2.7 Características de um Sistema de Proteção

Os autores como Filho e Mamede (2024) e Sato e Freitas (2015), consideram que para a proteção atuar de maneira eficaz e precisa, o sistema deve atender algumas características indispensáveis, sendo elas as seguintes:

- **Sensibilidade:** é a competência de operar na menor margem de tolerância nas situações anormais, em reconhecer sobrecargas de rotinas.
- **Velocidade:** é a rapidez/habilidade do sistema de proteção atuar após uma falha. Essa é característica fundamental para o sistema, haja visto que, não é desejável uma corrente de curto-circuito transitar nos enrolamentos das máquinas por tempo indefinido.
- **Confiabilidade:** trata-se da certeza que o sistema irá operar somente em condições anormais conforme ele foi projetado.

- **Segurança:** é a habilidade do sistema não operar para faltas que acontecem fora da sua zona de proteção, atuando somente na zona que no qual foi projetado.
- **Seletividade:** trata-se de a competência do sistema isolar somente os elementos que estão em falta, assegurando que a menor parte do sistema seja desligada e danificada.

3 PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO

3.1 Desenvolvimento

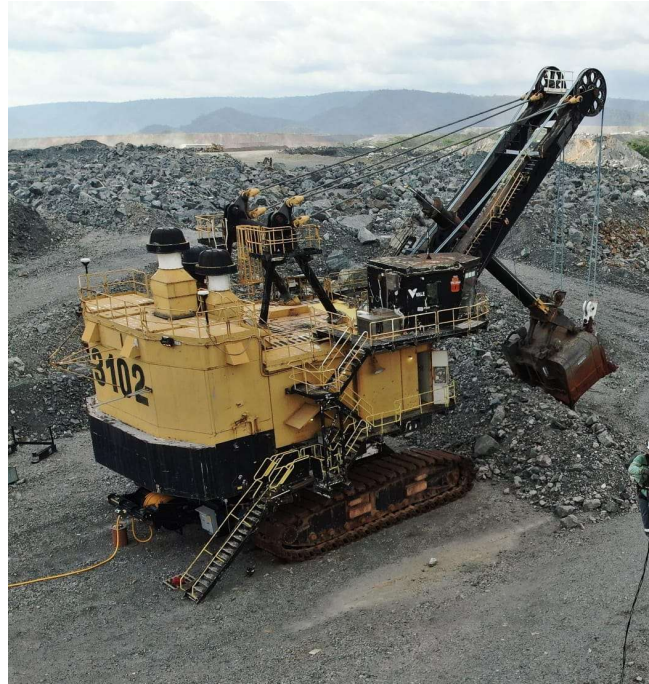
Para alcançar o objetivo desse trabalho, foi realizado um levantamento de quantos e quais os modelos e fabricantes dos relés que são utilizados nos circuitos que alimentam as subestações e painéis de controle e proteção localizados na área da mina do Sossego, localizado em Canaã dos Carajás, no sudeste do estado do Pará.

Nesse contexto, foi feita a verificação se os atuais relés usados estão obsoletos, usando dados dos seus devidos fabricantes e bibliográficas referências no assunto. Com essas informações, foi proposto a modernização do sistema de proteção e controle dentro da mina, mostrado como realizar esse retrofit e aliado com suas vantagens, além de deixar claro as desvantagens e perigos dos relés obsoletos. É importante deixar claro que, por se trata de um trabalho realizado dentro de uma empresa privada, não será abordado valores financeiros e econômicos.

Hoje, na mina do Sossego, a equipe de manutenção elétrica de mina, denominada Redes e Linhas (REDEL), é responsável pela instalação e manutenção das subestações (SE), quadros de distribuição (QD) e painéis de controle e proteção (PC) de média e baixa tensão, usados para atender escavadeiras e perfuratriz elétricas e o bombeamento que realiza a drenagem da água de dentro das cavas.

As escavadeiras, Figura 12, e as perfuratrizes elétricas são alimentadas por uma tensão de 13,8 kV, conectando-se à rede elétrica em uma configuração radial, conhecida como anel da mina. A interligação entre a rede elétrica e as máquinas é realizada por meio de subestações, que são compostas por três partes principais: quadro de distribuição (QD) de entrada, transformador isolador e QD de saída, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 12 – Escavadeira elétrica, tensão de alimentação 13.8 kV.



Fonte: próprio autor.

O QD de entrada, posicionado antes do transformador isolador, é responsável pela proteção da entrada desse ativo, enquanto o QD de saída protege o trecho entre a saída do transformador e a carga. Essa configuração garante a segurança e a eficiência no fornecimento de energia para os equipamentos.

Figura 13 – SE móvel 13.8 kV.



Fonte: próprio autor.

Por outro lado, os motores com bombas d'água com acoplamento, bombas centrífugas, Figura 14, os quais fazem processo de drenagem da água das cavas, são equipamentos que trabalham na média tensão, com alimentação de 4.160 kV. Para atender esse tipo de bombeamento, é necessário utilizar transformador abaixador de tensão, de 13.8 kV para 4.160 kV, com painéis de proteção na entrada e na saída de desse transformador.

Figura 14 – Painéis e motores 4.160 kV.

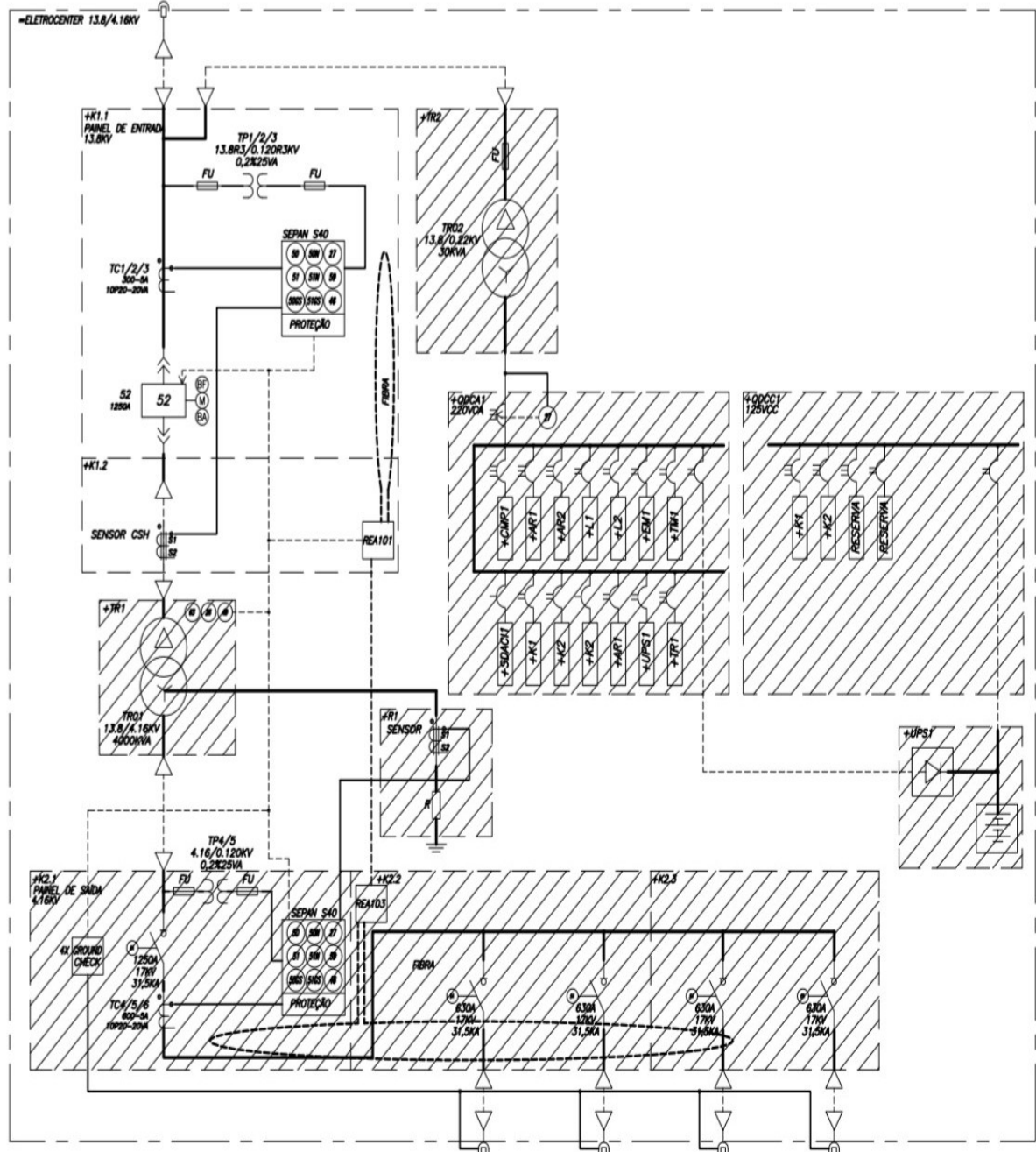


Fonte: próprio autor.

A seguir, a Figura 15 é parte do diagrama de uma das subestações abaixadora. Nele, é possível identificar a parte circuito de alimentação de entrada, ou seja, o cubículo, o transformador abaixador, e o circuito com o cubículo de saída. Ambos cubículos, entrada e

saída, tem os seus relés de proteção, nesse caso são relés digitais do modelo SEPAM S40, da Schneider Electric.

Figura 15 - Diagrama unifilar 13.8kV ~ 4.16kV.



Fonte: Eaton LTDA (2011).

A Figura 16 é de uma subestação abaixadora de 13.8 kV para 4.16 kV, composta com dois relés digitais de proteção, um na entrada e outro na saída.

Figura 16 - Subestação abaixadora de 13.8 kV para 4.16 kV.



Fonte: próprio autor.

Antes da modernização, a maioria dos relés utilizados nos quadros de distribuição e painéis era composta pelos tipos MIF, MIF II (da General Electric, GE) e pelos relés do tipo SEPAM (da Schneider Electric), especificamente os modelos M20, M41, S20 e S40. Também era utilizado o relé de tipo REF 615, fabricado pela ABB (Asea Brown Boveri), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Relés de proteção da Redes e Linhas.

FRABRICANTE	TIPO DE RELÉ	MODELO
GE	MIF I	MIFNA05E200H00C
	MIFII	MIFIIPA55E10HI00
SCHNEIDER	SEPAM	S40
		S20
		M40
		M41
		M20
ABB	SÉRIE 615	REF-615

Fonte: próprio autor.

MIF I e MIF II são considerados relés de proteção digitais, mas não são classificados como IEDs, embora esses relés possam ser avançados em termos de funcionalidades de proteção digital, medição e comunicação, eles geralmente são mais simples em comparação com os IEDs. Eles são projetados principalmente para fornecer funções básicas de proteção em sistemas de energia elétrica, como proteção de sobrecorrente, proteção de falta de terra, proteção de sobretensão, entre outras (General Electric, 2024).

Os relés SEPAM das séries 20 e 40 até podem ser considerados IEDs, por conta de suas características, são projetados para oferecer proteção, controle, medição e monitoramento em sistemas de energia elétrica, porém são mais simples em comparação com os IEDs atuais.

É relevante destacar que os relés de proteção são instalados em cubículos e quadros de distribuição em ambientes externos, ficando expostos a condições adversas, como altas temperaturas, poeira e resíduos provenientes da atividade mineradora, o que pode comprometer tanto a vida útil quanto o desempenho de seus componentes eletrônicos. Estudos mostram que temperaturas elevadas aceleram a degradação de materiais isolantes e circuitos, por exemplo, manter relés operando acima de 70 °C pode reduzir significativamente sua vida operacional, enquanto partículas de poeira podem aumentar atrito, provocar desgaste mecânico e impedir o resfriamento adequado (Delcon, 2025).

Diante das condições ambientais adversas mencionadas anteriormente, torna-se essencial a realização de testes periódicos e manutenções preventivas nos relés de proteção instalados em sistemas elétricos. Essas práticas permitem identificar falhas incipientes, garantir a confiabilidade operacional e prolongar a vida útil dos dispositivos. Segundo IEEE (2024), procedimentos de ensaio e manutenção preventiva reduzem significativamente a probabilidade de falhas ocultas em relés digitais e microprocessados.

A manutenção preventiva deve incluir inspeções visuais em busca de sinais de superaquecimento, corrosão ou danos físicos, além de testes elétricos de desempenho de comutação e resistência de isolamento. A documentação das tendências de desempenho dos relés permite estratégias de substituição preditiva que minimizam falhas inesperadas (Delcon, 2025).

3.2 Relé MIF I

Segundo a General Electric (2024), o MIF, Figura 17, é membro da família M de relés de proteção, trata-se de um relé microprocessado que fornece proteção de circuito primário em redes de distribuição a todos níveis de tensão e proteção de backup/auxiliar para transformadores, geradores e motores.

Os artifícios de proteção compreendem sobrecorrente temporizada trifásica, sobrecorrente instantânea de fase (dois níveis Hiset e Loset), sobrecorrente temporizada de terra, sobrecorrente instantânea de terra (dois níveis Hiset e Loset) e proteção de imagem térmica. Cada recurso de proteção pode ser habilitado seletivamente através do painel frontal ou via comunicação. Configurações flexíveis, curvas selecionáveis e a escolha de uma curva de

sobrecorrente configurável pelo usuário permitem uma coordenação precisa com outros dispositivos (General Electric, 2024).

Figura 17 - Relé MIF I.



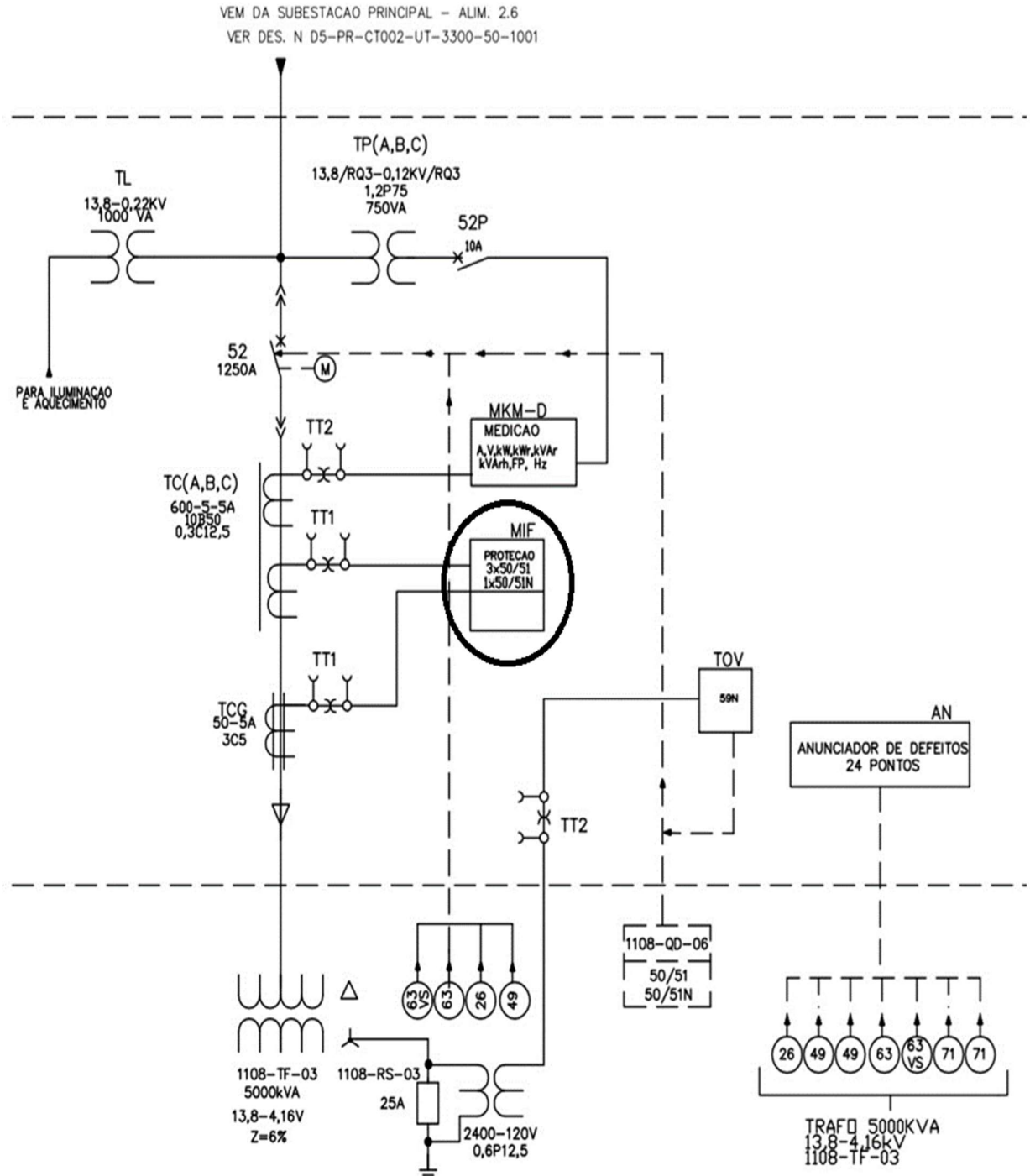
Fonte: próprio autor.

3.3 Relé MIF II

De acordo com General Electric (2024), parte da família M II de relés digitais são econômicos e altamente funcionais, propõe proteção extenso para alimentadores de distribuição e pode ser usado para proteção de backup de transformadores, barramentos, geradores e motores de grande porte. Além da proteção do alimentador, o MIF II abranger controle integrado do disjuntor (aberto/fechado) e funções de religador. Para acrescentar seus recursos de proteção e controle, os controles fáceis de usar do relé e o software de configuração plug and play tornam este produto muito fácil de configurar e usar.

A Figura 18 é um recorte de um diagrama unifilar de uma subestação composta com transformador abaixador, que alimenta um sistema de bombeamento com bombas de média tensão 4.160 kV, esse recorte trata-se do cubículo de entrada, no qual tem finalidade de proteger um transformador com potência de 5000 kVA, que tem como relé proteção o MIF II (em destaque no diagrama) com as funções proteções de sobrecorrente instantâneos e os temporizados (50/51) para três fases, sobrecorrente instantâneo de neutro (50N) e sobrecorrente temporizado de neutro (51N).

Figura 18 - Diagrama unifilar QD entrada da 1108SE01.



Fonte: Orteng (2008).

3.4 MIF I e MIF II, outros recursos e suas descontinuidades

Nesta seção será abordado os recursos dos relés MIF I e MIF II, com ênfase em suas descontinuidades. Na tabela 2, é possível ver e verificar a quantidade e onde estão localizados os relés dos tipos MIF I e MIF II utilizado na área da mina do Sossego. Por outro lado, a Tabela 3 exibe os recursos dos dois modelos utilizados nos painéis e quadro de distribuição, MIFIIPA55E10HI00 e MIFIIPA55E10HI00 são os códigos referentes aos dois modelos, denominado de código de pedido, representa quais são as proteções e benefícios que compõe o relé.

Tabela 2: Relés modelos MIF e MIF II

LOCALIZAÇÃO	BANCO	PAINEL	TIPO DE RELÉ	MODELO DE RELÉ	N/S DO RELÉ	STATUS
PATÍO DA REDEL		1108QD48	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	91228401	QD EM MANUT.
TQ-02		1108QD14	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	91228803	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	FASE 4	SE01	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	91228701	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	FASE 4	SE01	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	91316805	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	FASE 4	SE01	MIF I	MIFNA05E200H00C	90378901	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	FASE 4	SE01	MIF I	MIFNA05E200H00C	90424802	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	FASE 4	SE01	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	91150308	EM OPERAÇÃO
3101		SE03	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	991255503	EM OPERAÇÃO
2103		1108QD36	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	91228804	EM OPERAÇÃO
2103		1108QD12	MIF II	MIFIIPA55E10HI00	9122802	EM OPERAÇÃO
TOTAL DE MIF II					8	
TOTAL DE MIF I					2	

Fonte: próprio autor.

Em 2009, a GE publicou uma nota avisando sobre o fim da fabricação dos relés da Família MI, número de publicação GE: GER-4352^a.



A GE Digital Energy está anunciando a descontinuação da família de relés Multilin MI. Em 2003, a GE Multilin lançou a família de relés Enhanced MII para incorporar grandes avanços tecnológicos. A plataforma MII de relés de proteção fornece aos usuários recursos e funcionalidades adicionais a um custo econômico, quando comparada à plataforma MI (General Electric, 2009).

Esse comunicado foi revisado em 2018, nele tem outra informação importante, no qual a marca informa que continuará a apoiar a família MI e os usuários relé existentes por até 7 anos, até 1º de abril de 2017. A fabricante se comprometeu de ajudar no desenvolvimento de um plano de migração para a família MII.

Sobre a família MIF II, a empresa publicou a nota de número e Trecho GER-4795, que avisa o seguinte;

Em abril de 2017, a GE anunciou a descontinuação da fabricação e venda do MIFII e MIVII devido à disponibilidade de substituições de produtos mais recentes na Série Multilin 3 e ofereceu uma oportunidade de compra de última hora (General Electric, 2017).

Tabela 3: Recursos do MIF e MIF II.

Multilin TM da família M & MII		
RECURSO	MIF I - FUMIM	MIF II - FUMIM II
Proteção & Controle	Sobrecarga térmica: 49	Sobrecarga Térmica: 49
	COI: 50PH, 50PL, 50GH, 50GL, 50NH, 50NL	COI: 50P (2), 50G(2)
	Índice: 51G, 51N, 51P	Índice: 51G(1), 51P(1)
	Captação de carga fria: CLP	Religamento automático: 79
	Falha do disjuntor: 50BF	Captação de carga fria: CLP Falha do disjuntor ao abrir
Monitoramento & Medição	Saúde do Disjuntor, Gravação de eventos	Saúde do Disjuntor Gravação de eventos
Oscilografia	8 amostras/ciclo comprimento máximo 24 ciclos	8 amostras/ciclo comprimento máximo 24 ciclos
Serial de Comunicação	Serial (RS232, RS485) protocolos: Modbus RTU	Serial (RS232, RS485) protocolos: Modbus RTU, IEC 60870-5-103
Hardware	2 entradas digitais, 6 saídas de relé, E/S configurável, Lógica Configurável, 4 LEDs configuráveis e 2 LEDs fixos	2 entradas digitais, 6 saídas de relé, E/S configurável, Lógica Configurável, 4 LEDs configuráveis e 2 LEDs fixos

Fonte: próprio autor.

3.5 Características do relé para substituir os MIF I e MIF II

A General Electric além de informar que os relés das famílias MI e MII estão descontinuados, ela sugere outros dispositivos para ser usados no lugar desses. Um dos relés sugerido é o Multilin™ 350 é membro da plataforma de relés de proteção Multilin Série 3. Inclusive, a GE fornece um manual de Instruções de Retrofit Multilin™ Série 3, como substituir os relés MIF I e MIF II, dicas como realizar esse retroajuste, fornecendo soluções de proteção funcionais e econômicas atualizadas para alimentadores, motores e transformadores. As características desses dispositivos são as seguintes:

- a) Proteção e Controle;
- Funções abrangentes de proteção de corrente, tensão e frequência;
 - Potência Direcional e Falta à Terra Watt métrica;
 - Grande variedade de curvas de proteção;
 - Funções Synchrocheck, CLP, Bloqueio de 2º Harmônico, Falha de Disjuntor e Bloqueio;
 - Coleta de carga fria (etapa inicial de medição e análise da corrente elétrica que flui quando um equipamento é ligado e sua carga ainda não atingiu a temperatura de operação normal;

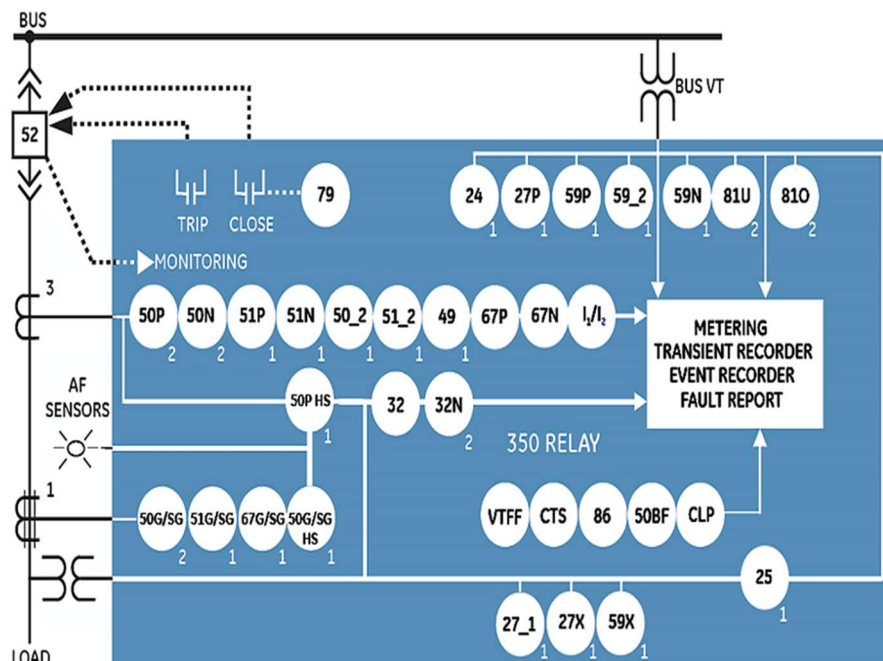
- Falha do disjuntor, sobrecarga;
- Religamento automático;
- Proteção integrada contra arco elétrico.

Este dispositivo de proteção é utilizado para fornecer proteção de circuito primário ou de backup em alimentadores ou transformadores de média ou alta tensão e proteção a jusante para equipamentos de distribuição de serviços públicos e industriais. Esse relé, pode ser usado para uma ampla variedade de aplicações de proteção em sistemas de energia, como proteção de transformadores de AT/MT ou MT/BT ou proteção de banco de capacitores (General Electric, 2024).

A proteção básica fornecida por este relé inclui múltiplos elementos de fase, terra, neutro e sobrecorrente instantânea para coordenação com dispositivos a montante e a jusante. Agora ele é aprimorado com funcionalidade integrada de detecção de arco elétrico usando sensores de luz supervisionados por sobrecorrente para reduzir a energia incidente e danos ao equipamento. Além disso, o dispositivo fornece recursos essenciais de controle do alimentador, como bloqueio de pickup de carga fria, bloqueio de 2º harmônico, falha de disjuntor, verificação de sincronismo e religamento automático (General Electric, 2024).

O robusto Multilin™ 350 agiliza os processos de fluxo de trabalho do usuário e simplifica tarefas de engenharia, como configuração, fiação, testes, comissionamento e manutenção, a Figura 19 ilustra o diagrama de blocos desse dispositivo e a Tabela 4 exibe as possíveis funções que o relé em questão pode ter.

Figura 19 - Diagrama de blocos funcionais do relé de proteção do alimentador Multilin 350.



Fonte: General Electric (2024).

Tabela 4: Números e funções de dispositivos ANSI® do relé Multilin™ 350.

NÚMERO DO DISPOSITIVO	NÓ LÓGICO 61850	DESCRIÇÃO
24	HPVP	<i>Volts por Hertz</i>
25	RSYN	<i>Verificação de sincronização</i>
27_1	psseqPTUV	<i>Subtensão de sequência positiva</i>
27P	phsPTU	<i>Subtensão de Fase</i>
27X	auxPTUV	<i>Subtensão Auxiliar</i>
32	PDO P	<i>Potência Direcional</i>
32N	ndPDOP	<i>Falta à terra Wattimétrica</i>
I1/I2 OU 46BC		<i>Condutor Quebrado</i>
49	PTIR	<i>Sobrecarga térmica</i>
50_2	ngseqPIOC	<i>Sobrecorrente de sequência negativa</i>
50 francos suíços	RBRF	<i>Falha do disjuntor</i>
50G/GB	gndPIOC/hsePIOC	<i>Sobrecorrente Instantânea de Terra (ou Terra Sensível)</i>
50N	ndPIOC	<i>Sobrecorrente Instantânea Neutra</i>
50P	phsPIOC	<i>Sobrecorrente instantânea de fase</i>
51_2	ngseqPTOC	<i>Sobrecorrente temporal de sequência negativa</i>
51N	ndPTOC	<i>Sobrecorrente de Tempo Neutro</i>
51G/SG	gndPTOC/hsePTOC	<i>Sobrecorrente temporal de terra (ou terra sensível)</i>
51P	phsPTOC	<i>Sobrecorrente de tempo de fase</i>
59_2	ngseqPTOV	<i>Sobretensão de sequência negativa</i>
59N	ndPTOV	<i>Sobretensão Neutra</i>
59P	phsPTOV	<i>Sobretensão de Fase</i>
59X	auxPTOV	<i>Sobretensão Auxiliar</i>
60CTS		<i>Supervisão de TC</i>
67G/SG	gndRDIR	<i>Elemento direcional de aterramento (ou aterramento sensível)</i>
67N	ndRDIR	<i>Elemento Direcional Neutro</i>
67P	phsRDIR	<i>Elemento Direcional de Fase</i>
79	RREC	<i>Religamento automático</i>
81O	PTOF	<i>Sobrefrequência</i>
81U	PTUF	<i>Subfrequência</i>
86		<i>Bloqueio</i>
CLP		<i>Captação de carga fria</i>
V1FF (60VTS)		<i>Falha no fusível de tensão</i>

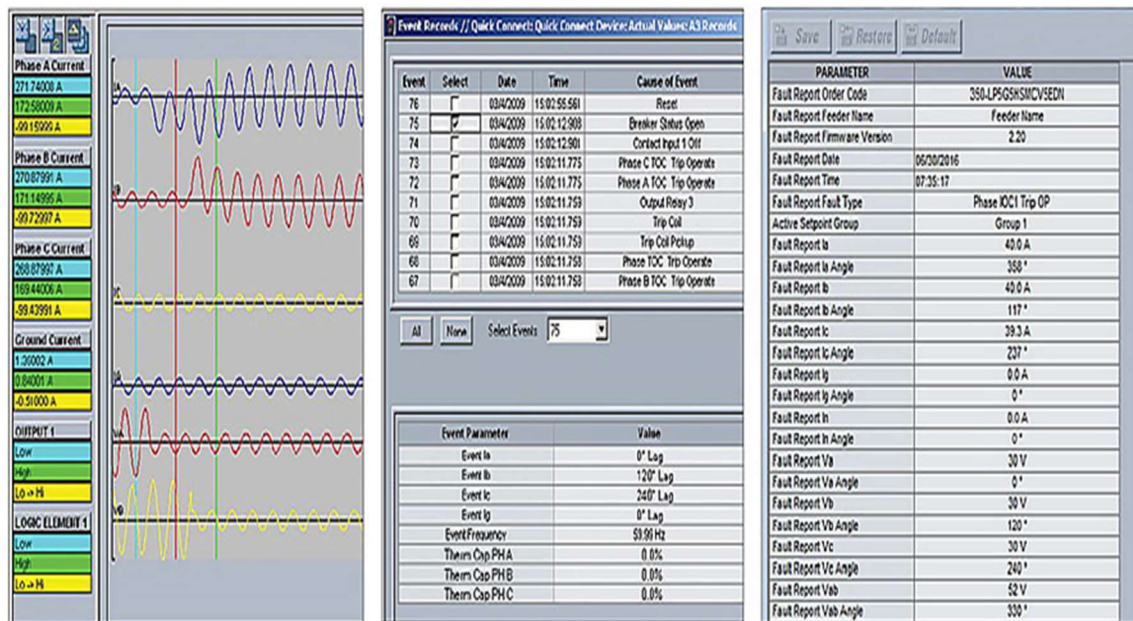
Fonte: General Electric (2024).

b) Monitoramento e Medição;

- Medição abrangente;
- Gravador de eventos: 256 eventos (carimbo de data e hora de 1 ms);
- Oscilógrafa programável até 32 amostras por ciclo e estados digitais e Relatório de Falhas;
- Diagnóstico de integridade do relé;
- Monitoramento do disjuntor e supervisão de TC/TP;
- Segurança e controle de senha;
- Sincronização de horário SNTP, IRIG-B ou IEEE 1588: O IEEE 1588 sincroniza o tempo entre diferentes nós em uma rede Ethernet quando a sincronização precisa do tempo é necessária, e o IRIG-B permite que o registro de data e hora dos eventos seja sincronizado entre os dispositivos conectados dentro de 1 milissegundo (General Electric, 2024)

Solução de problemas do sistema de energia conforme a Figura 20:

Figura 20: Análise de distúrbios do sistema de energia com registrador de falhas transitórias e registros de eventos.



Fonte: General Electric (2024).

General Electric (2024), monitoramento de bobina de disparo/fechamento: O Multilin™ 350 pode ser usado para monitorar a integridade das bobinas e circuitos de disparo e fechamento do disjuntor. As entradas de supervisão monitoram ambos os níveis de tensão auxiliar, enquanto as saídas monitoram a continuidade dos circuitos de disparo e/ou fechamento, aplicando uma pequena corrente através dos circuitos.

Sobre o Monitoramento de temperatura, a fabricante afirmar que: Multilin™ 350 monitora continuamente a temperatura ambiente ao redor do relé e emite alarmes quando o dispositivo é exposto a temperaturas extremas.

Diagnóstico avançado de integridade do dispositivo: Esses testes de diagnóstico monitoram condições que podem impactar e apresentar o status do dispositivo por meio de comunicações SCADA e display do painel frontal.

c) Comunicação

- Opções de USB frontal e serial traseira, Ethernet;
- Vários protocolos de comunicação que suportam padrões líderes do setor.

Comunicação avançada (detalhes): Esse dispositivo incorpora as mais recentes tecnologias de comunicação, tornando-o o relé de proteção de alimentador mais fácil e flexível para uso e integração em infraestruturas novas e existentes. O relé Multilin™ 350 fornece ao usuário uma porta de comunicação USB frontal e uma porta de comunicação RS485 traseira. Está uma porta de comunicação traseira com Ethernet Fibra e Cobre.

d) Hardware

- Display de 4 linhas para fácil visualização dos principais dados;
- Indicadores LED 12/10 para diagnóstico rápido;
- Indicadores LED programáveis para alvos específicos;
- Opções de design desenhadas ou não desenhadas.

Esse modelo de relé, apresenta as seguintes entradas e saídas para monitoramento e controle de aplicações típicas de alimentadores:

- 10 entradas de contato com limites programáveis;
- 2 saídas para abertura e fechamento do disjuntor com monitoramento de bobina e 5 relés de saída.

A General Electric informa que esse relé é oferecido em construção extraível ou não extraível, conforme é exibido na Figura 21. No design de caixa extraível, simplifica a instalação e melhora a segurança do local, pois é eliminada a necessidade de abrir as portas do painel ou religar o dispositivo após o teste. Flexibilidade de aplicação e facilidade de fiação: Terminais removíveis facilitam a fiação e testes ou solução de problemas no sistema, a Figura 22 ilustrar a interface do relé.

Figura 21: relé 350 com e sem extração.



Fonte: General Electric (2024).

Figura 22: Interface de usuário.



Fonte: General Electric (2024).

3.6 Retrofit dos MIF I e MIF II com Multilin™ 350

Nesta seção será abordado como pode ser feita a troca do relé antigo por um mais novo, mas vale lembrar que antes de qualquer alteração mecânica ou elétrica ser feita, deve ser feito backup do arquivo de configurações do relé Multilin MII em uso, a General Electric disponibiliza em seu site instruções de como realizar conversão do arquivo do MIF II para o Multilin 350.

Para substituir um relé da família MII ou M por um relé da Série 3, é necessário seguir as etapas seguintes, é preciso quatro arruelas zincadas M4 Din9021 para instalar um relé Série 3 em um recorte MII ou M existente. Certifique-se de que o arquivo de configurações MII tenha sido salvo antes de desconectar um relé MIF II instalado. As Figuras 23, 24, 25 e 26, mostram um relé da família MII, porém as mesmas etapas também se aplicam a um relé M.

1. Desconecte a alimentação e todos os fios da unidade MIF II ou MIF I instalada;
2. Para um relé MIF II, abra as laterais para acessar as cabeças dos parafusos;
3. Desaparafuse os quatro parafusos de montagem;
4. Remova cuidadosamente o relé MIF II;
5. Remova os cliques de montagem dos orifícios dos parafusos, nas Figuras 23 e 24 é visto como deve-se fazer essas 5 etapas iniciais;

Figura 23- Retirando os parafusos.



Fonte: General Electric (2017).

Figura 24 - Retirando o relé.



Fonte: General Electric (2017).

6. A sexto passo, é para inseri o relé Série 3 no recorte vazio do painel, de acordo com a Figura 25;

Figura 25 - Inserindo o relé 350.



Fonte: Retrofits Multilin™ Série da família M & MII (2017).

7. Para concluir a instalação, vá até a parte traseira do painel, de acordo com a Figura 26.

Figura 26 - parte traseira do relé novo.



Fonte: General Electric (2017).

8. Na parte traseira do relé, fixe-o com os novos parafusos da Série 3 e arruelas zincadas M4 Din9021 com um torque de 18 pol/lb, seguindo conforme a Figura 27.

Figura 27 - fixando o novo relé.

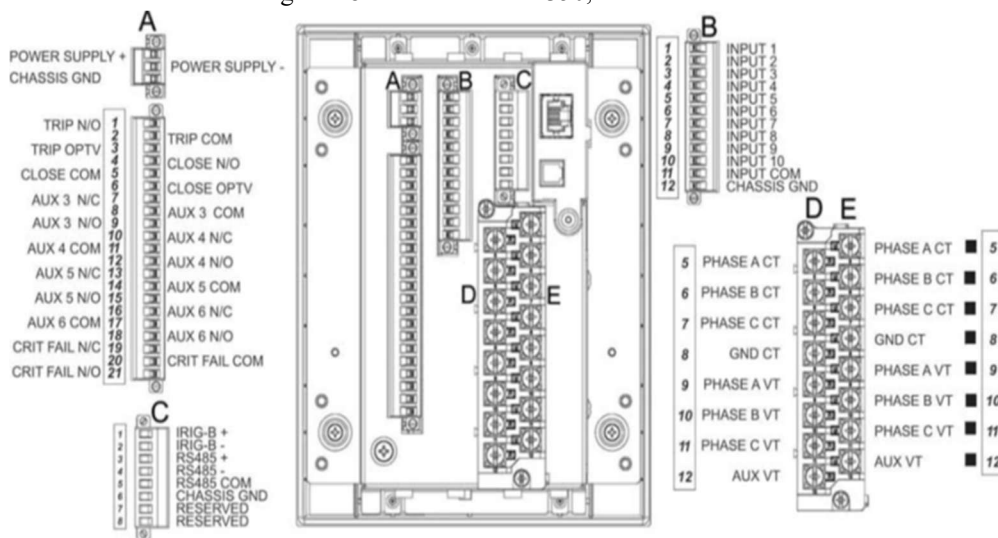


Fonte: General Electric (2017).

Os parafusos do relé MIF I e MIF II não podem ser reutilizados para instalação do relé Série 3, pois são de tamanhos diferentes.

Observa-se que na Figura 28, o próximo passo é a fiação do relé Série 3 e carregar o arquivo de configurações já convertido, a General Electric no manual de instruções Retrofits Multilin™ Série da família M & MII disponibiliza uma série de tabelas que mostram o mapeamento e comparação das entradas e saídas dos ambos relés, iniciando pela Tabela 5, sendo fica prático realizar essa troca, a seguir vai ser mostrado algumas dessas tabelas, para melhor compreensão, a seguir temos uma imagem que as informações dos bornes do relé 350 não extraído.

Figura 28 - Bornes do relé 350, não extraíveis.



Fonte: General Electric (2017).

Tabela 5: Identificação dos bornes.

	Power Supply +	B1	INPUT 1	C1	IRIG-B +	D5	PHASE A CT	E5	PHASE A CT
	Power Supply -	B2	INPUT 2	C2	IRIG-B -	D6	PHASE B CT	E6	PHASE B CT
	Chssis GND	B3	INPUT 3	C3	RS485 +	D7	PHASE C CT	E7	PHASE C CT
A1	TRIP N/O	B4	INPUT 4	C4	RS485 -	D8	GND CT	E8	GND CT
A2	TRIP COM	B5	INPUT 5	C5	RS485 COM	D9	PHASE A VT	E9	PHASE A VT
A3	TRIP OPTV	B6	INPUT 6	C6	CHASSIS GND	D10	PHASE B VT	E10	PHASE B VT
A4	CLOSE N/O	B7	INPUT 7	C7	RESERVED	D11	PHASE C VT	E11	PHASE C VT
A5	CLOSE COM	B8	INPUT 8	C8	RESERVED	D12	AUX VT	E12	AUX VT
A6	CLOSE OPTV	B9	INPUT 9						
A7	AUX 3 N/C	B10	INPUT 10						
A8	AUX 3 COM	B11	INPUT COM						
A9	AUX 3 N/O	B12	CHASSIS GND						
A10	AUX 4 N/C								
A11	AUX 4 COM								
A12	AUX 4 N/O								
A13	AUX 5 N/C								
A14	AUX 5 COM								
A15	AUX 5 N/O								
A16	AUX 6 N/C								
A17	AUX 6 COM								
A18	AUX 6 N/O								
A19	CRIT FAIL N/C								
A20	CRIT FAIL COM								
A21	CRIT FAIL N/O								

Fonte: General Electric (2017).

Vale ressaltar que, no manual de instruções disponibilizado pela GE contém mais informações detalhas, a seguir serão apresentadas tabelas comparando os bornes de conexões das entradas e saídas através das funções. A Tabela 6 faz um paralelo comparativo entre os bornes de conexões do TC com relé MIF II e o Multilin 350.

Tabela 6: Conexões do TC.

Tipo	Função	MIF II	350
Corrente	Ia polaridade	C1	E5
Corrente	Ia não polaridade	C2	D5
Corrente	Ib polaridade	C3	E6
Corrente	Ib não polaridade	C4	D6
Corrente	Ic polaridade	C5	E7
Corrente	Ic não polaridade	C6	D7
Corrente	Ig polaridade	C7	E8
Corrente	Ig não polaridade	C8	D8

Fonte: General Electric (2017).

Na Tabela 7 é exibido a conexões dos cabos de alimentação dos relés MIF II e Multilin 350.

Tabela 7: Alimentação de controle e conexão de aterramento.

Tipo	Função	MIF II	350
Fonte de alimentação	Positiva	A1	PS1
Fonte de alimentação	Negativa	A2	PS2
Fonte de alimentação	Aterramento	Parafuso	PSGND e Parafuso

Fonte: General Electric (2017).

Na Tabela 8, é feito um comparativo entre as saídas de contato dos MIF II e Multilin 350.

Tabela 8: Saídas de contato de E/S.

Tipo	Função	MIF II	350
Saída de contato	TRIP N/O	A5	A1
Saída de contato	TRIP COM	A6	A2
Saída de contato	TRIP OPTV	NA	A3
Saída de contato	CLOSSE N/O	NA	A4
Saída de contato	CLOSSE COM	NA	A5
Saída de contato	CLOSSE OPTV	NA	A6
Saída de contato	AUX 3 N/C	B7 ¹	A7
Saída de contato	AUX 3 COM	A7	A8
Saída de contato	AUX 3 N/O	B7	A9
Saída de contato	AUX 4 N/C	B8*	A10
Saída de contato	AUX 4 COM	A7	A11
Saída de contato	AUX 4 N/O	B8	A12
Saída de contato	AUX 5 N/C	B9*	A13
Saída de contato	AUX 5 COM	A7	A14
Saída de contato	AUX 5 N/O	B9	A15
Saída de contato	AUX 6 N/C	B10*	A16
Saída de contato	AUX 6 COM	A7	A17
Saída de contato	AUX 6 N/O	B19	A18
Saída de contato	CRIF FAIL N/C	B6	A19
Saída de contato	CRIF FAIL COM	A7	A20
Saída de contato	CRIF FAIL N/O	B5	A21

Fonte: General Electric (2017).

Por padrão, os relés MIF II estão na posição NA (Normalmente Aberto). Para a posição NC (Normalmente Fechado), a saída pode ser modificada alterando a posição do jumper no hardware.

Por outro lado, a Tabela 9, é ilustra comparativo entre as entradas de contato dos MIF II e Multilin 350. A Tabela 10 mostra os bornes para comunicações em ambos relés.

Tabela 9: Entradas de contato de E/S.

Tipo	Função	MIF II	350
Entrada de contato	In1	A8	B1
Entrada de contato	In2	A9	B2
Entrada de contato	In3	NA	B3
Entrada de contato	In4	NA	B4
Entrada de contato	In5	NA	B5
Entrada de contato	In6	NA	B6
Entrada de contato	In7	NA	B7
Entrada de contato	In8	NA	B8
Entrada de contato	In9	NA	B9
Entrada de contato	In10	NA	B10
Entrada de contato	Comum	10A	B11
Entrada de contato	Chassis	NA	B12

Fonte: General Electric (2017).

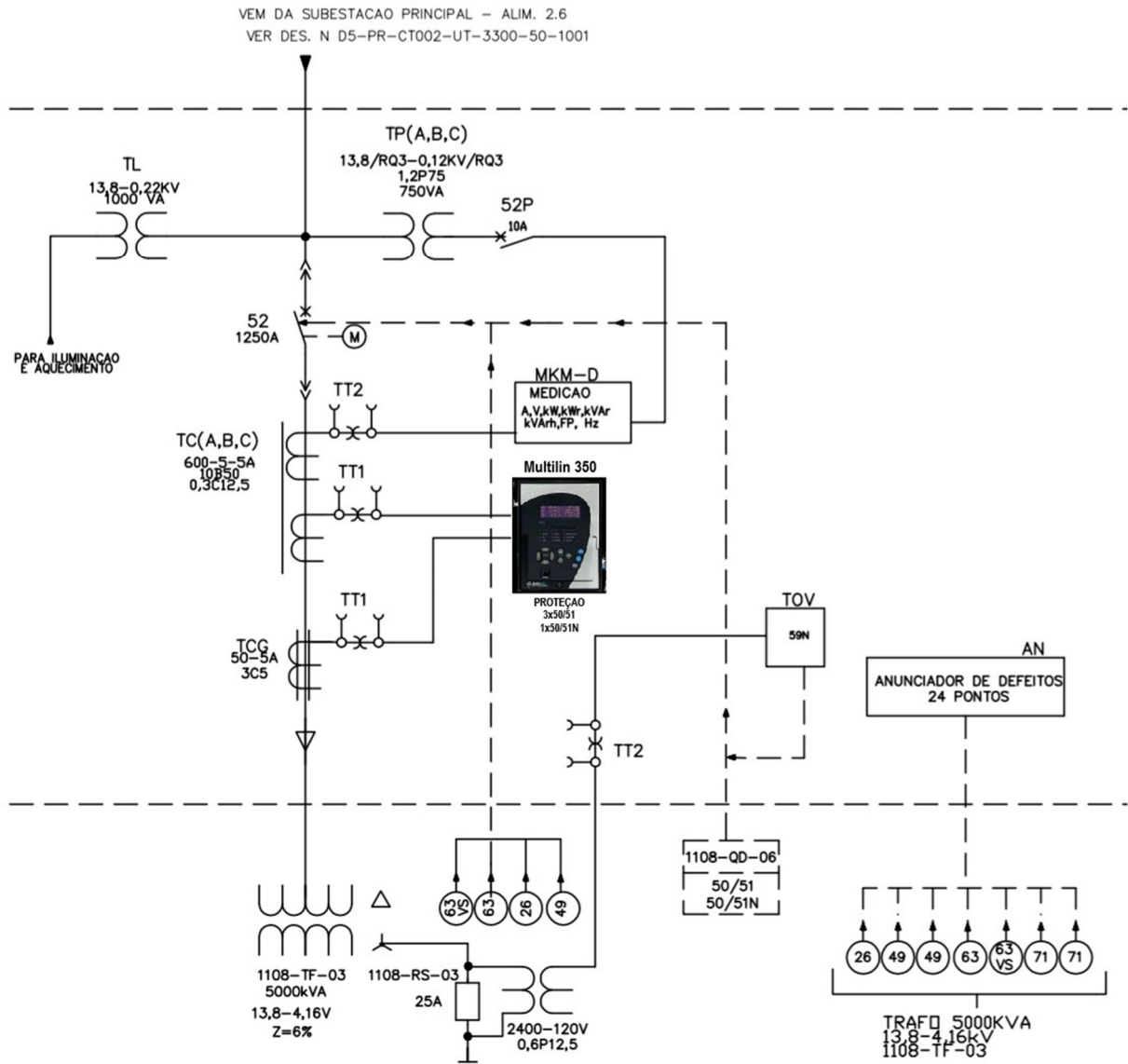
Tabela 10: Comunicações.

Tipo	Função	MIF II	350
IRIG-B	+	NA	C1
IRIG-B	-	NA	C2
RS485	+	B12	C3
RS485	-	A12	C4
RS485	COM	B11	C5
Comunicações	CHASSIS GND		C6
Terminal sobressalente	NA		C7
Terminal sobressalente	NA		C8

Fonte: General Electric (2017).

É importante destacar que, caso não sejam adicionadas novas funções de proteção ao relé moderno, ou seja, se forem mantidas apenas as proteções previamente habilitadas no relé antigo, não haverá alterações no circuito que compõe o sistema de proteção. Nesse caso, ocorrerá apenas a substituição do relé, sem modificações na lógica de proteção existente. Com base na Figura 16, que apresenta o diagrama unifilar do Quadro de Distribuição (QD) de entrada da 1108SE01, observa-se que, ao se realizar o processo de retrofit do relé MIF nesse quadro, conforme as orientações do fabricante, a nova configuração passa a ser representada pela Figura 29.

Figura 29 - Diagrama unifilar, QD entrada da 1108SE01 com Multilin 350.



Fonte: Adaptado de Orteng (2008).

3.7 Relés SEPAM

Nessa seção, será abordado os relés SEPAM das series 20 e 40 da Schneider Electric, são os dispositivos mais utilizados para proteger os ativos elétricos na área da mina do Sossego, será comentado sobre a sua funcionalidade e características de acordo com seu manual. A seguir, a Tabela 11 mostra informações sobre a quantidade, modelos e onde estão localizados esses relés.

Tabela 11: Relés SEPAM.

LOCALIZAÇÃO	BANCO	PAINEL	CUBÍCULO	TIPO DE RELÉ	MODELO DE RELÉ	N/S DO RELÉ	STATUS
PATÍO DA REDEL		1101PC58	1	SEPAM	S40	NÃO ID.	
PATÍO DA REDEL		1101PC58	2	SEPAM	M41	NÃO ID.	
PATÍO DA REDEL		1101PC58	3	SEPAM	M41	NÃO ID.	
PATÍO DA REDEL		1108QD34	PRINCIPAL	SEPAM	NÃO ID.	NÃO ID.	
SIQUEIRINHO	-136	1101PC35	PRINCIPAL	SEPAM	S40	11130154	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-136	1101PC35	2	SEPAM	M20	11090270	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-136	1101PC35	3	SEPAM	M20	22342504	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-136	1101PC35	4	SEPAM	M20	11105105	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-136	1101PC35	5	SEPAM	M20	11190240	EM OPERAÇÃO
SETOR PISTA		1108SE09	SAÍDA	SEPAM	S40	11100119	EM OPERAÇÃO
SETOR PISTA		1108SE09	ENTRADA	SEPAM	S40	11100103	EM OPERAÇÃO
TQ-02		1101PC34	GERAL	SEPAM	S40	10325132	AGUAR. APLIC.
TQ-02		1101PC34	2	SEPAM	M41	10395002	AGUAR. APLIC.
TQ-02		1101PC34	3	SEPAM	M41	10395001	AGUAR. APLIC.
TQ-02		1101PC34	4	SEPAM	M41	10395009	AGUAR. APLIC.
SIQUEIRINHO	-40	1101PC20	SAÍDA	SEPAM	M20	11190108	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-40	1101PC20	ENTRADA	SEPAM	NÃO ID.	13100122	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-40	1101PC36	1	SEPAM	S40	10320173	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-40	1101PC36	2	SEPAM	M20	22022542	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-40	1101PC36	3	SEPAM	M20	11190109	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-40	1101PC36	4	SEPAM	M20	22362506	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-104	1108SE11	ENTRADA	SEPAM	S40	11420092	EM OPERAÇÃO
SIQUEIRINHO	-104	1108SE11	SAÍDA	SEPAM	S40	11420129	EM OPERAÇÃO
PATÍO DE CABOS		1101PC19	1	SEPAM	M20	NÃO ID.	EM MANUT.
PATÍO DE CABOS		101PC19	2	SEPAM	M20	NÃO ID.	EM MANUT.
ES-3101		1108SE03	SAÍDA	SEPAM	S40	19050025	EM OPERAÇÃO
MODELOS S40						9	
MODELOS M41						5	
MODELOS M20						9	
MODELOS NÃO IDENTIFICADOS						2	
RELÉS SEPAM UTILIZADOS*						25	

Fonte: próprio autor.

Como visto na Tabela 11, atualmente é trabalhado com 3 modelos de relés SEPAM, os modelos S40, M20 e M41, e tem cerca de 25 usados. A Schneider Electric lançou os relés de proteção dos modelos SEPAM das séries 20 e 40 em meados de 2006. Essas séries foram desenvolvidas como parte da evolução da linha SEPAM, oferecendo recursos avançados de proteção elétrica e automação para uma ampla gama de aplicações industriais. Os relés atendiam aplicações para proteções de subestações (entrada e alimentadores), transformadores, motores, geradores, barramentos e capacitores. Será feito um breve comentário a respeito de cada modelo.

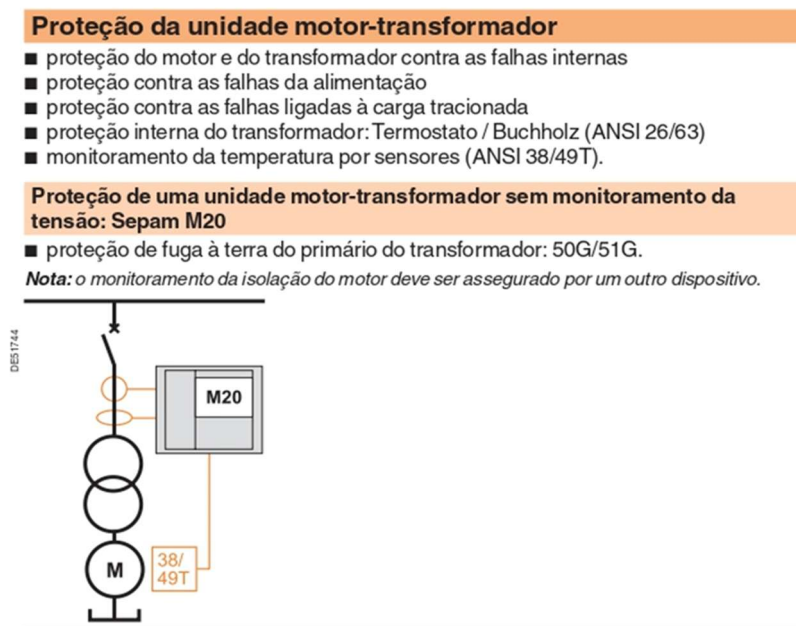
3.7.1 Relés SEPAM modelos M20 e M41

De acordo com a Schneider Electric (2009), os relés SEPAM M20 e M41, são projetados para fornecer proteção e controle avançados para sistemas elétricos industriais relacionados

proteção e partidas de motores. Porém existem algumas diferenças-chave entre os modelos M20 e M41, são elas:

Funcionalidades e Aplicações: o modelo M20, Figura 30, é projetado principalmente para aplicações básicas de proteção e controle em sistemas elétricos de baixa e média tensão. O modelo M41, por outro lado, é mais avançado e é adequado para aplicações mais complexas e exigentes, incluindo sistemas elétricos de média e alta tensão. Ele oferece uma gama mais ampla de funções de proteção e controle, além de recursos adicionais, como capacidade de medição de energia, oscilografia integrada, entre outros.

Figura 30: Informações do SEPAM M20.



Fonte: Schneider Electric (2009).

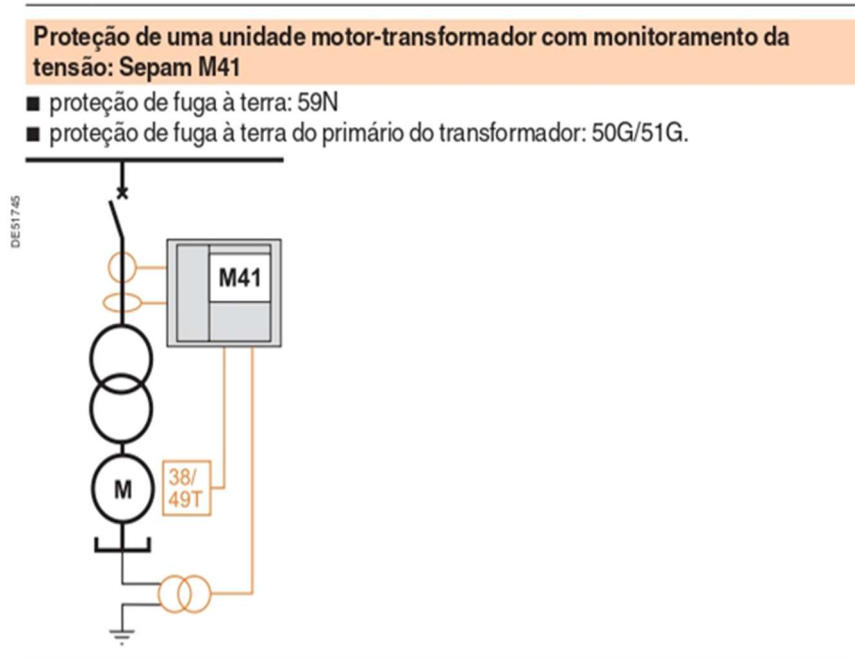
Flexibilidade e Configuração: ambos os modelos oferecem flexibilidade em termos de configuração e ajustes para atender às necessidades específicas de diferentes aplicações. No entanto, o modelo M41, Figura 31, geralmente oferece uma gama mais ampla de opções de configuração e personalização devido à sua natureza mais avançada e capacidades expandidas.

Interfaces de Comunicação: ambos os modelos podem suportar uma variedade de interfaces de comunicação para integração com sistemas de supervisão e controle. No entanto, o modelo M41 pode oferecer uma gama mais ampla de opções de comunicação e protocolos suportados, permitindo uma integração mais flexível com uma variedade de sistemas de automação e controle.

Capacidade de Monitoramento e Diagnóstico: o modelo M41 geralmente oferece recursos mais avançados de monitoramento e diagnóstico em comparação com o modelo M20, incluindo capacidades expandidas de registro de eventos, análise de falhas e diagnóstico remoto.

Em resumo, enquanto ambos os modelos SEPAM da Schneider Electric, M20 e M41, fornecem proteção e controle avançados para sistemas elétricos industriais, o modelo M41 é mais avançado em termos de funcionalidades, capacidades e aplicações suportadas, sendo mais adequado para ambientes mais complexos e exigentes.

Figura 31: Informações do SEPAM M41.



Fonte: Schneider Electric (2009).

3.7.2 Relés SEPAM modelo S40

Conforme a Schneider Electric (2009), os relés SEPAM da série 40, modelo S40, projetados para uma variedade de aplicações industriais, para realizar proteção de subestações de entradas e alimentadores, conforme as Figuras 32 e 33. Um breve resumo sobre esses relés e suas aplicações:

Funcionalidades de Proteção Avançadas: Os relés modelos S40, oferecem uma ampla gama de funções de proteção elétrica, incluindo proteção de sobrecorrente, proteção de sobretensão, proteção diferencial, proteção de falta de terra, entre outras. Isso garante a segurança dos equipamentos e do sistema elétrico como um todo.

Flexibilidade e Customização: Esses relés são configuráveis e podem ser adaptados para atender às necessidades específicas de diferentes aplicações industriais. Eles podem ser ajustados para diferentes curvas de tempo-corrente, ajustes de sensibilidade e características de atuação, permitindo uma adaptação precisa às condições de operação.

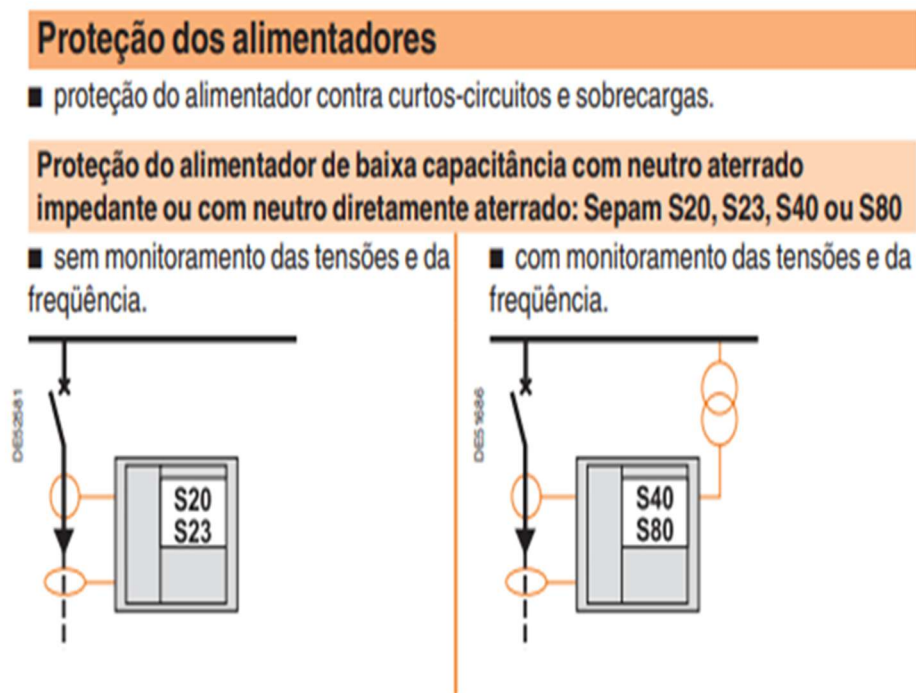
Monitoramento e controle remotos: Os modelos S40, estão equipados com interfaces de comunicação avançadas, como portas Ethernet, RS485, entre outras, permitindo o

monitoramento e controle remotos do sistema elétrico. Isso facilita a integração com sistemas de supervisão e controle, como SCADA e sistemas de automação industrial.

Diagnóstico: Eles oferecem recursos de diagnóstico, permitindo que os usuários monitorem o desempenho do sistema elétrico em tempo real, identifiquem problemas potenciais e tomem medidas corretivas de forma proativa. Isso ajuda a minimizar o tempo de inatividade e maximizar a confiabilidade do sistema.

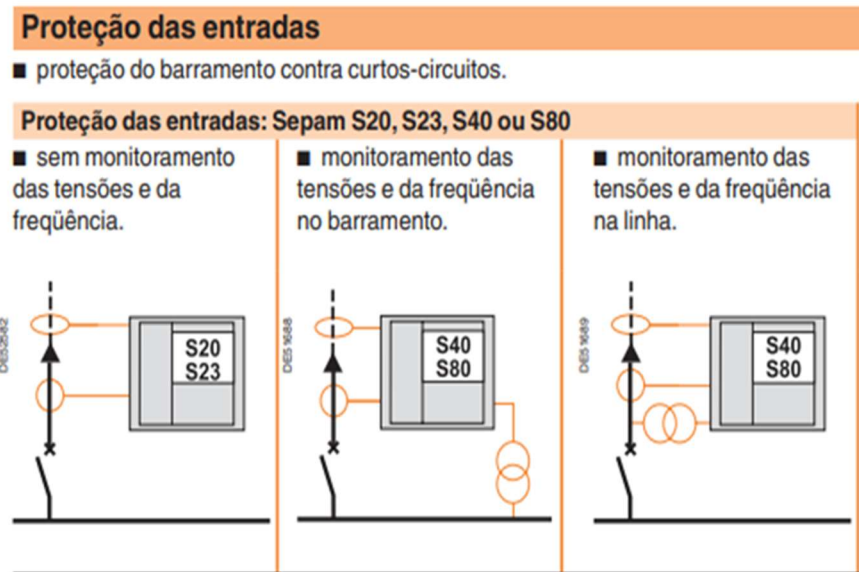
Aplicações Industriais: Os relés S40, são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações industriais, incluindo sistemas de distribuição de energia, sistemas de geração de energia, sistemas de transporte, petróleo e gás, indústrias de processos, entre outros. Eles são adequados para uma ampla gama de tensões e correntes nominais, tornando-os versáteis para diferentes ambientes industriais.

Figura 32: Informações dos SEPAM S20 e S40 para alimentadores.



Fonte: Schneider Electric (2009).

Figura 33: Informações do SEPAM S20 e S40 para entradas.



Fonte: Schneider Electric (2009).

3.8 Retrofit dos relés SEPAM

A Schneider Electric possui uma proposta de retrofit, denominado de ECOFIT, para os relés SEPAM das séries 20 e 40, substituindo pelos relés Powerlogic P3 e P5, a Figura 34 retrata essa troca, com objetivo é responder as seguintes questões:

- Uso de relés obsoletos, que não podem mais ser atualizados.
- Uso de relés que não possuem todas as funcionalidades que você pode precisar – IEC 61850 ou recursos avançados de segurança cibernética e Green Premium;
- Falta de peças de reposição.

Figura 34: Troca do SEPAM pelo P3.



Sepam Series 20 e 40 com relés Powerlogic P3

Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

A Schneider Electric com projeto de ECOFIT, procurar proporciona os seguintes benefícios:

- Não afeta nenhuma parte mecânica da instalação atual;

- b) Nem qualquer modificação dos circuitos de fiação, como circuitos de corrente, disparo ou circuitos de alimentação;
- c) Não afeta os desenhos existentes e etiquetas de cabos;
- d) Reduzir o tempo de desligamento necessário para substituição;
- e) Forneça atualização a um custo mínimo graças a uma solução qualificada pelo fabricante.

A seguir será abordado alguns itens que estão agregados proposta Ecofit.

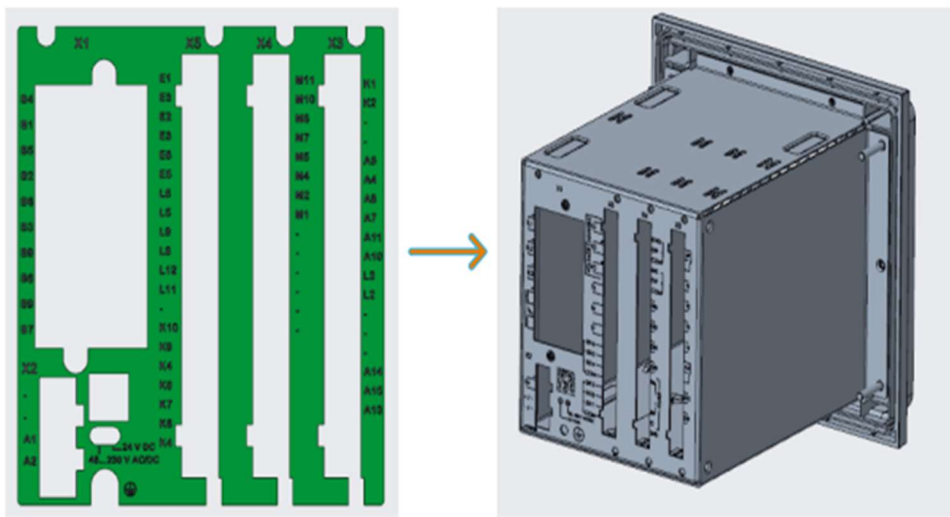
3.8.1 Adaptação mecânica

A solução ECOFIT é fornecida em um módulo que encaixa no rasgo dos SEPAM 20 e 40 e permite a instalação em duas profundidades, sendo possível reaproveitar o rasgo já existente no painel, economizando tempo na instalação.

3.8.2 Sem atualização do projeto

É visto na Figura 35, o ECOFIT é fornecido com “renomeação inteligente de pinos” renomeando os pinos do relé de proteção P3 ou P5 com a identificação dos pinos do relé SEPAM existente. Isso permite não atualizar os cadernos eletromecânicos e diagramas unifilares, os novos relés de proteção incorporam pinagens anteriores. Ajuda a reduzir o risco de erro de fiação.

Figura 35: Identificação dos pinos.

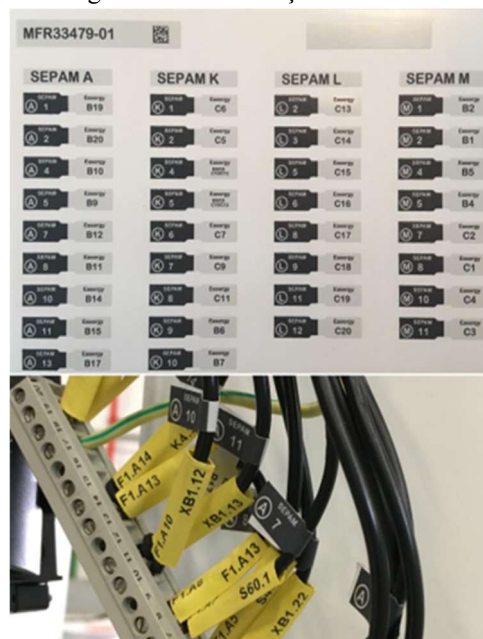


Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

3.8.3 Suporte na fiação

O ECOFIT é fornecido com um conjunto de “adesivos de cabos inteligentes” com indicação dupla de localização do cabo do relé antigo e do novo relé, é possível verificar essa característica na Figura 36. Não é mais necessário analisar e comparar esquemas de relé antigo e novo, cada adesivo indica relé o terminal do relé antigo e o terminal do novo relé P3 ou P5. Ajuda a reduzir o risco de erro de fiação.

Figura 36: Identificação dos cabos.

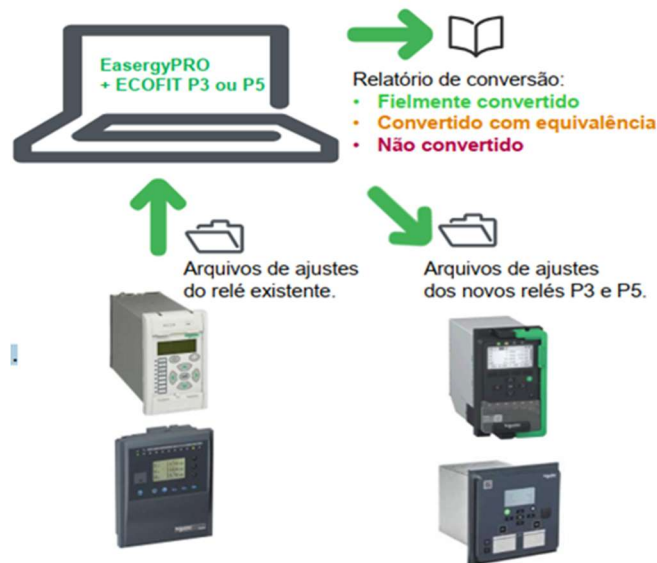


Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

3.8.4 Software de conversão de ajuste

A solução ECOFIT é disponibilizada juntamente com um software de conversão de ajustes, que possibilita a rápida migração dos parâmetros de configuração entre o relé substituído e os novos modelos PowerLogic P3 ou P5. Esse recurso automatizado reduz significativamente o tempo necessário para a análise e adaptação dos ajustes, minimizando discrepâncias entre as versões e assegurando maior confiabilidade no processo de comissionamento (Schneider Electric, 2024). Além disso, contribui para a mitigação de riscos associados a erros de configuração, garantindo uma transição mais segura e eficiente, conforme exemplificado na Figura 37.

Figura 37: soft de conversão de ajuste.



Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

3.9 Retrofit do relé SEPAM com Powerlogic P3

Os relés SEPAM séries 20 e 40, e o relé PowerLogic P3 são produtos diferentes da Schneider Electric, cada um com suas próprias características e aplicabilidades. Os SEPAM são dispositivos avançados de proteção e controle, oferecendo uma ampla gama de funções de proteção elétrica e recursos de automação. O relé PowerLogic P3, além de realizar funções de proteção, assim como o SEPAM, que foi descrito anteriormente, é um dispositivo de monitoramento de energia e qualidade de energia, projetado principalmente para monitorar e analisar parâmetros elétricos, como tensão, corrente, potência, fator de potência e harmônicas (Schneider Electric, 2024).

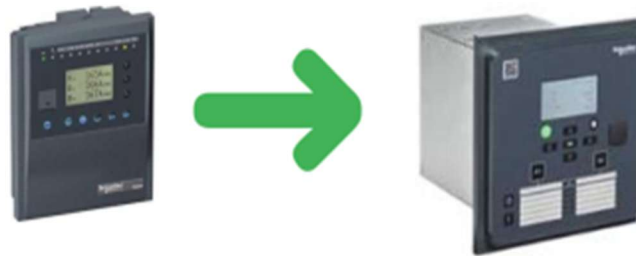
O PowerLogic P3 é mais focado em proteger e em fornecer informações sobre o desempenho energético do sistema, incluindo detecção de problemas de qualidade de energia, eficiência energética e análise de tendências. Novas funcionalidades:

- Recursos de Cybersecurity;
- Função de controle por proximidade com aplicativo;
- Web-server embarcado;
- Monitoramento de disjuntor;
- Comunicação Ethernet redundante;
- Multiprotocolos;
- Completa experiência digital;
- Sustentabilidade: Conformidade com REACH & RoHS;

i) Selo Green Premium.

A Figura 38 é para ilustrar a substituição do relé SEPAM pelo PowerLogic P3.

Figura 38: troca dos relés das séries 20 e 40 pelo relé P3.



Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

3.10 Retrofit do relé SEPAM com Powerlogic P5

Tanto os relés SEPAM S20 e S40 quanto o relé PowerLogic P5 são produtos da Schneider Electric, mas cada um possui funcionalidades e aplicações distintas. As principais diferenças entre eles é que os relés SEPAM são dispositivos de proteção e controle, projetados principalmente para monitorar e proteger sistemas elétricos industriais. Além de realizar as funções de proteção igual o SEPAM, o relé PowerLogic P5 é um dispositivo de monitoramento de energia e qualidade de energia, focado principalmente na análise e otimização do consumo de energia em instalações industriais e comerciais (Schneider Electric, 2024).

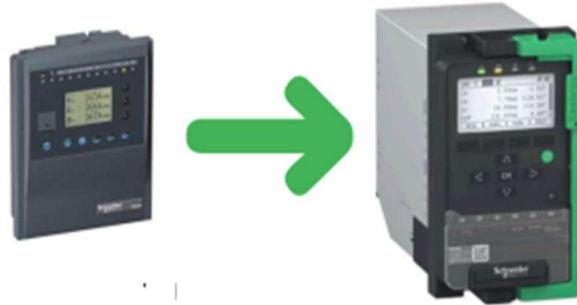
Além de proteção do P5 oferece recursos avançados de medição de energia, incluindo monitoramento de tensão, corrente, potência, fator de potência, harmônicas, entre outros, permitindo uma análise detalhada do perfil de energia e identificação de oportunidades de economia. Novas funcionalidades:

- a) Design extraível com memória de backup;
- b) Recursos avançados de Cybersecurity;
- c) Função de controle por proximidade com aplicativo.
- d) Web-server embarcado;
- e) Monitoramento de disjuntor;
- f) Proteção de arco elétrico;
- g) Comunicação Ethernet redundante e lógicas avançadas;
- h) Multiprotocolos;
- i) Completa experiência digital;

- j) Sustentabilidade: Conformidade com REACH & RoHS;
- k) Selo Green Premium.

A Figura 39 é para ilustrar a substituição do relé SEPAM pelo PowerLogic P5.

Figura 39: troca dos relés das séries 20 e 40 pelo relé P5.

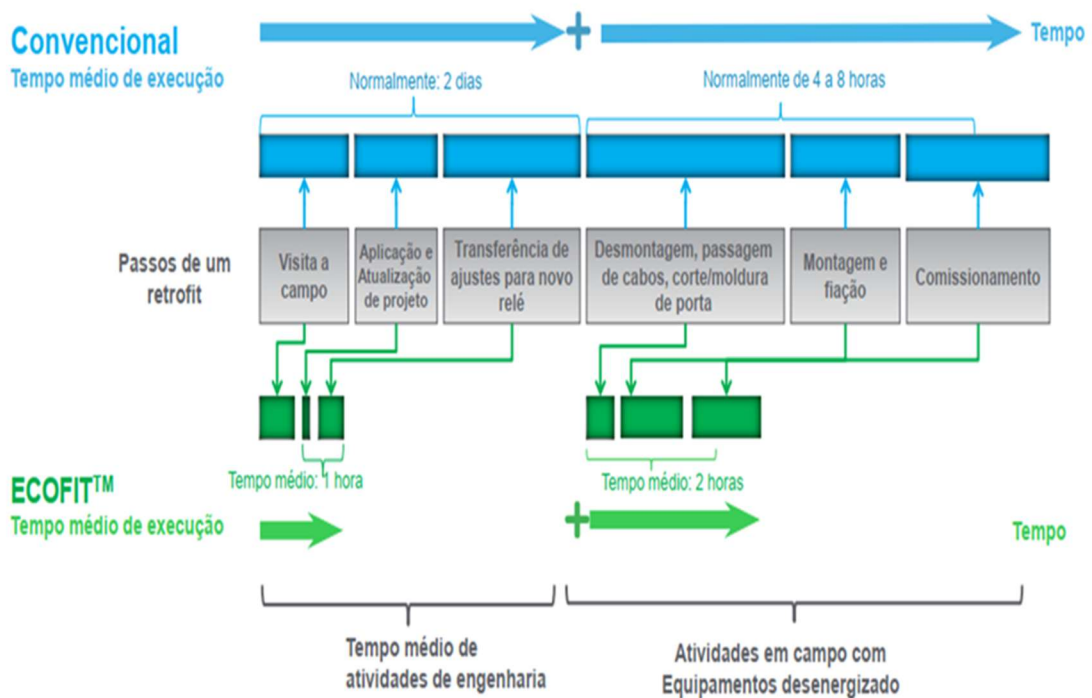


Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

3.11 Comparação de solução Ecofit vs Retrofit convencional

Através da Figura 40, a Schneider Electric retrata a diferença do retrofit feito de maneira convencional, ou seja, utilizando outros relés, comparado com a sua proposta denominada de Ecofit, abordando tempo gasto na modernização.

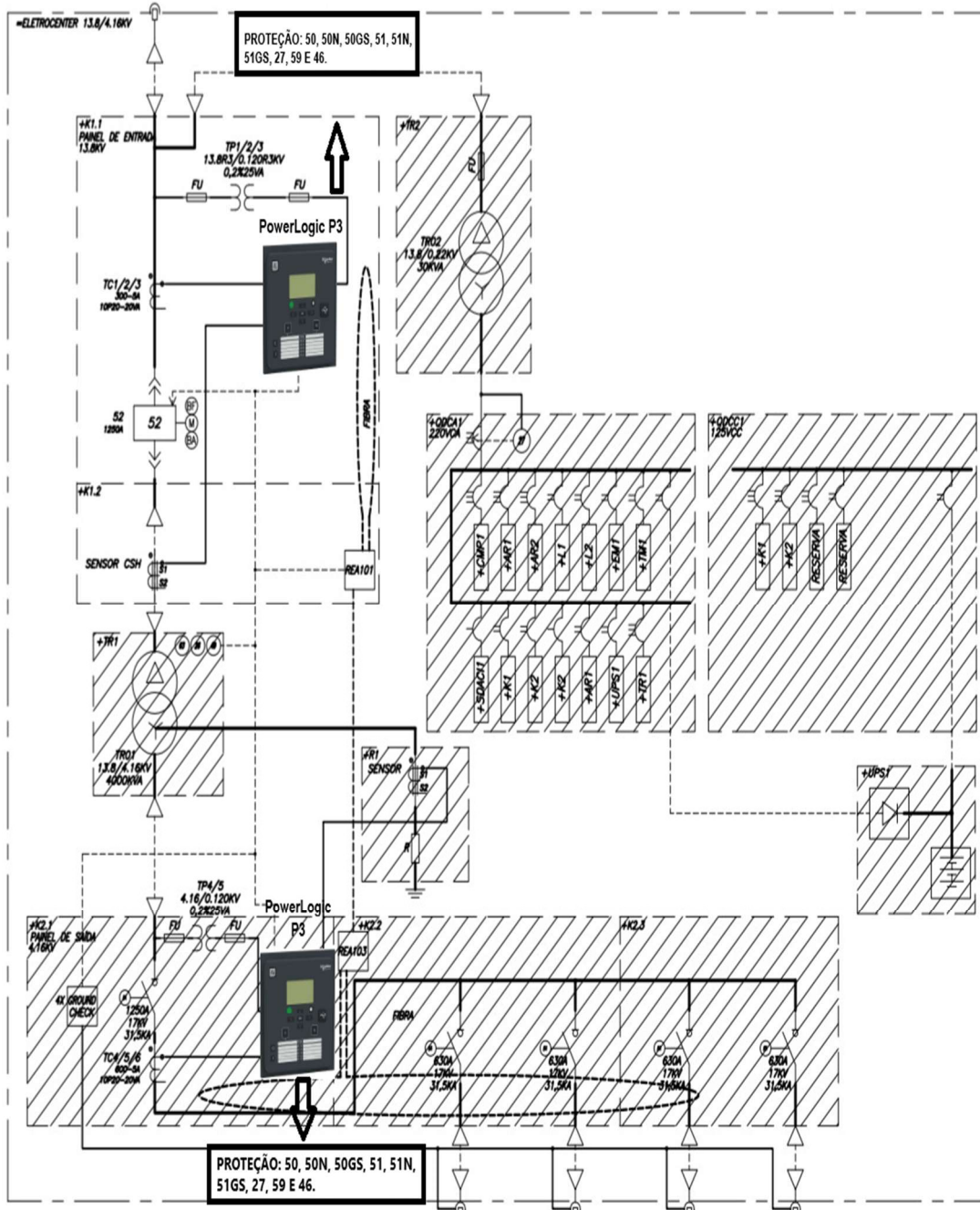
Figura 40: Ecofit x Retrofit convencional.



Fonte: Schneider Electric ([s.d.]).

Assim como na modernização dos relés MIF I e MIIF II da General Electric, o Ecofit da Schneider Electric para os relés SEPAM também proporciona a não alteração dos circuitos de fiação, como circuitos de corrente, disparo ou circuitos de alimentação. A alteração do circuito do sistema de proteção, ocorrerá caso seja necessário ativa e instalar novas funções de proteção ao substituir o relé obsoleto. A Figura 41 é para ilustrar como ficará um esquema elétrico caso o retrofit seja feito trocando um SEPAM por um relé PowerLogic P3.

Figura 41 - Diagrama unifilar 13.8kV ~ 4.16kV com PowerLogic P3.



Fonte: Adaptado de EATON LTDA (2011).

4 DISCUSSÕES E RESULTADOS

Um dos objetivos deste trabalho foi realizar um estudo quantitativo para identificar os modelos e fabricantes dos relés de proteção utilizados na área da mina do Sossego, com foco na avaliação de sua obsolescência e descontinuidade. O levantamento revelou que grande parte dos relés em operação encontra-se em desuso ou foi descontinuada pelos fabricantes, o que evidencia a necessidade de modernização do sistema de proteção da unidade.

Além disso, esses equipamentos operam em condições ambientais adversas, como exposição constante à poeira e temperaturas elevadas, fatores que comprometem significativamente sua vida útil. Ressalta-se ainda que não há registros técnicos que comprovem a realização de testes recentes nesses relés, o que impossibilita atestar seu correto funcionamento em caso de falha real. Atualmente, tem se tornado comum a ocorrência de falhas nos displays (IHM) dos relés SEPAM, o que dificulta a verificação de dados e informações relacionadas a falhas e operações do dispositivo, conforme ilustrado na Figura 42.

Figura 42 – Relé SEPAM danificado.



Fonte: próprio autor.

Relés antigos, sem capacidade de adaptação a cenários complexos, podem atuar de forma indevida ou deixar de operar quando necessário, comprometendo a função essencial da proteção: detectar anomalias no sistema elétrico e isolar a carga, o motor ou o transformador afetado. Com o tempo, esses dispositivos podem apresentar falhas ocultas, que só se manifestam sob condições específicas ou em sequência de eventos. A ausência de suporte técnico, documentação atualizada e peças de reposição agrava ainda mais essa situação, dificultando a realização de testes e aumentando o risco de falhas operacionais.

Dispositivos obsoletos também apresentam tempos de resposta mais lentos, o que eleva o risco de arcos elétricos (arc-flash) e pode causar danos irreversíveis a transformadores, cabos e demais componentes do sistema elétrico.

Diante desses riscos, torna-se evidente a importância da adoção de programas de manutenção preventiva e testes periódicos. Normas técnicas como a IEC 60255-1 (2022) e a IEEE C37.90.1 (2024) estabelecem procedimentos rigorosos para assegurar a confiabilidade dos relés de proteção ao longo de seu ciclo de vida. A ausência dessas práticas pode resultar em operações indevidas, falhas não detectadas e sérios prejuízos à infraestrutura elétrica.

A IEC 60255-1 (2022) estabelece requisitos gerais para relés de proteção, abordando critérios de desempenho, ensaios de conformidade, resposta a transitórios e resistência a condições ambientais. Por sua vez, a IEEE C37.90.1 (2024) especifica os testes de imunidade e desempenho de relés e equipamentos associados, garantindo que esses dispositivos atuem corretamente mesmo sob perturbações do sistema. Ambas são amplamente adotadas como referência na indústria elétrica para nortear projetos e políticas de manutenção.

Conforme discutido nas seções 3.6 e 3.8, foram apresentadas instruções técnicas para o processo de substituição de relés obsoletos por modelos mais modernos, assegurando a continuidade do suporte técnico e o aumento da confiabilidade operacional. Essas orientações, baseadas em recomendações dos próprios fabricantes, demonstram a viabilidade do retrofit como solução técnica eficaz.

Foi elaborado um relatório técnico contendo o diagnóstico do estado atual dos relés e as recomendações de substituição. Este documento não apenas subsidiou a defesa orçamentária, como também facilitou a obtenção de recursos para execução do plano de retrofit.

Como resultado prático imediato do estudo, foi aprovada a substituição inicial de oito relés SEPAM M20 por relés PowerLogic P5M30, nos painéis (CCM) de 4,16 kV dedicados à proteção e controle de motores. A aquisição desses relés representa um avanço concreto no processo de modernização. O modelo PowerLogic P5M30 está ilustrado na Figura 43.

Figura 43 – Relé PowerLogic P5M30.



Fonte: Schneider Electric (2024).

Adicionalmente, o estudo também fundamentou o investimento em três novos quadros de distribuição, apresentados na Figura 44, fabricados pela empresa Sempel Painéis Elétricos. Esses quadros utilizam o relé PowerLogic P3F30, da Schneider Electric, projetado para aplicações em alimentadores. Este dispositivo está representado nas Figuras 45 e 6.

Figura 44 – QD de 13.8 kV da Sempel Painéis Elétricos.



Fonte: próprio autor.

Os resultados obtidos comprovam que o relatório foi eficaz tanto na identificação das limitações dos dispositivos em uso quanto na proposição de soluções práticas e tecnicamente viáveis. A implementação das recomendações reforça a importância de manter o sistema de proteção atualizado, testado e gerenciado adequadamente para garantir uma operação segura, contínua e eficiente nas instalações elétricas da mina do Sossego.

Figura 45 - Relé PowerLogic P3F30.



Fonte: próprio autor.

Os relés PowerLogic P5M30 e P3F30 apresentam avanços significativos em relação aos relés SEPAM M20, especialmente no que diz respeito à funcionalidade, segurança e integração com sistemas modernos de automação. Um dos principais diferenciais é a capacidade de oscilografia de alta resolução, que permite a análise precisa de eventos e facilita o diagnóstico de falhas. Além disso, esses novos modelos incorporam função de proteção contra arco elétrico, o que reduz significativamente os riscos de acidentes graves e danos a equipamentos, especialmente em painéis de média tensão.

Outro benefício relevante é a interface de comunicação mais robusta e padronizada, com suporte ao protocolo IEC 61850, o que possibilita integração nativa com sistemas SCADA e redes digitais de automação. Os relés P5M30 e P3F30 também oferecem monitoramento contínuo de condições, registradores de eventos com maior capacidade e funcionalidades de autodiagnóstico, aumentando a confiabilidade e a eficácia do sistema de proteção.

Essas melhorias superam as limitações dos relés SEPAM M20, que possuem menor capacidade de registro, comunicação restrita e ausência de proteção dedicada contra arco elétrico. Dessa forma, a adoção dos relés da linha PowerLogic no processo de retrofit representa um avanço considerável em termos de segurança, confiabilidade operacional e modernização tecnológica do sistema de proteção da mina.

5 CONCLUSÃO

Com base no presente estudo, conclui-se que a modernização dos relés de proteção utilizados na área da mina do Sossego é uma necessidade urgente, considerando o cenário atual de obsolescência tecnológica dos dispositivos em operação. A descontinuidade de modelos antigos declarada pelos fabricantes compromete diretamente a confiabilidade e a segurança do sistema de proteção, expondo os ativos elétricos a riscos como falhas na atuação, aumento no tempo de resposta, dificuldade de reposição de peças, elevação dos custos de manutenção e desafios na integração com tecnologias mais recentes.

Embora os relés digitais representem um avanço significativo em relação aos modelos eletromecânicos e antigos microprocessados, sua vida útil é limitada, o que exige planejamento para substituições periódicas. A ausência de testes e manutenção regulares em equipamentos obsoletos aumenta a incerteza quanto ao seu desempenho real, sobretudo em eventos críticos, como curtos-circuitos ou falhas de arco interno. Esses riscos reforçam a importância de ações preventivas alinhadas às boas práticas da engenharia elétrica.

Este trabalho demonstrou a viabilidade técnica da modernização por meio de projetos de retrofit, substituindo relés desatualizados por modelos mais avançados recomendados pelos próprios fabricantes. Entre os exemplos destacados, estão as famílias PowerLogic P3F30 e P5M30 da Schneider Electric e o relé o Multilin™ 350 da General Electric, que oferecem melhorias substanciais em relação aos relés SEPAM M20 e os MIF I e II, como:

- Proteção integrada contra arco elétrico, com sensores dedicados e resposta ultrarrápida;
- Oscilografia de alta resolução e maior capacidade de armazenamento de eventos;
- Comunicação nativa via IEC 61850, com suporte a redes digitais e SCADA;
- Autodiagnóstico e monitoramento em tempo real.

Essas características proporcionam ganhos em confiabilidade, segurança operacional e eficiência na manutenção e operação do sistema elétrico da mina.

A substituição inicial de oito relés SEPAM M20 por modelos PowerLogic P5M30, aprovada e já em processo de aquisição, representa um passo concreto no processo de modernização. Além disso, a aprovação de três novos quadros de distribuição, equipados com relés P3F30, evidencia o avanço do projeto e reforça a relevância da atualização tecnológica no contexto operacional da planta.

Para assegurar a efetividade das ações propostas, recomenda-se que a modernização seja acompanhada de um programa contínuo de manutenção preventiva e testes periódicos,

conforme as diretrizes estabelecidas por normas técnicas reconhecidas, como a IEC 60255-1 (2022) e a IEEE C37.90.1 (2024), que definem os critérios de desempenho, conformidade e imunidade de relés de proteção.

Em síntese, a modernização do sistema de proteção da mina do Sossego deve ser tratada como prioridade estratégica, com foco na confiabilidade dos equipamentos, segurança dos colaboradores e continuidade operacional. A implementação de dispositivos modernos, aliada a práticas de engenharia baseadas em normas, garantirá um sistema de proteção robusto, eficiente e preparado para os desafios das próximas décadas.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.** Portaria MTE nº 598, de 07 dezembro de 2004.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração.** Atualizada em 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-22>. Acesso em: 06 jul. 2025.
- BÊ-Á-BÁ DA IEC. **Mini aula – Relé de proteção.** [Figura]. [S.l.]: Bê-á-bá da IEC, 2021. Vídeo (YouTube). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XOgaPL0sXPE&list=PLCoy940PhIKPwRqTQ9oN4i8XZXG6dEe7&index=5>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- CESAR, Eduardo L. et al. **Technological obsolescence management: monitoring electrical equipment and automation systems.** IEEE Industry Applications Magazine, v. 26, n. 4, p. 82-87, 2020.
- DELCON. **How to extend relay lifespan?.** Nummela: Delcon Oy, 2025. Disponível em: <https://delcon.fi/how-to-extend-relay-lifespan/>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- FERRARO, A. G.; ARTICO, M.; BIANCO, B. A. **Proteção de Sistemas Elétricos de potência com ênfase em linhas de transmissão.** Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade São Francisco, 2013.
- FILHO, J. M.; MAMEDE, D. R. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2024.
- GENERAL ELECTRIC. **Retrofits Multilin™ Série 3 da família M & MII:** manual. Markham, Ontario, Canada: General Electric, 2017.
- GENERAL ELECTRIC. **Relés de proteção, proteção do alimentador.** 2024. Disponível em: < <https://www.governova.com/gridsolutions/multilin/catalog/350.htm> >. Acesso em: 01 mar. 2024.
- GOES, A. R. G. **Modernização da proteção de sistemas elétricos de potência.** 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias-poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006073.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2024.
- GUIMARÃES, Pablo. **Grupo Moto Gerador: como funciona as proteções ANSI 27, ANSI 50 e 51N.** Blog Pablo Guimarães - Professor, 2023. Disponível em: < <https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/post/grupo-moto-gerador-como-funciona-as-prote%C3%A7%C3%B5es-ansi-27-ansi-50-e-51n> >. Acesso em: 20 set. 2024.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60255-1: **Measuring relays and protection equipment – Part 1: Common requirements.** 2. ed. Geneva: IEC, 2022.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61508: **Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems**. 2. ed. Geneva: IEC, 2010.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std C37.90.1: Standard for Surge Withstand Capability (SWC) and EFT Tests for Relays and Relay Systems**. New York: IEEE, 2024.

KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 2. ed. [S.l.]: Editora UFSC, 1999.

MEMT. **A importância dos sistemas de proteção e controle e dos IEDs**. 3Phase Associates, 2018. Disponível em: <https://memt.com.br/a-importancia-dos-sistemas-de-protecao-e-controle-e-dos-ied/>. Acesso em: 06 jul. 2025.

PAULINO, Marcelo EC. Aspectos da Implementação e Validação de sistemas Baseados na IEC 61850. **Anais do SBSE 2008** - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belo Horizonte, MG, abril 2008.

SATO, Fujito; FREITAS, Walmir. **Análise de curto-circuito e princípios de proteção em sistemas de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SANTOS, Luis Fabiano dos; PEREIRA, Maurício. Uma abordagem prática do IEC61850 para automação, proteção e controle de subestações. **Anais do VII SIMPASE** - Sétimo Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Salvador, BA, agosto 2007. VII Simpase, 2007.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Manual de utilização 2009: proteção de redes elétricas, Sepam série 40**. Rueil-Malmaison: Schneider Electric, 2009.

SCHNEIDER ELECTRIC. **ECOFIT™ Sepam 20/40 e Micom 20**. [s.l.]: Schneider Electric, [s.d].

SCHNEIDER ELECTRIC. **Relés de Proteção PowerLogic P3**. 2024. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/product-range/64884-re%C3%A9s-de-prote%C3%A7%C3%A3o-powerlogic-p3/#products>>. Acesso em: 09 mar. 2025.

SILVA, André Costa. **Sistemas elétricos de potência e proteção de linhas de transmissão**. 2020. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

SILVA, Raphael et al. **Protection functions implemented in configurable hardware: a paradigm shift**. In: **CIREN**, 2015. p. 15-18.

SUWANASRI, Thanapong et al. The Analysis of Renovation Criteria for Protective Relay in Power Substation. **Greater mekong subregion academic and research network**, p. 59, 2013.

VALENTIM, Mailson Neres. **Retrofit do sistema de proteção de uma subestação de 69kV**. 2023. TCC (Curso de graduação em Engenharia Elétrica) - Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2023.

VICENTE, Décio Tomasulo de. **Aplicação dos padrões da norma IEC 61850 a subestações compartilhadas de transmissão/distribuição de energia elétrica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2011.

WEG. **Eletrocentro**. [Figura]. 2024. Disponível em:
https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Pain%C3%A9isEI%C3%A9tricos/Eletrocentros/Eletrocentros/EletrocentroWEG/p/MKT_WDC_BRAZIL_INTEGRATED_ELECTRIC_SYSTEMS_SEI. Acesso em: 01 nov. 2024.

ANEXO A – TABELA ANSI

Nr	Denominação
1	Elemento Principal
2	Relé de partida ou fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou interbloqueio
4	Contator principal
5	Dispositivo de interrupção
6	Disjuntor de partida
7	Relé de taxa de variação
8	Dispositivo de desligamento da energia de controle
9	Dispositivo de reversão
10	Chave comutadora de sequência das unidades
11	Dispositivo multifunção
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação síncrona
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade e/ou frequência
16	Dispositivo de comunicação de dados
17	Chave de derivação ou descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contator de transição partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância
22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura
24	Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25	Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26	Dispositivo térmico do equipamento
27	Relé de subtensão
28	Detector de chama
29	Contator de isolamento
30	Relé anunciador
31	Dispositivo de excitação
32	Relé direcional de potência
33	Chave de posicionamento
34	Dispositivo master de sequência
35	Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36	Dispositivo de polaridade ou polarização
37	Relé de subcorrente ou subpotência
38	Dispositivo de proteção de mancal
39	Monitor de condições mecânicas
40	Relé de perda de excitação ou relé de perda de campo

41	Disjuntor ou chave de campo
42	Disjuntor / chave de operação normal
43	Dispositivo de transferência ou seleção manual
44	Relé de sequência de partida
45	Monitor de condições atmosféricas
46	Relé de reversão ou desbalanceamento de corrente
47	Relé de reversão ou desbalanceamento de tensão
48	Relé de sequência incompleta / partida longa
49	Relé térmico
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente temporizado
52	Disjuntor de corrente alternada
53	Relé para excitatriz ou gerador CC
54	Dispositivo de acoplamento
55	Relé de fator de potência
56	Relé de aplicação de campo
57	Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58	Relé de falha de retificação
59	Relé de sobretensão
60	Relé de balanço de corrente ou tensão
61	Sensor de densidade
62	Relé temporizador
63	Relé de pressão de gás (Buchholz)
64	Relé detetor de terra
65	Regulador
66	Relé de supervisão do número de partidas
67	Relé direcional de sobrecorrente
68	Relé de bloqueio por oscilação de potência
69	Dispositivo de controle permissivo
70	Reostato
71	Dispositivo de detecção de nível
72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contator de resistência de carga
74	Relé de alarme
75	Mecanismo de mudança de posição
76	Relé de sobrecorrente CC
77	Dispositivo de telemedição
78	Relé de medição de ângulo de fase / proteção contra falta de sincronismo
79	Relé de religamento
80	Chave de fluxo
81	Relé de frequência (sub ou sobre)
82	Relé de religamento de carga de CC
83	Relé de seleção / transferência automática
84	Mecanismo de operação
85	Relé receptor de sinal de telecomunicação (teleproteção)

86	Relé auxiliar de bloqueio
87	Relé de proteção diferencial
88	Motor auxiliar ou motor gerador
89	Chave seccionadora
90	Dispositivo de regulação (regulador de tensão)
91	Relé direcional de tensão
92	Relé direcional de tensão e potência
93	Contator de variação de campo
94	Saídas digitais de alta velocidade para Trip
95	Usado para aplicações específicas
96	Relé auxiliar de bloqueio de barra
97 à 99	Usado para aplicações específicas
150	Indicador de falta à terra
AFD	Detector de arco voltaico
ARC	Religamento automático seletivo
CLK	Clock
DDR	Sistema dinâmico de armazenamento de perturbações
DFR	Sistema de armazenamento de faltas digital
ENV	Dados do ambiente
HIZ	Detector de faltas com alta impedância
HMI	Interface homem-máquina
HST	Histórico
LGC	Esquema lógico
LM	Monitoramento de linhas
MET	Medição de subestação
PDC	Concentrador de dados de fasores
PMU	Unidade de medição de fasores
PQM	Esquema de monitoramento de potência
RIO	Dispositivo remoto de I/Os
RTU	Unidade de terminal remoto / Concentrador de dados
SER	Sistema de armazenamento de eventos
SOTF	Fechamento sob falta
TCM	Esquema de monitoramento de trip
TD21	Proteção de distância de fase e terra baseada em grandezas incrementais
TD32	Elemento direcional baseado em grandezas incrementais
TW32	Elemento direcional baseado em ondas viajantes
TW87	Proteção diferencial de linhas baseada em ondas viajantes

Complementação da Tabela ANSI:
50N - sobrecorrente instantâneo de neutro
51N - sobrecorrente temporizado de neutro (tempo definido ou curvas inversas)
50G - sobrecorrente instantâneo de terra (comumente chamado 50GS)
51G - sobrecorrente temporizado de terra (comumente chamado 51GS e com tempo definido ou curvas inversas)
50BF - relé de proteção contra falha de disjuntor (também chamado de 50/62 BF)
51Q - relé de sobrecorrente temporizado de seqüência negativa com tempo definido ou curvas inversas
51V - relé de sobrecorrente com restrição de tensão
51C - relé de sobrecorrente com controle de torque
50PAF - sobrecorrente de fase instantânea de alta velocidade para detecção de arco voltaico
50NAF - sobrecorrente de neutro instantânea de alta velocidade para detecção de arco voltaico
59Q - relé de sobretensão de seqüência negativa
59N - relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro (também chamado de 64G) , calculado ou TP em delta aberto
64 - relé de proteção de terra pode ser por corrente ou por tensão. Os diagramas unifilares devem indicar se este elemento é alimentado por TC ou por TP, para que se possa definir corretamente. Se for alimentado por TC, também pode ser utilizado como uma unidade 51 ou 61. Se for alimentado por TP, pode-se utilizar uma unidade 59N ou 64G. A função 64 também pode ser encontrada como proteção de carcaça, massa-cuba ou tanque, sendo aplicada em transformadores de força até 5 MVA.
67N - relé de sobrecorrente direcional de neutro (instantâneo ou temporizado)
67G - relé de sobrecorrente direcional de terra (instantâneo ou temporizado)
67Q - relé de sobrecorrente direcional de seqüência negativa
78 - Salto vetorial (Vector Shift)

Proteção Diferencial - ANSI 87:
O relé diferencial 87 pode ser de diversas maneiras:
87T - diferencial de transformador (pode ter 2 ou 3 enrolamentos)
87N - diferencial de neutro
REF - falta restrita à terra
87Q - diferencial de sequência negativa (aplicado para detecção de faltas entre espiras em transformadores)
87G - diferencial de geradores
87GT - proteção diferencial do grupo gerador-transformador
87SP - proteção diferencial de fase dividida de geradores
87V - Diferencial de tensão de fase
87VN - Diferencial de tensão de neutro
87B - diferencial de barras. Pode ser de alta, média ou baixa impedância
Pode-se encontrar em circuitos industriais elementos de sobrecorrente ligados num esquema diferencial, onde os TC's de fases são somados e ligados ao relé de sobrecorrente.
Também encontra-se um esquema de seletividade lógica para realizar a função diferencial de barras.
Pode-se encontrar em algumas documentações o relé 68 sendo referido à função de seletividade lógica.
87M - diferencial de motores - Neste caso pode ser do tipo percentual ou do tipo autobalanceado.
O percentual utiliza um circuito diferencial através de 3 TC's de fases e 3 TC's no neutro do motor. O tipo autobalanceado utiliza um jogo de 3 TC's nos terminais do motor, conectados de forma à obter a somatória das correntes de cada fase e neutro. Na realidade, trata-se de um elemento de sobrecorrente, onde o esquema é diferencial e não o relé.

Dispositivo de comunicação de dados - ANSI 16:
As letras sufixos ao dispositivo definem sua aplicação. Os primeiros sufixos são:
S - comunicação de dados serial
E - comunicação de dados Ethernet
Os sufixos subsequentes definem:
C - dispositivo de segurança de rede (ex. VPN, encriptação)
F - firewall ou filtro de mensagens
M - função de gerenciamento da rede (SNMP)
R - roteador
S - switch
T - telefone
Uma switch Ethernet gerenciável terá o seguinte código: 16ESM

ANEXO B – SUBESTAÇÃO MÓVEL DE 13.8 KV/4.160 KV