



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Victor Roberto Schmidt de Oliveira e Silva

Atualização Tecnológica de Usina Hidrelétrica:
Modernização do Sistema de Medição de Faturamento e Desenvolvimento de Projeto
Executivo de Migração

Florianópolis
2024

Victor Roberto Schmidt de Oliveira e Silva

Atualização Tecnológica de Usina Hidrelétrica:

Modernização do Sistema de Medição de Faturamento e Desenvolvimento de Projeto
Executivo de Migração

Relatório final da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) como Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.

Orientador: Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Supervisor: Ronni Márcio Campaner, Eng.

Florianópolis
2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Silva, Victor Roberto Schmidt de Oliveira e
Atualização Tecnológica de Usina Hidrelétrica: :
Modernização do Sistema de Medição de Faturamento e
Desenvolvimento de Projeto Executivo de Migração / Victor
Roberto Schmidt de Oliveira e Silva ; orientador, Hector
Bessa Silveira, coorientador, Ronni Márcio Campaner, 2024.
108 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Controle e Automação,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Sistema de
Medição de Faturamento. 4. Projeto Executivo. 5. Atualização
Tecnológica. I. Silveira, Hector Bessa . II. Campaner,
Ronni Márcio. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Controle e Automação. IV. Título.

Victor Roberto Schmidt de Oliveira e Silva

Atualização Tecnológica de Usina Hidrelétrica:

Modernização do Sistema de Medição de Faturamento e Desenvolvimento de Projeto
Executivo de Migração

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de
Curso) e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de
Controle e Automação

Florianópolis, 06 de setembro de 2024.

Prof. Marcelo de Lellis Costa de Oliveira, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Orientador
UFSC/CTC/DAS

Ronni Márcio Campaner, Eng.
Supervisor
Nova Engevix Engenharia e Projetos

Prof. Diogo Ortiz Machado, Dr.
Avaliador
IFRS

Prof. Eduardo Camponogara, Dr.
Presidente da Banca
UFSC/CTC/DAS

Dedico este trabalho aos meus queridos amigos 17.2, que se tornaram uma família, e a todos aqueles que, de alguma forma, passaram pela minha vida, aos que ainda fazem parte dela e àqueles que, por qualquer razão, não fazem mais. Também dedico aos meus professores, do jardim de infância à graduação, que contribuíram com seus mais diversos conhecimentos para a minha formação. Dedico também à minha namorada Gabriela, pelo carinho, amizade, apoio e compreensão durante este último ano de curso. De maneira especial, dedico à minha família: aos meus amados pais, Kátia Regina e Carlos Roberto, que estiveram sempre ao meu lado nos melhores e piores dias; à Lelê, que considero minha segunda mãe; ao meu irmão Fábio e à minha pequena sobrinha e afilhada Vitória, que ainda tem muito à sua frente. Em memória do meu falecido padrinho e tio, Clayton dos Santos Schmidt, cuja falta é imensa.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos aos colegas colaboradores da Nova Engevix Engenharia e Projetos, que estão diretamente envolvidos neste projeto. Agradeço especialmente ao Ronni, meu supervisor de estágio, cujos conhecimentos foram fundamentais para a realização deste trabalho. Agradeço também à empresa Nova Engevix por proporcionar a infraestrutura necessária para a realização deste estudo. Além disso, sou grato ao meu orientador, professor Hector, que com grande dedicação e tranquilidade me orientou na elaboração desta monografia.

*“Jamais considere seus estudos como uma obrigação,
mas como uma oportunidade invejável para aprender a
conhecer a beleza libertadora do intelecto para seu
próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade
à qual seu futuro trabalho pertencer.”
(EINSTEIN, 1933)*

DECLARAÇÃO DE PUBLICIDADE

Florianópolis, 06 de setembro de 2024.

Na condição de representante da Nova Engevix Engenharia e Projetos, na qual o presente trabalho foi realizado, declaro não haver ressalvas quanto ao aspecto de sigilo ou propriedade intelectual sobre as informações contidas neste documento, que impeçam a sua publicação por parte da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para acesso pelo público em geral, incluindo a sua disponibilização *online* no Repositório Institucional da Biblioteca Universitária da UFSC. Além disso, declaro ciência de que o autor, na condição de estudante da UFSC, é obrigado a depositar este documento, por se tratar de um Trabalho de Conclusão de Curso, no referido Repositório Institucional, em atendimento à Resolução Normativa nº 126/2019/CUn.

Por estar de acordo com esses termos, subscrevo-me abaixo.

Documento assinado digitalmente
 **RONNI MARCIO CAMPANER**
Data: 09/09/2024 14:38:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ronni Márcio Campaner, Eng.
Nova Engevix Engenharia e Projetos

RESUMO

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento econômico, social e cultural, sendo essencial no cotidiano de cada indivíduo. No Brasil, a matriz elétrica é predominantemente renovável, com ênfase nas usinas hidrelétricas. No entanto, a obsolescência dos equipamentos e a deterioração das infraestruturas, exacerbadas pela longevidade das instalações e a falta de melhorias contínuas, são problemas comuns. Dada a dependência do sistema elétrico brasileiro de hidrelétricas, sua modernização é crucial para garantir a segurança energética e atender à crescente demanda e às rigorosas regulamentações de eficiência e sustentabilidade. Este trabalho aborda a modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) da Usina Hidrelétrica X pseudônimo utilizado para proteger informações confidenciais. O SMF é responsável pela medição e precificação da energia gerada, aspectos vitais para a viabilidade financeira e operacional da usina. O projeto inclui a concepção e desenvolvimento do Projeto Executivo de Migração, desde o levantamento de requisitos até a aprovação final dos documentos. Foram elaborados diversos documentos técnicos, como listas de cabos, memórias de cálculo, desenhos técnicos, especificações de materiais e planos de migração. O trabalho também revisou normas técnicas, como a NBR 5410 e NBR 14039, garantindo a conformidade com os padrões de segurança e desempenho. A modernização visa reduzir falhas, que podem resultar em prejuízos financeiros, materiais e até mesmo em risco de vidas. Além de atualizar a infraestrutura e os equipamentos, o projeto também melhora a captação e processamento dos dados das medições de energia. A introdução de tecnologias avançadas permitirá uma melhor integração com sistemas de monitoramento remoto e telemetria, facilitando o controle e a manutenção preventiva, e reduzindo perdas. O projeto inclui uma análise dos impactos econômicos e operacionais da modernização e da falta dela. A modernização da UHE X é coordenada por uma empresa multinacional, com investimento bilionário, substituindo mais de 100 mil quilômetros de cabos e centenas de quadros, e sendo realizada com a usina em operação. O trabalho detalha o desenvolvimento do Projeto Executivo de Migração, a confecção de documentos técnicos, o dimensionamento dos cabos e o planejamento da migração. O objetivo principal é a aprovação dos documentos pela Empresa Parceira e a aprovação pela Gerência da UHE X. Com 11 documentos aprovados pela Empresa Parceira e 3 aprovados pela UHE X, os resultados atendem às expectativas, apesar dos atrasos nas entregas. O projeto demonstra a aplicação dos conhecimentos adquiridos na formação em engenharia de controle e automação.

Palavras-chave: Sistema de Medição de Faturamento. Usina Hidrelétrica. Projeto Executivo. Atualização Tecnológica. Modernização.

ABSTRACT

Electricity is crucial for economic, social, and cultural development, and it is essential in daily life. In Brazil, the power matrix is predominantly renewable, with a focus on hydroelectric plants. However, obsolescence of equipment and deterioration of infrastructure are common issues, exacerbated by the longevity of facilities and lack of continuous improvements. Given Brazil's dependence on hydroelectric power, modernization is critical to ensure energy security, meet growing demand, and comply with stringent efficiency and sustainability regulations. This work addresses the modernization of the Billing Measurement System (BMS) at Hydroelectric Plant X—a pseudonym used to protect confidential information. The BMS is responsible for measuring and pricing the generated energy, which is crucial for the plant's financial and operational viability. The project involves the design and development of the executive project, from requirements gathering to final document approval. Various technical documents were produced, including cable lists, detailed calculations, technical drawings, material specifications, and migration plans. The work also reviewed technical standards, such as NBR 5410 and NBR 14039, ensuring compliance with safety and performance standards. The modernization aims to reduce failures that could lead to financial losses, material damage, or even risk to lives. In addition to updating infrastructure and equipment, the project enhances data capture and processing of energy measurements. Advanced technologies will enable better integration with remote monitoring and telemetry systems, facilitating control and preventive maintenance, and reducing losses. The project also examines the economic and operational impacts of both modernization and its absence. The modernization of Plant X, coordinated by a multinational company with a billion-dollar investment, involves replacing over 100,000 kilometers of cables and hundreds of panels while the plant remains operational. This work details the development of the executive project, including technical documents, cable sizing, and migration planning. The main objective is the acceptance of documents by the partner company and approval by the Plant X Management. With 11 documents accepted and 3 approved, the results meet expectations despite delays. The project demonstrates the application of knowledge acquired in control and automation engineering.

Keywords: Billing Measurement System. Hydroelectric Power Plant. Executive Project. Technological Update. Modernization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura Básica do Sistema de Medição para Faturamento.	24
Figura 2 – Estrutura geral do cabo de fibra óptica.	32
Figura 3 – Propagação do feixe de luz pela fibra óptica.	33
Figura 4 – Sistema óptico típico.	34
Figura 5 – Chegada dos cabos de controle das linhas de 500 kV no piso inferior do edifício de controle da SEA.	48
Figura 6 – Chegada dos cabos de controle das linhas de 500 kV no piso inferior do edifício de controle da SEA.	48
Figura 7 – Fases do Projeto Executivo do Sistema de Medição de Faturamento.	54
Figura 8 – Diagrama topológico da arquitetura de rede do Sistema de Medição de Faturamento existente na UHE X.	61
Figura 9 – Diagrama do fluxo de trabalho para elaboração dos documentos do projeto executivo do Sistema de Medição de Faturamento.	62
Figura 10 – Metodologia de projeto para elaboração dos documentos que permitem a produção da ordem de compra.	65
Figura 11 – Arquitetura de rede para o novo Sistema de Medição de Faturamento da UHE X.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos Circuitos de Corrente da Casa de Força.	72
Tabela 2 – Características dos Circuitos de Corrente da SEA.	72
Tabela 3 – Características dos Cabos de Controle	75
Tabela 4 – Mínima área de seção para os condutores dos TCs da CF e AI. . .	77
Tabela 5 – Mínima área de seção para os condutores dos TCs da SEA.	77
Tabela 6 – Seções Comerciais dos condutores dos Circuitos de Corrente da SMF.	78
Tabela 7 – Características dos Circuitos de Tensão da Casa de Força.	79
Tabela 8 – Características dos Circuitos de Tensão da SEA.	79
Tabela 9 – Valores de Queda de Tensão Calculados para a CF e AI.	83
Tabela 10 – Valores de Queda de Tensão Calculados para a SEA.	83
Tabela 11 – Circuitos em Corrente Alternada Alimentação 220Vca.	89
Tabela 12 – Circuitos em Corrente Contínua Alimentação 125Vcc Principal. . .	90
Tabela 13 – Circuitos em Corrente Contínua Alimentação 125Vcc Alternativa. .	91

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO EM USINAS HIDRELÉTRICAS	21
2.1.1	Funcionamento dos Sistemas de Medição de Faturamento	21
2.1.2	Estrutura e Componentes dos SMFs	22
2.2	NORMAS TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	25
2.2.1	Normas Técnicas para Medição de Energia Elétrica e Instalação de Sistemas de Medição	25
2.3	TÉCNICAS DE PROJETO EXECUTIVO EM ENGENHARIA: DOCUMENTAÇÃO E PROCESSOS DE APROVAÇÃO	27
2.3.1	Etapas de um Projeto de Engenharia	27
2.3.2	Elaboração de Documentação	28
2.3.3	Processos de Verificação	29
2.3.4	Processos de Aprovação	29
2.4	OBSOLESCÊNCIA DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS INDUSTRIAIS	30
2.4.1	Impacto nos Custos	30
2.4.2	Impacto na Eficiência	30
2.4.3	Impacto nos Riscos Operacionais	31
2.5	CABEAMENTO ÓPTICO	31
2.5.1	Estrutura das fibras ópticas	31
2.5.2	Princípio de Funcionamento	32
2.5.3	Classificação das Fibras	33
2.5.3.1	Fibras Monomodo	34
2.5.3.2	Fibras Multimodo	35
2.5.4	Vantagens das Fibras Ópticas	35
2.5.5	Aplicações de fibras Ópticas	36
2.5.6	Síntese sobre Cabeamento de Fibras Ópticas	37
2.6	TEORIA DE CIRCUITOS ELÉTRICOS	37
2.6.1	Componentes de Circuitos Elétricos	38
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA	43
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	43
3.2	PARTICIPAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL	43
3.3	OBSOLESCÊNCIA EM USINAS HIDRELÉTRICAS	45
3.4	PROBLEMA ABORDADO	46
3.5	SOLUÇÃO PROPOSTA	53

3.5.1	Fase 1: Delimitação do Escopo e Levantamento dos Requisitos Técnicos	55
3.5.2	Fase 2: Levantamento do Sistema de Medição de Faturamento Atual	60
3.5.3	Fase 3: Elaboração da Documentação do Projeto Executivo . . .	62
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DE MIGRAÇÃO E APROVAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO ELABORADA	68
4.1	ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO . .	68
4.1.1	Localização dos Equipamentos do Sistema de Medição de Faturamento	69
4.1.2	Cabos de Comunicação	69
4.1.3	Cabos de Controle	72
4.1.4	Cabos de Potência	84
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	92
4.2.1	Desafios e Limitações	94
4.2.2	Contribuições e Impactos	95
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
5.1	CONCLUSÕES	99
5.2	PERSPECTIVAS FUTURAS	99
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A – ARQUITETURA DE REFERÊNCIA PARA O SMF .	105
	APÊNDICE B – ARQUITETURA DE REFERÊNCIA PARA O SMF .	107

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica está diretamente ligada ao desenvolvimento da sociedade contemporânea, influenciando atividades econômicas, sociais e culturais. Segundo Azevedo *et al.* (2010) e Goldemberg (2004), a eletricidade é crucial para a modernização, o progresso tecnológico e econômico dos países. Desde o final do século XIX, a eletricidade tem impulsionado inovações em diversos setores e tem sido requisitada cada vez em maiores quantidades. Previsões indicam um aumento significativo na demanda global por eletricidade até 2040, exigindo uma expansão sustentável da geração de energia.

No Brasil, a matriz elétrica é dominada por fontes renováveis, cujo destaque são as hidrelétricas, resultado da abundância de recursos hídricos, clima favorável e relevo propício. As usinas hidrelétricas, como Itaipu, Belo Monte e Tucuruí, são as principais, mas não as únicas responsáveis por garantir a segurança energética ao país. De um modo geral, as hidrelétricas possuem grandes reservatórios que permitem o armazenamento de água. Esses reservatórios funcionam como baterias naturais, armazenando energia durante períodos de chuvas intensas e liberando-a durante a seca, garantindo uma oferta contínua de eletricidade. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), até este ano (2024), o Brasil possui aproximadamente 219 usinas hidrelétricas em operação, com capacidade instalada igual ou superior a 1 MW. Essa capacidade instalada totaliza cerca de 109.158 MW.

Apesar do alto investimento necessário para a construção de uma usina hidrelétrica, esse custo inicial elevado se justifica por diversos motivos. Primeiramente, a infraestrutura requerida é complexa e inclui a construção de grandes barragens, sistemas de comportas, turbinas e redes de transmissão de energia. Além disso, o planejamento e a engenharia envolvidos são intensivos, demandando estudos ambientais detalhados para mitigar os impactos ecológicos e sociais. Outro fator que contribui para o custo elevado é o tempo necessário para completar o projeto, que pode levar vários anos desde o planejamento inicial até a entrada em operação comercial. Durante esse período, há necessidade de investimentos contínuos em mão de obra qualificada, equipamentos especializados e materiais de construção.

No entanto, essa modalidade de investimento é economicamente viável e atrativa por diversos motivos. Após a construção, as usinas hidrelétricas têm custos operacionais e de manutenção relativamente baixos, beneficiando-se da utilização de água, uma fonte renovável e gratuita, para geração de energia. Além disso, quando bem projetadas e mantidas podem operar por várias décadas, oferecendo um retorno sobre o investimento a longo prazo. Algumas usinas no Brasil e ao redor do mundo, por exemplo, operam continuamente há mais de 50 anos.

Embora a longevidade das hidrelétricas seja vantajosa, ela pode se tornar um

fardo se o avanço da tecnologia for negligenciado, levando os sistemas da usina a se tornarem ultrapassados. As consequências disso incluem menor eficiência operacional, custos de manutenção elevados devido à dificuldade em encontrar peças de reposição e técnicos especializados, dificuldade de integração com novas soluções industriais, risco aumentado de falhas e paradas não planejadas, redução da competitividade no mercado de energia e potenciais impactos ambientais negativos devido a tecnologias menos sustentáveis.

Por esse motivo, manter um programa de melhoria contínua nessas instalações é fundamental, principalmente considerando a velocidade com que novas soluções tecnológicas estão surgindo. Isso não apenas evita a obsolescência das usinas hidrelétricas, mas também aumenta sua competitividade no mercado de energia. A adoção de tecnologias avançadas não só melhora a eficiência operacional, reduzindo custos de manutenção e aumentando a confiabilidade, mas também permite que as usinas respondam de maneira mais ágil às demandas do mercado e às exigências ambientais, mantendo assim sua relevância e sustentabilidade a longo prazo.

Essas medidas são necessárias para garantir que o setor elétrico brasileiro possa continuar a sustentar o desenvolvimento econômico e social do país, ao mesmo tempo em que preserva os recursos naturais e reduz os impactos ambientais associados à produção de energia. A longevidade das usinas hidrelétricas, que podem operar por várias décadas com manutenção adequada, reforça seu papel como uma infraestrutura de energia robusta e duradoura, capaz de atender às necessidades energéticas presentes e futuras de forma sustentável.

No entanto, sem um procedimento de melhoria contínua e modernização, as usinas hidrelétricas podem eventualmente enfrentar desafios em permanecerem atualizadas. Tecnologias antigas podem tornar-se menos eficientes em comparação às novas disponíveis no mercado, afetando a eficiência operacional e a capacidade de atender à demanda crescente por energia. Portanto, investimentos contínuos em atualização tecnológica e manutenção preventiva são boas soluções para prolongar a vida útil das usinas e garantir sua relevância no contexto energético moderno.

Uma determinada usina hidrelétrica, cuja denominação neste trabalho será UHE X por motivos de confidencialidade, tem grande importância para sua região. Há algumas décadas em operação, ela é responsável pelo abastecimento de boa parte do lugar, garantindo-lhe segurança energética. Apesar de ter passado por algumas intervenções de modernização desde sua inauguração, a taxa com que ela vem recebendo essas melhorias não tem sido suficiente a ponto de superar a taxa de obsolescência de seus equipamentos diante do avanço tecnológico cada vez mais acelerado.

Dado o impacto potencial da desatualização na operabilidade da usina e na economia regional, a modernização em larga escala torna-se uma necessidade urgente, uma vez que com o passar do tempo o grau de obsolescência tende a aumentar. Esse

é um processo acumulativo e, caso uma ação não seja tomada para a correção a quantidade de equipamentos ultrapassados pode chegar a números em que a atualização torna-se inviável financeiramente.

No exemplo da UHE, isso se torna mais crítico devido às suas grandes dimensões e quantidade de equipamentos. Além disso, soma-se o contexto em que a usina foi construída, por volta da década de 1980, quando predominava a tecnologia analógica. Equipamentos analógicos, em especial os fabricados por volta dessa época, eram projetados para operarem por anos e as atualizações em comparação a versões anteriores eram mínimas, diferente dos aparelhos modernos que apresentam tecnologia digital e ciclo de vida mais curto. Logo, encontrar equipamentos daquela época ainda em funcionamento na usina é comum.

Para enfrentar esse problema, a gerência da usina arquitetou uma complexa reforma cujo objetivo principal é modernizar seus sistemas operacionais, alinhando-os com as mais recentes tecnologias no ramo de geração de energia elétrica. O investimento estimado para a sua modernização está em torno de milhões de dólares e as iniciativas incluem a substituição de centenas de quadros e a troca de mais de 100 mil quilômetros de cabos. Dentre os sistemas mais críticos está o Sistema de Medição de Faturamento (SMF), que, apesar de frequentemente ser relevado quando comparado a outros sistemas mais operacionais da usina, ele desempenha uma das funções mais vitais: precificar a energia elétrica, cuja geração é sua atividade-fim. Essa estreita relação entre o SMF e o retorno financeiro da venda de seu produto principal o confere o seu nível de criticidade à usina.

Em síntese, o Sistema de Medição de Faturamento (SMF) mede tanto a energia gerada quanto a consumida, atribuindo um valor a receber ou pagar conforme a metodologia de preços vigente. O sistema é composto por dispositivos e instrumentos que monitoram e registram a quantidade de energia elétrica gerada pela usina e injetada na rede elétrica. São medidos a potência ativa (em megawatts) e a energia elétrica (em megawatts-hora), utilizando transformadores de corrente (TCs), transformadores de potencial (TPs), medidores de energia digitais e sistemas de telemetria, que garantem a precisão da medição, fatores importantes que influenciam diretamente no cálculo do faturamento da energia fornecida. Adicionalmente, o registro histórico dos dados coletados e gerados são armazenados de modo a permitir a auditoria, verificação do atendimento às exigências regulatórias. Ademais, o monitoramento em tempo real da rede pode otimizar a reação da planta em regular a geração de energia elétrica perante às variações da demanda.

Devido ao tamanho da UHE X e à grande quantidade de energia que é gerada, é fundamental que o sistema seja robusto e confiável, pois a menor variação na medição pode resultar em uma diferença considerável no cálculo de faturamento. A robustez, nesse caso, está diretamente associada à capacidade de lidar com condições

adversas e continuar funcionando de maneira eficaz; já a confiança à capacidade de operar de forma consistente e previsível ao longo do tempo, com um baixo nível de falhas ou interrupções.

Dessa forma, para assegurar que a energia fornecida à rede seja quantificada de forma confiável, o que evita perdas financeiras decorrentes de medições incorretas, deve-se garantir que o SMF esteja em pleno funcionamento. Para isso, seus equipamentos também devem estar em suas melhores condições. Isso se aplica tanto aos aparelhos e painéis, quanto às instalações que tornam suas interligações possíveis. No entanto, após 40 anos de operação, muitas das instalações da UHE X estão passando por um intenso processo de deterioração, comprometendo o pleno funcionamento do SMF.

Portanto, o Projeto de Fim de Curso (PFC), realizado através da Nova Engevix Engenharia e Projetos, refere-se à Modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) da usina hidrelétrica UHE X, cujo objetivo geral está em desenvolver o Projeto Executivo de Migração desse sistema. Projetos Executivos de Migração consistem em um conjunto de documentos técnicos que descrevem detalhadamente a execução da migração para a modernização do SMF, com foco na implementação prática e na construção. Neste contexto, "migração" refere-se às alterações ou atualizações da infraestrutura física, incluindo a substituição de equipamentos e a reformulação de instalações para suportar o novo sistema.

Dessa forma, os objetivos específicos são:

1. Levantamento de Requisitos:

- Buscar em documentos relativos à usina, especificações para o novo SMF.

2. Levantamento do SMF Existente:

- Buscar em documentos relativos à usina, informações relacionadas ao SMF atualmente instalado na usina e que será substituído;
- Criar um modelo diagramático que ilustre o SMF existente indicando os equipamentos e suas localizações, bem como a sua arquitetura está organizada.

3. Levantamento de Documentos a Serem Elaborados:

- Listar os principais documentos que deverão incorporar o grupo de documentos do Projeto Executivo de Migração para Modernização do SMF e verificar qual a função de cada um deles;

4. Elaboração dos Documentos de Projeto Executivo de Migração para Modernização do SMF:

- Elaborar os documentos técnicos listados como necessários ao referente projeto executivo.

5. Aprovação dos Documentos

- Garantir a aprovação dos documentos pela Empresa Parceira;
- Após a aprovação pela Empresa Parceira, garantir a aprovação dos documentos pela Gerência da UHE X.

O desenvolvimento deste trabalho resultou na aprovação de alguns dos documentos técnicos que fazem parte do Projeto Executivo de Migração para a Modernização do SMF pela Empresa Parceira: Listas de Cabos, Listas de Materiais, Memórias de Cálculo e Diagrama de Localização. Esses documentos compõem as informações necessárias para que o projeto seja implementado em campo. O processo de aprovação é lento e burocrático, passando por várias etapas até finalmente chegar a Gerência da UHE X, que aprovou as duas Listas de Cabos de Comunicação e o Diagrama de Localização dos Equipamentos do SMF. O ciclo de vida dos documentos, desde a elaboração até sua aprovação, é melhor detalhado na Seção 3.5.3. A elaboração do projeto executivo deve ser bem fundamentada, tal que torne as informações de materiais e procedimentos fáceis ao entendimento, não só garantindo o pleno funcionamento do projeto, mas também a segurança e eficiência no processo de migração do Sistema de Medição de Faturamento.

Na sequência, este documento irá abordar os conceitos que fundamentam as atividades realizadas, as decisões tomadas e os métodos utilizados para solucionar o problema de obsolescência da UHE X, principalmente ligados ao SMF. Esses problemas também são descritos em detalhes na sequência, trazendo para a discussão a origem do problema através da relação de causa e efeito, culminando numa proposta de solução. Prosseguindo no documento, aborda-se o modo como a solução foi aplicada, as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos evidenciando o cumprimento do que esse PFC se propõe, além disso comenta-se sobre as dificuldades encontradas e a influência do projeto para diferentes esferas. Por fim, são postas algumas reflexões acerca do que foi desenvolvido, ampliando o discurso além dos aspectos técnicos. Também é relatado as perspectivas futuras em relação ao projeto.

Esse conteúdo está organizado em quatro capítulos, dos quais cada um aborda os diferentes aspectos do Projeto Executivo de Migração para a Modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) da UHE X, descritos anteriormente.

O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica que sustenta o desenvolvimento do projeto. Nele, são explorados os princípios e o funcionamento dos Sistemas de Medição de Faturamento (SMF), com uma descrição detalhada de seus componentes e da importância de normas técnicas, como a NBR 5410 e a NBR 14039, para garantir a

precisão e a confiabilidade do sistema. Além disso, são discutidos conceitos-chave sobre obsolescência de equipamentos industriais e as vantagens do uso de tecnologias mais avançadas, como fibras ópticas e sistemas de medição digital.

No Capítulo 3, é feita uma descrição detalhada do problema enfrentado pela UHE X. A usina, que desempenha um papel de destaque na segurança energética de sua região, apresenta deficiências tecnológicas devido ao envelhecimento de seus sistemas de medição, o que afeta diretamente sua operação e lucratividade. Esse capítulo justifica a necessidade urgente de modernizar o SMF, analisando o impacto econômico e operacional da falta de precisão nas medições de energia e as consequências potenciais para a usina e a região. E, a partir disso, propõe uma solução, demonstrando a metodologia utilizada em sua condução.

O Capítulo 4 descreve a metodologia adotada para a elaboração do projeto executivo de modernização do SMF. São detalhadas as etapas do projeto, que incluem o levantamento dos requisitos técnicos, a análise do sistema de medição atual, e a criação de documentação técnica como listas de cabos, memórias de cálculo, desenhos e especificações. Este capítulo também aborda os procedimentos de verificação e revisão dos documentos, além do processo de aprovação pelos órgãos responsáveis. A metodologia aplicada garante que o projeto atenda às normas técnicas e aos requisitos do cliente, com foco em garantir uma implementação eficaz e segura.

Por fim, o Capítulo 5 discute os resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto executivo. São apresentados os principais desafios enfrentados ao longo do processo, como a complexidade técnica e as exigências normativas, além das contribuições do projeto para a modernização da usina. O capítulo reflete sobre os impactos econômicos e sociais da modernização, tanto para a usina quanto para a região, e discute as perspectivas futuras para a continuidade do projeto. Também são exploradas as etapas necessárias para a implementação final do sistema e os benefícios esperados em termos de eficiência energética e sustentabilidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

“Scientia potentia est” “saber é poder”, como afirmou Bacon (1597), sintetiza a ideia de que o conhecimento não apenas capacita, mas também transforma. Esta máxima ressalta o entendimento dos fenômenos naturais e científicos como um meio de capacitar a humanidade a não apenas compreender seu ambiente, mas também influenciar e moldar seu curso. Um exemplo é a descoberta do fenômeno da eletricidade e suas aplicações.

A revolução provocada pela eletricidade ilustra vividamente como o conhecimento científico pode moldar a vida cotidiana e transformar completamente os padrões de desenvolvimento humano. Desde sua descoberta e entendimento teórico até sua aplicação prática em tecnologias como iluminação, telecomunicações e eletrônica, a eletricidade revolucionou a indústria, o transporte, a comunicação e até mesmo os hábitos domésticos das pessoas.

De acordo com Shurcliff (1984), a compreensão dos princípios elétricos permitiu o desenvolvimento de redes elétricas que conectaram comunidades e impulsionaram o avanço tecnológico. Isso não apenas melhorou a qualidade de vida ao proporcionar conforto e eficiência, mas também estimulou novas áreas de pesquisa e inovação.

No contexto acadêmico, o desenvolvimento do conhecimento é um processo realimentado, pois à medida que o conhecimento é gerado e consolidado através de pesquisas e estudos, o arcabouço teórico se expande. Como ressaltado por Kuhn (1978), a ciência avança através de períodos de acumulação gradual de conhecimento, seguidos por revoluções científicas que transformam e redefinem paradigmas existentes. Ou seja, “conhecimento gera conhecimento”.

Assim, mesmo fora da esfera acadêmica, a importância do embasamento teórico está em sua capacidade de não apenas fornecer o conhecimento necessário para a execução de determinada atividade, mas também de a conferir legitimidade. Ao estabelecer uma fundamentação teórica sólida, a atividade torna-se respaldada por princípios, conceitos e metodologias reconhecidos, demonstrando sua validade e relevância dentro do contexto em que é aplicada.

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que embasa as atividades desenvolvidas ao longo do projeto, destacando como o conhecimento técnico-teórico orienta tanto o processo de elaboração quanto as decisões práticas de engenharia. A divisão é feita em seis temas que constituem a base deste trabalho.

A Seção 2.1 aborda os Sistemas de Medição de Faturamento (SMF) em usinas hidrelétricas, detalhando sua estrutura, funcionamento e a importância da precisão na medição da energia gerada e consumida, com foco nas exigências regulatórias e no impacto sobre a comercialização de energia.

A Seção 2.2 trata das normas técnicas aplicáveis à medição de energia elétrica

e à instalação de sistemas de medição, enfatizando sua relevância para garantir qualidade, segurança e conformidade com regulamentações, destacando normas como a NBR 5410 e a IEC 62052-11.

A Seção 2.3 descreve os processos relacionados ao desenvolvimento de projetos executivos em engenharia, desde a definição de escopo até o monitoramento e controle, com foco em documentação técnica e procedimentos de verificação e aprovação, incluindo revisões internas e conformidade regulatória.

A Seção 2.4 discute a obsolescência de equipamentos e sistemas industriais, abordando seus impactos sobre custos operacionais, eficiência e riscos, demonstrando o efeito negativo da desatualização tecnológica na competitividade e segurança industrial.

A Seção 2.5 explora a tecnologia de cabeamento óptico, descrevendo seus princípios, vantagens e aplicações práticas, com destaque para sua alta capacidade de transmissão e imunidade a interferências, comparando fibras monomodo e multimodo e suas respectivas aplicações.

A Seção 2.6 examina a teoria de circuitos elétricos, abordando o funcionamento de componentes como fontes de alimentação, resistores, capacitores e indutores, além de suas aplicações diversas.

2.1 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO EM USINAS HIDRELÉTRICAS

Os Sistemas de Medição de Faturamento (SMF) em usinas hidrelétricas são componentes chave para a operação econômica de tais empreendimentos. Esses sistemas são responsáveis pela medição precisa da energia gerada e entregue ao sistema de distribuição ou transmissão, além de quantificar a energia consumida internamente pelas próprias instalações. O papel dos SMFs vai além da simples contabilização de energia, uma vez que influencia diretamente o faturamento e, por consequência, a lucratividade da usina. Este capítulo explora o funcionamento dos SMFs em usinas hidrelétricas, suas exigências de precisão e seu impacto na operação e nos resultados financeiros.

2.1.1 Funcionamento dos Sistemas de Medição de Faturamento

Os sistemas de medição de faturamento são compostos por dispositivos e instrumentos integrados que monitoram e registram a quantidade de energia elétrica gerada e injetada na rede elétrica. O funcionamento baseia-se na medição da potência ativa (em megawatts) e da energia elétrica (em megawatts-hora) gerada pela usina. Os principais componentes desses sistemas incluem transformadores de corrente (TCs) e de potencial (TPs), medidores digitais, unidades de aquisição de dados, e sistemas de telemetria e comunicação.

Medição da Energia Gerada e Consumida:

O SMF coleta dados de geração diretamente nos barramentos de saída dos geradores e mede a energia exportada para a rede. Além da energia gerada, o SMF também mede o consumo interno da usina, que inclui a energia utilizada para a operação de equipamentos auxiliares, como bombas e sistemas de resfriamento. A distinção entre a energia bruta gerada e o consumo interno é crucial, pois o faturamento deve considerar apenas a energia líquida entregue à rede.

Precisão Necessária para o Faturamento:

A precisão dos sistemas de medição deve garantir que a usina hidrelétrica seja compensada adequadamente pela energia fornecida. No Brasil, a regulamentação pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece padrões rigorosos de calibração e tolerâncias para os medidores utilizados no faturamento. Medidores devem operar com precisão dentro de margens de erro abaixo de 0,5%. Qualquer variação nos transformadores de corrente (TCs) e de potencial (TPs) pode afetar a medição final, exigindo manutenção e calibrações periódicas.

2.1.2 Estrutura e Componentes dos SMFs

Os principais objetivos do sistema de medição instalado nos pontos de conexão incluem:

- Apuração da parcela de ineficiência por ultrapassagem de demanda e sobrecontratação.
- Verificação da ordem de despacho e apuração de serviços ancilares para unidades geradoras.
- Contabilização e liquidação de energia no âmbito da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Os medidores do SMF são conectados ao Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), que coleta e trata dados de medição diariamente. O SCDE possibilita inspeções lógicas com acesso direto aos medidores, aumentando a confiabilidade dos dados.

Conforme o Módulo 12 dos Procedimentos de Rede da ONS, o SMF é composto por:

- Medidores principal e de retaguarda.

- Transformadores para instrumentos (TIs), que incluem transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC).
- Canais de comunicação entre agentes e a CCEE.
- Sistemas de coleta de dados de medição para faturamento.

Os dados são coletados pelo SCDE em intervalos de 5 minutos para energia ativa (kWh) e energia reativa (kVARh), e integralizados em períodos de uma hora para compatibilidade com a comercialização na CCEE.

Os SMFs devem ser instalados nos seguintes pontos de conexão:

- Com a rede básica.
- Com as Demais Instalações de Transmissão Compartilhadas (DITC).
- Com as instalações de transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada (ICG).
- De interligação internacional (importação e exportação de energia).
- De interligação entre submercados, quando definido pela CCEE e ONS.

Adicionalmente, devem ser instalados em pontos de conexão de consumidores livres ou especiais, unidades geradoras com contabilização de serviços ancilares (responsáveis por garantir a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia), entre outros casos conforme o Módulo 12. Casos excepcionais devem ser analisados pelo ONS e pela CCEE.

Arquitetura do Sistema de Medição de Faturamento:

A Figura 1 apresenta a organização detalhada dos principais equipamentos que compõem a arquitetura básica de um Sistema de Medição de Faturamento (SMF). Nessa estrutura, os dispositivos são organizados de forma hierárquica e funcional, destacando a integração entre medidores, transformadores, sistemas de comunicação e equipamentos de proteção.

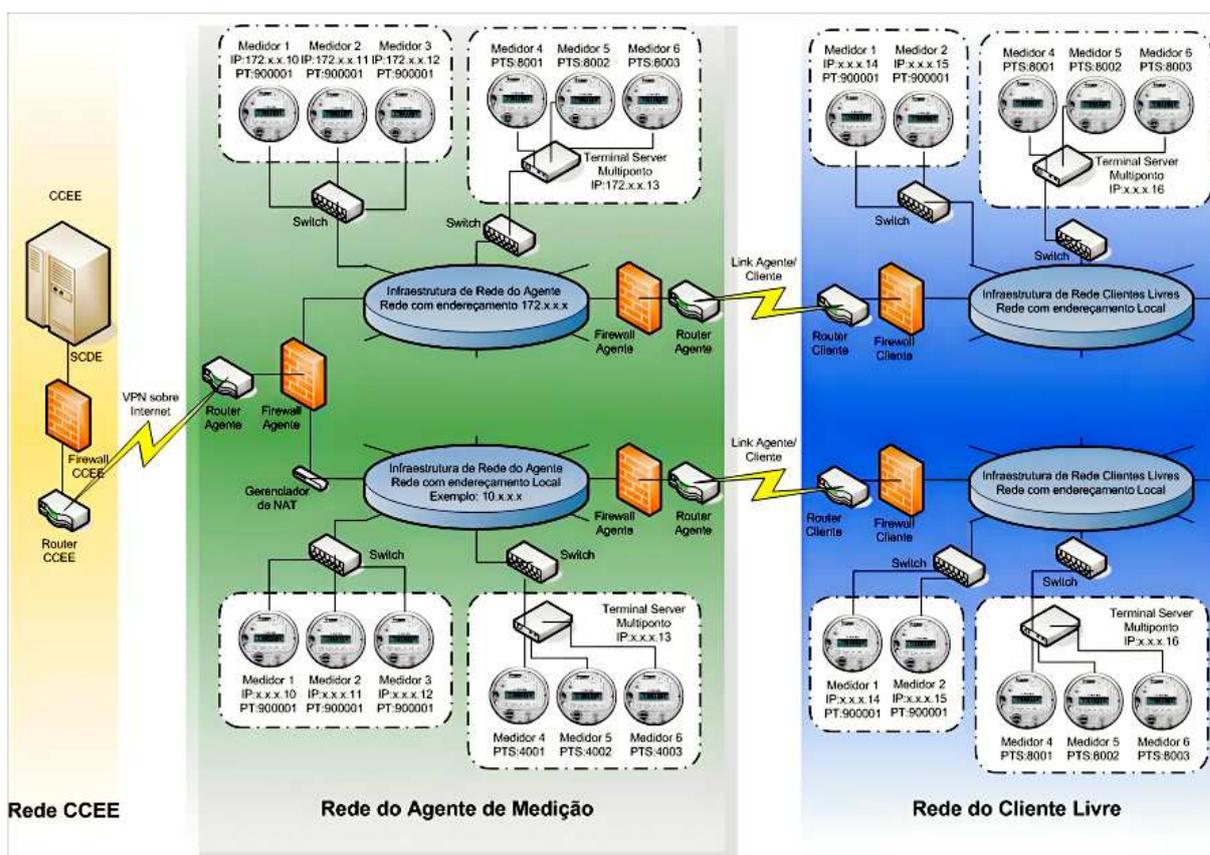
Na Rede CCEE, localizada à esquerda do diagrama, encontram-se os pontos de interconexão com a infraestrutura da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que é conectada ao agente de medição através de uma VPN segura, garantindo a integridade dos dados transmitidos. No centro da figura, a Rede do Agente de Medição é o núcleo do sistema, abrigando os principais dispositivos de medição e

coleta de dados. Nessa rede, destacam-se os medidores principais e de retaguarda, organizados para garantir redundância e segurança na medição, juntamente com transformadores de potencial (TP) e transformadores de corrente (TC), responsáveis pela conversão dos sinais elétricos medidos.

À direita, a Rede do Cliente Livre está interligada ao sistema, onde uma estrutura de comunicação semelhante à do agente de medição conecta medidores, *switches* e servidores. A organização meticulosa dos equipamentos visa otimizar o fluxo de dados, assegurando que cada componente desempenhe seu papel na coleta, transmissão e processamento das informações de medição.

Cada um dos equipamentos está interligado por canais de comunicação protegidos por *firewalls*, organizados para manter a segurança e a confiabilidade do sistema como um todo. A configuração modular da rede permite a fácil manutenção e a atualização dos equipamentos, promovendo maior eficiência no gerenciamento dos dados de medição e na confiabilidade dos resultados.

Figura 1 – Arquitetura Básica do Sistema de Medição para Faturamento.



Fonte: (ONS, 2022).

2.2 NORMAS TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Normas técnicas são documentos que estabelecem requisitos, diretrizes ou características para processos, produtos, serviços e sistemas, com o objetivo de garantir qualidade, segurança e eficiência. Elas são elaboradas por comitês especializados e organismos de normatização e são baseadas em consenso técnico, experiência prática e melhores práticas do setor.

Objetivos e Benefícios das Normas Técnicas

- **Garantir Qualidade e Segurança:** Normas técnicas definem padrões de qualidade e segurança que devem ser seguidos para assegurar que produtos e serviços atendam às expectativas dos consumidores e às exigências regulatórias.
- **Facilitar a Comunicação e Interoperabilidade:** Elas proporcionam um entendimento comum entre diferentes partes envolvidas, facilitando a comunicação e a interoperabilidade entre sistemas e produtos de diferentes fabricantes.
- **Promover a Eficiência e a Redução de Custos:** Ao padronizar processos e requisitos, normas técnicas ajudam a otimizar operações e reduzir custos associados a erros, retrabalho e ineficiências.
- **Apoiar a Conformidade Regulamentar:** Normas técnicas muitas vezes são incorporadas em regulamentações e legislações, auxiliando na conformidade com leis e regulamentos aplicáveis.

Aplicação das Normas Técnicas

Normas técnicas são aplicadas em diversos setores e disciplinas, desde a construção civil e engenharia até a fabricação de produtos e serviços. Elas são essenciais para garantir que produtos e sistemas funcionem conforme o esperado, atendam aos requisitos regulamentares e proporcionem segurança e confiabilidade aos usuários.

2.2.1 Normas Técnicas para Medição de Energia Elétrica e Instalação de Sistemas de Medição

A medição de energia elétrica é um processo crítico para a gestão e controle da energia, e sua precisão é fundamental para a cobrança correta e a eficiência operacional. Várias normas técnicas regulam a medição de energia elétrica e a instalação de sistemas de medição, garantindo que estes processos sejam realizados com precisão e segurança.

Principais Normas Técnicas Aplicáveis

- **NBR 5410:** Define as condições mínimas para a instalação elétrica de baixa tensão, abordando aspectos como segurança e eficiência. Esta norma é essencial para assegurar que a instalação de sistemas de medição seja realizada de acordo com os requisitos de segurança e desempenho.
- **NBR 14039:** Regula as instalações elétricas em sistemas de medição e controle de energia elétrica, detalhando a proteção dos medidores e a integração com a rede elétrica. Ela é crucial para garantir a confiabilidade e a segurança dos sistemas de medição.
- **ABNT NBR 14519:** Especifica os requisitos para medidores eletrônicos de energia elétrica, abrangendo características técnicas e de desempenho necessárias para assegurar medições precisas.
- **ABNT NBR 14520:** Define os métodos de ensaio para medidores eletrônicos, garantindo que estes dispositivos cumpram com as especificações estabelecidas e assegurem a precisão das medições.
- **ABNT NBR 14521:** Trata dos procedimentos para a aceitação de lotes de medidores eletrônicos, garantindo que os lotes recebidos estejam em conformidade com as especificações e sejam de alta qualidade.
- **ABNT NBR 13487 e ABNT NBR 13488:** Estas normas especificam os requisitos para fibras ópticas utilizadas em sistemas de medição baseados em comunicação óptica. A NBR 13487 é para fibras multimodo e a NBR 13488 é para fibras monomodo, ambas importantes para garantir a integridade dos sistemas de comunicação na medição de energia.
- **IEC 62052-11 e IEC 62053-22:** A primeira norma define os requisitos gerais e os testes para equipamentos de medição de eletricidade, enquanto a segunda estabelece requisitos específicos para medidores estáticos de energia ativa, garantindo a precisão e a conformidade dos medidores.
- **IEC 61000-4-2 a IEC 61000-4-30:** Um conjunto de normas que aborda a compatibilidade eletromagnética (EMC) e os métodos de teste associados, garantindo que os medidores e sistemas de medição operem corretamente em ambientes com interferências eletromagnéticas e atendam aos requisitos de qualidade da energia.
- **EN 50160:** Define as características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública, estabelecendo padrões para a qualidade da energia fornecida aos consumidores.

- **ISO/IEC 17025:** Estabelece os requisitos para a competência de laboratórios de teste e calibração, assegurando a precisão e a conformidade dos ensaios e calibrações dos medidores de energia.
- **ONS NT 0170/2015:** Fornece diretrizes específicas para a medição e faturamento de energia elétrica no Brasil, garantindo que os sistemas de medição estejam em conformidade com as regulamentações nacionais.

Estas normas, quando aplicadas corretamente, garantem a precisão das medições de energia elétrica e a segurança operacional dos sistemas de medição, proporcionando uma base sólida para a gestão e controle da energia elétrica.

2.3 TÉCNICAS DE PROJETO EXECUTIVO EM ENGENHARIA: DOCUMENTAÇÃO E PROCESSOS DE APROVAÇÃO

O projeto executivo representa a fase onde os conceitos e especificações do projeto são detalhados e preparados para a execução prática. Esse estágio destina-se em garantir que o projeto seja implementado de acordo com os requisitos técnicos e normativos. A documentação e os processos de verificação e aprovação são componentes fundamentais desse estágio. A seguir, detalha-se as etapas típicas de um projeto de engenharia.

2.3.1 Etapas de um Projeto de Engenharia

Um projeto de engenharia é geralmente desenvolvido em várias etapas, cada uma com suas próprias atividades e objetivos. As principais etapas são descritas a seguir:

1. **Definição do Escopo:** Esta etapa envolve a identificação e definição dos objetivos do projeto, requisitos e restrições. Inclui a análise das necessidades do cliente e a definição do escopo de trabalho, que estabelece o que será realizado e o que está fora do escopo. Esta fase é crítica para garantir que o projeto atenda às expectativas e necessidades do cliente (TURNER, 2014).
2. **Levantamento de Requisitos:** Durante esta fase, são coletadas e documentadas todas as informações necessárias para a elaboração do projeto. Inclui a análise de normas técnicas, revisão de documentos existentes e realização de reuniões de alinhamento com as partes interessadas. É essencial para garantir que todos os requisitos sejam compreendidos e incorporados ao projeto (GIDADO; IBRAHIM, 2020).
3. **Elaboração do Projeto Conceitual:** Esta etapa envolve o desenvolvimento de um modelo conceitual que descreve a solução proposta. O projeto conceitual

fornece uma visão geral do sistema e das suas principais características, mas ainda não contém todos os detalhes técnicos. Serve como base para o desenvolvimento do projeto executivo (BLANDFORD; GREEN, 2018).

4. **Desenvolvimento do Projeto Executivo:** No projeto executivo, são detalhados todos os aspectos técnicos do projeto, incluindo desenhos técnicos, listas de materiais e memórias de cálculo. Esta fase traduz o projeto conceitual em documentação detalhada que pode ser usada para a construção ou implementação. Inclui a preparação de todos os documentos necessários para a execução do projeto (GIESECKE *et al.*, 2017).
5. **Verificação e Revisão:** Após a elaboração dos documentos, é realizada uma revisão detalhada para identificar e corrigir erros. Isso pode incluir revisões internas, simulações e análises adicionais para validar a precisão dos documentos. Esta etapa é crucial para garantir que o projeto esteja livre de erros e que atenda aos requisitos técnicos e normativos (MUJAL; FERNÁNDEZ, 2019).
6. **Aprovação e Implementação:** A documentação deve ser aprovada por partes interessadas, reguladores e, em alguns casos, pelo cliente. Após a aprovação, o projeto pode ser implementado conforme os documentos e especificações aprovados. A aprovação formal é necessária para garantir que o projeto esteja em conformidade com todas as regulamentações e expectativas (FENTON; NEIL, 2019).
7. **Monitoramento e Controle:** Durante a fase de implementação, é importante monitorar e controlar o progresso do projeto para garantir que ele esteja sendo executado conforme o planejado. Isso inclui a verificação contínua do desempenho e a realização de ajustes conforme necessário para manter o projeto no caminho certo (REDDY, 2019).

2.3.2 Elaboração de Documentação

A documentação técnica gerada durante o projeto executivo deve refletir com precisão todos os aspectos do projeto e facilitar a construção ou implementação. As principais categorias de documentos incluem:

- **Listas de Materiais (BOM - Bill of Materials):** A lista de materiais é uma compilação detalhada dos componentes e materiais necessários. Esta lista deve incluir descrições técnicas, quantidades e informações sobre fornecedores. A precisão nas listas de materiais é crucial para o controle de inventário e a coordenação da cadeia de suprimentos (GIESECKE *et al.*, 2017).

- **Desenhos Técnicos:** Desenhos técnicos são representações gráficas que comunicam a configuração e os detalhes do projeto. Incluem plantas baixas, cortes, elevações e detalhes específicos. A padronização e clareza dos desenhos são essenciais para garantir que todos os envolvidos na execução do projeto compreendam as especificações corretamente. Normas para representação técnica são frequentemente empregadas para garantir consistência e qualidade (BLANDFORD; GREEN, 2018).
- **Memórias de Cálculo:** As memórias de cálculo documentam os processos de análise e dimensionamento realizados. Elas incluem os procedimentos adotados, fórmulas utilizadas e os resultados obtidos. Este documento é fundamental para validar a segurança e a eficiência dos projetos. A precisão na documentação dos cálculos é importante para a verificação e revisão por terceiros (MUJAL; FERNÁNDEZ, 2019).

2.3.3 Processos de Verificação

A verificação é um processo essencial que assegura a qualidade e a conformidade dos documentos do projeto. As principais etapas incluem:

- **Revisões Internas:** A equipe de engenharia realiza revisões detalhadas dos documentos para identificar e corrigir erros. As revisões internas podem incluir diferentes especialidades para assegurar que todos os aspectos técnicos sejam considerados. Este processo é descrito por Gidado e Ibrahim (GIDADO; IBRAHIM, 2020), que enfatizam a importância da revisão rigorosa para a redução de erros.
- **Simulações e Análises:** Simulações e análises adicionais podem ser realizadas para verificar o desempenho do projeto em condições variadas. Estas análises ajudam a prever e mitigar problemas potenciais antes da execução. O uso de softwares especializados para simulação é comum para garantir a precisão dos resultados (REDDY, 2019).

2.3.4 Processos de Aprovação

Após a verificação, os documentos devem ser submetidos para aprovação formal, que pode incluir:

- **Revisão por Pares:** A revisão por pares envolve a análise dos documentos por engenheiros independentes ou especialistas para assegurar que atendem aos padrões técnicos e normativos. Este processo é importante para a identificação de possíveis falhas que não foram detectadas durante a revisão interna (TURNER, 2014).

- **Aprovação Regulamentar:** Projetos complexos podem necessitar de aprovações de órgãos reguladores. A conformidade com as regulamentações locais, nacionais e internacionais é essencial para garantir a legalidade e a segurança do projeto. O cumprimento das normas é abordado por Fenton e Neil (FENTON; NEIL, 2019).
- **Aceitação do Cliente:** Finalmente, o cliente ou o responsável pelo empreendimento deve revisar e aprovar a documentação. Esta etapa garante que o projeto atenda às expectativas e aos requisitos específicos do cliente. A comunicação clara e a negociação de requisitos são aspectos destacados por Turner (TURNER, 2014).

2.4 OBSOLESCÊNCIA DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS INDUSTRIAIS

A obsolescência de equipamentos e sistemas industriais é um fenômeno que ocorre quando a tecnologia utilizada torna-se desatualizada, em razão de avanços tecnológicos ou mudanças nas necessidades operacionais. Este processo de obsolescência pode ter impactos significativos sobre os custos, a eficiência e os riscos operacionais das empresas (KUMAR, U.; KUMAR, P. R., 2008; BASTEN; MEER, 2013).

2.4.1 Impacto nos Custos

A obsolescência tecnológica tem uma influência direta sobre os custos operacionais das indústrias. Equipamentos e sistemas ultrapassados frequentemente requerem manutenção mais frequente e dispendiosa, o que aumenta os custos de operação (YANG; WANG, 2008). Além disso, a dificuldade em encontrar peças de reposição e a necessidade de adaptar novas tecnologias para integrar com os sistemas antigos podem elevar os custos de manutenção e reparo. O custo de manutenção pode crescer exponencialmente à medida que a tecnologia envelhece, refletindo a crescente complexidade e o baixo número de fornecedores especializados (GILLESPIE, 2008).

2.4.2 Impacto na Eficiência

A eficiência operacional é diretamente afetada pela obsolescência tecnológica. Sistemas antigos podem não aproveitar as mais recentes inovações e melhorias tecnológicas que promovem maior desempenho e eficiência (MEIER; SMITH, A. R., 2012). Equipamentos desatualizados podem resultar em processos menos ágeis e em uma menor capacidade de adaptação às novas demandas de produção. Além disso, a eficiência energética dos sistemas antigos frequentemente fica aquém dos padrões modernos, levando a um aumento nos custos operacionais e ao desperdício de recursos (KEMP; SCHOT, 2006). A falta de integração entre novos sistemas e tecnologias exis-

tentes pode também limitar a capacidade da empresa de otimizar seus processos produtivos (HUSAIN; ZHANG, 2013).

2.4.3 Impacto nos Riscos Operacionais

A obsolescência tecnológica pode aumentar significativamente os riscos operacionais. Sistemas antigos são mais suscetíveis a falhas e avarias, que podem levar a paradas não planejadas e interrupções na produção (ZHOU; JOHNSON, 2011). Tais falhas não apenas afetam a produção e a entrega dos produtos, mas também podem comprometer a segurança dos trabalhadores e a integridade das operações industriais. A falta de suporte técnico e atualizações de segurança para sistemas obsoletos também pode expor a empresa a vulnerabilidades e ataques cibernéticos (CHUNG; LEE, 2011). Além disso, a dificuldade em encontrar especialistas capacitados para operar ou reparar sistemas antigos pode acarretar um aumento nos tempos de inatividade e na dificuldade de gerenciamento de crises operacionais (BARRETT; WHITE, 2012).

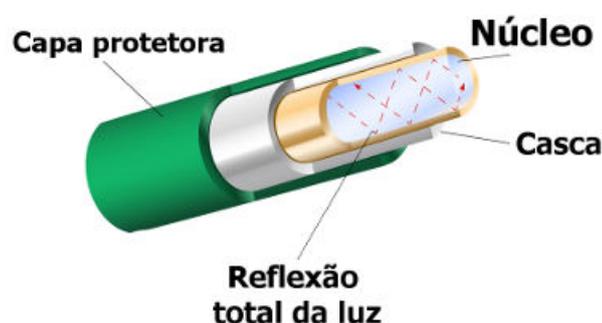
2.5 CABEAMENTO ÓPTICO

Os cabos de fibra óptica representam uma tecnologia revolucionária no campo das comunicações, oferecendo transmissão de dados rápida, confiável e eficiente. Ao contrário dos cabos de cobre tradicionais, que transmitem dados por eletricidade, as fibras ópticas utilizam pulsos de luz para transmitir informações, resultando em uma transmissão mais veloz e com maior largura de banda. Esta seção explora os princípios fundamentais dos cabos de fibra óptica, destacando sua estrutura, princípio de funcionamento, vantagens e principais aplicações.

2.5.1 Estrutura das fibras ópticas

As fibras ópticas são compostas principalmente por três elementos: o núcleo, o revestimento interno e o revestimento externo. O núcleo é o componente central do cabo, composto por fibras de material dielétrico, como vidro ou plástico, responsáveis por transmitir a luz (PINHEIRO, 2005). Com diâmetros de alguns micrômetros, essas fibras são altamente transparentes para garantir a transmissão eficiente da luz. Cada fibra no núcleo é envolvida por uma camada de resina, conhecida como revestimento interno ou casca, que possui menor densidade refrativa que o núcleo, permitindo a reflexão interna da luz e evitando perdas de sinal. Essa estrutura básica é protegida por um revestimento externo, uma camada protetora que oferece resistência mecânica e proteção contra condições ambientais adversas, como umidade, temperatura e pressão (PINHEIRO, 2005). Geralmente feito de PVC ou materiais plásticos similares, esse revestimento garante a integridade física do cabo óptico. A Figura 2 apresenta um esquemático da construção estrutural geral dos cabos de fibra óptica.

Figura 2 – Estrutura geral do cabo de fibra óptica.



Fonte: (SILVA JÚNIOR, 2023).

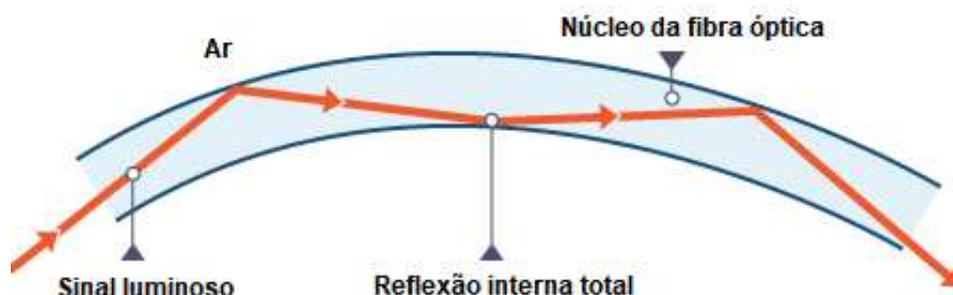
Os cabos ópticos são fabricados em várias etapas, incorporando diferentes elementos e camadas, como enchimentos, encordoamentos e proteções adicionais. Além disso, esses cabos são projetados para permitir uma visualização clara das fibras. Os tipos mais comuns de cabos ópticos incluem o acondicionamento Tight Buffered para uso interno e subterrâneo, e o Loose Buffered para aplicações externas e algumas internas. A variedade de tipos de cabos ópticos reflete suas características específicas e aplicações designadas (PINHEIRO, 2005).

2.5.2 Princípio de Funcionamento

A transmissão de dados em cabos de fibra óptica ocorre através de pulsos de luz conduzidos por suas fibras ópticas. A fibra óptica opera com base no princípio de reflexão interna total da luz, que permite a propagação contínua da luz no núcleo interno com mínima perda de sinal. Para que ocorra a reflexão interna total da luz na fibra óptica, são necessários dois fatores principais: (a) o lançamento de um feixe de luz no núcleo da fibra óptica com um ângulo crítico específico, e (b) o índice de refração do núcleo da fibra ser maior que o índice de refração do revestimento que a circunda. Isso permite múltiplas reflexões internas dentro do núcleo, evitando que a luz se disperse para fora da fibra. A Figura 3 ilustra a propagação do feixe de luz pelo núcleo da fibra óptica.

A luz é gerada em uma das extremidades do cabo de fibra óptica, geralmente por um transmissor óptico, que converte sinais elétricos em sinais de luz. A qualidade da luz gerada é crucial para o desempenho do sistema de comunicação óptica, afetando diretamente a capacidade de transmissão de dados e a integridade do sinal ao longo da fibra. Como fontes de luz, os transmissores frequentemente utilizam diodos laser (LD - Laser Diode) ou diodos emissores de luz (LED - Light Emitting Diode). Em sistemas de fibra óptica de longa distância, os diodos laser são preferidos devido à

Figura 3 – Propagação do feixe de luz pela fibra óptica.



Fonte: (MAURÍCIO, 2022).

sua coerência e intensidade de luz superior.

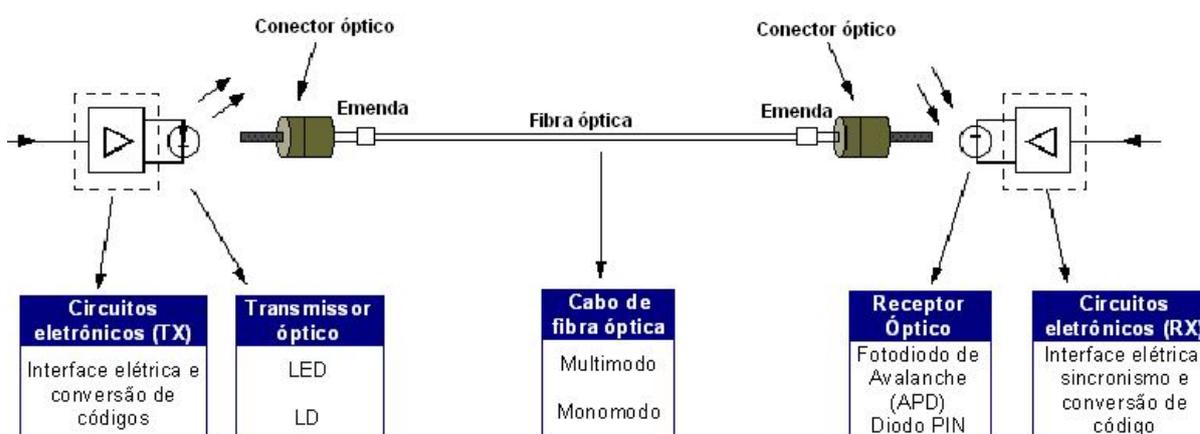
Para que os diodos emitam luz e reproduzam a mensagem, é necessário modular o sinal. Nesta etapa, os sinais elétricos que contêm a informação são convertidos em luz, variando características da onda eletromagnética como amplitude, frequência ou fase. Esta informação é então recuperada na extremidade receptora através de um processo conhecido como conversão eletro-óptica, realizado por um modulador eletro-óptico que altera as propriedades da luz de acordo com o sinal elétrico de entrada. Uma vez gerado o sinal óptico, ele é direcionado ao núcleo da fibra por um acoplador óptico, que garante a injeção adequada de luz no núcleo da fibra. Em sistemas de alta precisão, podem ser utilizados estabilizadores de frequência ou circuitos de controle para manter a estabilidade e coerência do sinal gerado.

A Figura 4 exemplifica um sistema óptico típico, destacando os dispositivos necessários para a transmissão de sinais através de cabos de fibra óptica.

2.5.3 Classificação das Fibras

As fibras ópticas são classificadas principalmente em dois tipos: fibra monomodo e fibra multimodo. Cada uma possui características e aplicações específicas que as tornam adequadas para diferentes cenários de uso. Segundo Govind P. Agrawal (2010), "As fibras ópticas podem ser classificadas em duas categorias principais: fibras monomodo e fibras multimodo. Essa classificação baseia-se na quantidade de modos de luz que a fibra pode transportar"(AGRAWAL, G. P. Fiber-Optic Communication Systems. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010). A seguir, serão apresentadas as principais características e aplicações de cada tipo de fibra.

Figura 4 – Sistema óptico típico.



Fonte: (MAURÍCIO, 2021).

2.5.3.1 Fibras Monomodo

A fibra monomodo (SMF - Single Mode Fiber) é caracterizada por suportar a propagação de apenas um modo de luz, onde a luz percorre o núcleo da fibra por um único caminho. Isso resulta em uma transmissão mais direta e eficiente. Com diâmetros de núcleo consideravelmente menores em comparação com as fibras multimodo, geralmente na ordem de 8 a 10 micrômetros, as fibras monomodo apresentam atenuação de sinal reduzida, permitindo a transmissão de sinais por distâncias maiores sem a necessidade de regeneradores de sinal. A propagação em um único modo de luz também proporciona maior largura de banda, suportando taxas de transmissão de dados mais elevadas e oferecendo maior capacidade para acomodar o tráfego de rede em crescimento. Outra característica é sua dispersão modal reduzida, devido à propagação quase uniforme dos componentes do sinal, resultando em baixa distorção do sinal.

A fibra monomodo é preferida para comunicações de longa distância devido à sua baixa atenuação e maior largura de banda, o que possibilita transmissões de dados mais rápidas e eficientes (KEISER, 2011; HECHT, 2017). Esta combinação de características torna a fibra monomodo ideal para aplicações que exigem comunicação de longa distância e alta velocidade, como redes de telecomunicações e de dados, que requerem boa integridade do sinal ao longo de grandes distâncias. No entanto, seu custo inicial é mais elevado devido à necessidade de conectores de precisão e equipamentos especializados.

2.5.3.2 Fibras Multimodo

A fibra multimodo (MMF - Multi Mode Fiber), por outro lado, permite a propagação de vários modos de luz simultaneamente, onde a luz percorre o núcleo da fibra por vários caminhos diferentes. Como resultado, a transmissão de sinal é mais suscetível à dispersão modal, o que pode limitar a distância máxima de transmissão e exigir medidas adicionais para compensação e correção de sinal. Com diâmetros de núcleo maiores em comparação com as fibras monomodo, frequentemente na ordem de dezenas de micrômetros, as fibras multimodo oferecem menor custo inicial de instalação e são mais fáceis de conectar e manipular devido à tolerância relaxada de alinhamento de fibras. Essas características tornam as fibras multimodo adequadas para aplicações de curto e médio alcance, onde são necessários custos operacionais mais baixos e onde a largura de banda necessária pode ser alcançada com eficiência.

Como destacado por Senior e Jamro (2009), as fibras multimodo são ideais para redes locais (LANs) e aplicações de curto alcance, onde custos iniciais menores e facilidade de acoplamento com fontes de luz como LEDs são vantajosos. No entanto, a dispersão modal limita sua aplicabilidade em distâncias mais longas e em aplicações que exigem altas taxas de transmissão de dados sem distorção significativa do sinal.

2.5.4 Vantagens das Fibras Ópticas

Como visto, as fibras ópticas proporcionam inúmeras vantagens em comparação aos cabos de cobre tradicionais. Algumas das principais vantagens são:

- **Alta Capacidade de Transmissão:** As fibras ópticas suportam uma largura de banda muito maior, possibilitando a transmissão de grandes volumes de dados em alta velocidade.
- **Baixa Atenuação:** A atenuação do sinal nas fibras ópticas é significativamente menor, permitindo a transmissão de sinais por distâncias muito maiores sem a necessidade de amplificação.
- **Imunidade a Interferências Eletromagnéticas:** Por utilizarem luz para a transmissão de dados, as fibras ópticas não são afetadas por interferências eletromagnéticas, comuns em ambientes industriais.
- **Segurança:** As fibras ópticas são mais seguras, pois não emitem radiação eletromagnética e são difíceis de serem interceptadas sem a interrupção do sinal.
- **Leveza e Flexibilidade:** As fibras ópticas são mais leves e flexíveis em comparação aos cabos de cobre, facilitando a instalação e manutenção.

2.5.5 Aplicações de fibras Ópticas

As fibras ópticas são fundamentais em diversas áreas, oferecendo soluções eficazes para diversas necessidades, como:

- **Indústria:** Utilizadas em ambientes industriais devido à sua imunidade a interferências eletromagnéticas, as fibras ópticas garantem uma comunicação confiável em ambientes com alto nível de ruído elétrico, contribuindo para a automação e controle de processos industriais.
- **Medicina:** Em equipamentos médicos avançados, as fibras ópticas permitem a transmissão de imagens de alta resolução e dados críticos com alta precisão e velocidade. Essa capacidade é crucial para diagnósticos precisos e tratamentos eficazes em diversas especialidades médicas.
- **Militar:** Utilizadas em sistemas de comunicação militar por sua segurança e imunidade a interferências, as fibras ópticas garantem a integridade das comunicações em operações críticas e estratégicas, oferecendo uma comunicação confiável e segura em ambientes hostis.

No entanto a fibra óptica ocupa um espaço maior de utilização principalmente nas áreas de telecomunicações e de redes de computadores.

Na área de telecomunicações, os cabos de fibra óptica desempenham um papel crucial na transmissão de sinais de voz, dados e vídeo através de redes de longa distância. Comparados aos cabos de cobre convencionais, as fibras ópticas oferecem uma capacidade de transmissão de dados significativamente maior e menor atenuação de sinal ao longo de distâncias mais longas. Isso possibilita a transmissão rápida e eficiente de grandes volumes de informações, atendendo à crescente demanda por serviços de comunicação de alta velocidade. Além disso, os cabos de fibra óptica são menos suscetíveis a interferências eletromagnéticas, o que garante maior confiabilidade e integridade do sinal em ambientes urbanos e industriais. Como resultado, as operadoras de telecomunicações têm amplamente adotado tecnologias de fibra óptica para expandir suas redes e oferecer serviços de alta qualidade aos usuários finais.

Em redes de computadores, os cabos de fibra óptica são utilizados para interconectar dispositivos, servidores e centros de dados, suportando a transferência rápida e confiável de dados entre locais geograficamente dispersos. Com a crescente demanda por largura de banda e velocidades de transmissão mais rápidas, as redes de fibra óptica oferecem uma solução eficaz para atender às necessidades de conectividade de alta velocidade em ambientes corporativos e empresariais. Além de suportar a transmissão de dados em tempo real e aplicações de computação em nuvem, os cabos de fibra óptica proporcionam maior segurança de dados, reduzindo o risco de

interceptação e intrusão de sinais. Empresas e organizações têm investido em infraestruturas de rede de fibra óptica para melhorar a eficiência operacional, aumentar a produtividade e manter a competitividade no mercado global.

2.5.6 Síntese sobre Cabeamento de Fibras Ópticas

Em síntese, os cabos de fibra óptica representam uma tecnologia avançada e altamente eficiente para a transmissão de sinais de luz em sistemas de comunicação modernos. Com sua estrutura robusta, princípio de funcionamento baseado em reflexão interna total e capacidade de suportar altas taxas de transmissão de dados, os cabos de fibra óptica oferecem uma solução ideal para aplicações de telecomunicações, redes de computadores e outras aplicações de transmissão de dados em longas distâncias. Ao escolher entre fibras monomodo e multimodo, é essencial considerar os requisitos específicos de aplicação, como distância de transmissão, largura de banda necessária e custo operacional, para garantir o desempenho ideal do sistema de fibra óptica. Com o contínuo avanço da tecnologia de fibra óptica e a expansão das redes de comunicação global, espera-se que os cabos de fibra óptica continuem desempenhando um papel fundamental na infraestrutura de telecomunicações e na conectividade de alta velocidade em todo o mundo.

2.6 TEORIA DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

Um circuito elétrico pode ser definido como um caminho através do qual a eletricidade pode fluir. Frequentemente, utilizamos uma analogia com sistemas hidráulicos para facilitar a compreensão dos circuitos elétricos: a eletricidade é comparada à água, e os fios e componentes elétricos aos encanamentos.

Uma fonte de energia elétrica, como uma bateria ou tomada, desempenha o papel de uma bomba d'água, impulsionando a eletricidade pelos fios (encanamentos). Componentes como resistores, capacitores e indutores atuam como válvulas e reservatórios que controlam, armazenam e regulam o fluxo da corrente elétrica.

Nilsson e Riedel (2015) descrevem um circuito elétrico como um caminho fechado composto por componentes elétricos interligados por condutores, permitindo que a eletricidade flua de uma fonte de energia para dispositivos de consumo. Sadiku (2007) também descreve o circuito elétrico como um caminho fechado formado por elementos elétricos interconectados, incluindo fontes de energia, resistores, capacitores e indutores. As seções a seguir exploraram detalhes adicionais sobre os componentes principais dos circuitos elétricos, como definições, princípios de funcionamento e aplicações.

2.6.1 Componentes de Circuitos Elétricos

1. Fontes de Alimentação

As fontes de alimentação são dispositivos fundamentais em eletrônica e engenharia elétrica, responsáveis por fornecer energia elétrica estável e controlada para diversos tipos de equipamentos e sistemas (SEDRA; SMITH, K. C., 2014; RASHID, 2014). Elas desempenham um papel crucial ao converter a energia elétrica disponível (como de uma tomada AC) em formas adequadas de corrente contínua (DC) ou corrente alternada (AC) para alimentar componentes eletrônicos.

As fontes de alimentação têm como função principal:

- Fornecer Tensão Estável (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- Converter Formas de Energia (RASHID, 2014).
- Isolar e Proteger Circuitos.
- Filtrar Ruídos e Interferências.

Princípio de Funcionamento das Fontes de Alimentação

O princípio de funcionamento das fontes de alimentação varia de acordo com o tipo de circuito e a finalidade específica, mas geralmente envolve os seguintes elementos:

- Transformação de Tensão (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- Retificação (RASHID, 2014).
- Filtragem.
- Regulação.

Aplicações das Fontes de Alimentação

As fontes de alimentação são essenciais em uma variedade de aplicações, incluindo:

- Eletrônica de Consumo (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- Telecomunicações.
- Indústria (RASHID, 2014).
- Medicina.

2. Resistores

Os resistores são componentes elétricos fundamentais em circuitos eletrônicos, desempenhando várias funções essenciais para o controle e a operação adequada de correntes elétricas. Segundo Nilsson e Riedel (2015), "os resistores são dispositivos usados para introduzir uma resistência específica no circuito, dissipando energia na forma de calor". Eles oferecem resistência ao fluxo de elétrons, convertendo parte da energia elétrica em energia térmica, conforme descrito pelo efeito Joule.

Princípio de Funcionamento dos Resistores

Os resistores são componentes passivos que são construídos para oferecer uma resistência específica ao fluxo de corrente elétrica. A resistência (R) é medida em ohms (Ω) e determina o quão difícil é para a corrente elétrica fluir através do resistor. A lei de Ohm é a equação matemática que descreve a sua natureza e relação entre a tensão aplicada, a corrente que flui através do resistor e a resistência do componente Alexander e Sadiku (2007).

Lei de Construção de Resistores

A Lei de Construção de Resistores estabelece que a resistência elétrica (R) de um resistor é diretamente proporcional ao comprimento (ℓ) e inversamente proporcional à área de seção transversal (A_S) do material condutor utilizado, e é também diretamente proporcional à resistividade (ρ) do material condutor (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2015):

$$R = \left(\rho \cdot \frac{\ell}{A_S} \right), \quad (1)$$

onde:

- R é a resistência elétrica Ω];
- ρ é a resistividade elétrica do material [Ω m];
- A_S é a área de seção transversal do condutor [m^2];
- ℓ é o comprimento do circuito [m].

Aplicações dos Resistores

- **Limitação de Corrente:** Os resistores são usados para limitar a corrente em circuitos, protegendo componentes mais sensíveis.

- **Divisor de Tensão:** São usados em circuitos de divisor de tensão para criar tensões diferentes em diferentes partes do circuito.
- **Ajuste de Tensão e Corrente:** São utilizados para ajustar e calibrar a tensão e a corrente em circuitos específicos.
- **Filtragem de Sinais:** Em circuitos eletrônicos, são usados para filtrar sinais, especialmente em aplicações de áudio e comunicação.
- **Geração de Calor Controlado:** São usados em aplicações industriais e de potência para gerar calor controlado de forma eficiente.

Tipos de Resistores

Existem diferentes tipos de resistores, incluindo:

- **Resistores de Filme de Carbono:** Comuns e econômicos, usados em uma ampla gama de aplicações;
- **Resistores de Filme Metálico:** Oferecem melhor precisão e estabilidade em comparação com os de filme de carbono;
- **Resistores de Fio:** Usados em aplicações de alta potência devido à sua capacidade de dissipação de calor;
- **Resistores SMD (Surface Mount Device):** Compactos e ideais para aplicações em placas de circuito impresso (PCB).

3. Capacitores

Os capacitores são componentes eletrônicos fundamentais que armazenam energia elétrica na forma de cargas separadas em dois condutores (ou placas) separados por um material isolante, conhecido como dielétrico. Sua capacidade de armazenamento de carga elétrica é medida em Farads (F). Os capacitores desempenham papéis cruciais em circuitos elétricos, oferecendo uma série de funções importantes (SEDRA; SMITH, K. C., 2014; HOROWITZ; HILL, 2015a).

Princípio de Funcionamento dos Capacitores

O princípio básico de funcionamento dos capacitores é baseado na capacidade do dielétrico de isolar as cargas elétricas nas placas condutoras. Quando uma diferença de potencial (tensão) é aplicada através das placas do capacitor, ele armazena uma carga elétrica proporcional à tensão aplicada. A capacidade do capacitor de armazenar essa carga é diretamente proporcional à área das placas condutoras, inversamente proporcional à distância entre elas e dependente das propriedades do dielétrico entre elas (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).

Aplicações dos Capacitores

- **Filtragem de Sinais:** Capacitores são usados para filtrar ruídos e interferências em circuitos eletrônicos. Eles bloqueiam correntes contínuas e permitem a passagem de correntes alternadas, melhorando a qualidade dos sinais transmitidos (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- **Armazenamento de Energia:** Em circuitos elétricos, capacitores armazenam energia temporariamente. Eles são usados em fontes de alimentação para fornecer corrente instantânea durante picos de demanda e em circuitos de temporização para controlar o tempo de operação de dispositivos (HOROWITZ; HILL, 2015a).
- **Correção de Fator de Potência:** Em sistemas elétricos industriais e comerciais, capacitores são usados para melhorar o fator de potência, reduzindo as perdas de energia e melhorando a eficiência da transmissão e distribuição de energia elétrica (HOROWITZ; HILL, 2015a).
- **Circuitos de Acoplamento e Desacoplamento:** Capacitores são usados para acoplar (transferir sinais) e desacoplar (isolar componentes) em circuitos eletrônicos. Eles ajudam a evitar que sinais indesejados interfiram em partes específicas de um circuito (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- **Circuitos de Controle e Timing:** Em circuitos de controle, os capacitores são usados para ajustar o tempo de resposta de dispositivos e sistemas. Eles também são essenciais em osciladores e circuitos de temporização (HOROWITZ; HILL, 2015a).
- **Aplicações Específicas:** Capacitores têm aplicações variadas em eletrônica de consumo, telecomunicações, automação industrial, sistemas de energia renovável, entre outros campos (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).

4. Indutores

Indutores são componentes eletrônicos passivos fundamentais que armazenam energia na forma de um campo magnético quando uma corrente elétrica passa por eles. Eles são amplamente utilizados em circuitos elétricos e eletrônicos para uma variedade de aplicações, incluindo filtragem de sinais, controle de corrente, ajuste de frequência e como componentes essenciais em transformadores.

Princípio de Funcionamento dos Indutores

O funcionamento de um indutor baseia-se nas propriedades magnéticas dos materiais condutores. Quando uma corrente elétrica passa através do fio enrolado

do indutor, cria-se um campo magnético ao redor do fio (MILLMAN; GRABEL, 1987). Este campo magnético armazena energia na forma de energia magnética. Quando a corrente através do indutor é alterada, o campo magnético também muda, induzindo uma força eletromotriz (f.e.m.) que se opõe à mudança na corrente, de acordo com a Lei de Lenz.

A indutância, medida em henries (H), é a propriedade fundamental de um indutor que indica sua capacidade de armazenar energia magnética para uma dada corrente (HOROWITZ; HILL, 2015b). Quanto maior a indutância, maior a energia magnética armazenada para uma corrente dada.

Aplicações dos Indutores

- **Filtragem de Sinais:** Indutores são usados em circuitos para filtrar sinais elétricos, especialmente em circuitos de corrente alternada (AC), onde podem bloquear certas frequências e permitir a passagem de outras (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- **Transformadores:** Em conjunto com transformadores, os indutores são essenciais para o aumento ou diminuição da tensão AC em sistemas de distribuição elétrica e eletrônica (MILLMAN; GRABEL, 1987). Os transformadores operam com base nos princípios de indutância mútua, onde a variação do campo magnético em um enrolamento induz uma tensão no outro enrolamento.
- **Armazenamento de Energia:** Indutores são usados em circuitos de comutação, como em conversores DC-DC, onde armazenam energia temporariamente e liberam-na suavemente, ajudando a regular a corrente e a tensão (HOROWITZ; HILL, 2015b).
- **Filtros de Ruído e Supressão:** Em circuitos eletrônicos sensíveis, os indutores são empregados para suprimir ruídos e interferências, garantindo um sinal limpo e estável (SEDRA; SMITH, K. C., 2014).
- **Componentes de Controle e Regulação:** São utilizados em sistemas de controle para limitar picos de corrente, ajustar a frequência de oscilação em osciladores e regular a corrente em circuitos de potência (MILLMAN; GRABEL, 1987).

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e na evolução da sociedade contemporânea, sendo atualmente um recurso básico para diversas atividades econômicas, sociais e culturais. Como salientado por diversos estudos, a importância da energia elétrica transcende sua simples utilidade como fonte de luz e calor, estendendo-se à viabilização de processos industriais, comunicações, transporte e serviços essenciais.

Segundo Azevedo *et al.* (2010), a eletricidade é um "elemento vital para a modernização e a sustentação da vida em sociedade", sendo um fator determinante no aumento da produtividade e na melhoria da qualidade de vida das populações. Este entendimento é corroborado por Goldemberg (2004), que destaca a eletricidade como um "fator indispensável para o progresso tecnológico e econômico dos países".

A evolução da tecnologia, por sua vez, tem uma relação intrínseca com o desenvolvimento da energia elétrica. Desde o final do século XIX, quando a eletricidade foi amplamente adotada como uma forma de energia comercialmente viável, ela tem sido um facilitador para inovações em todos os setores da economia. Como observado por Smil (2005), a eletricidade é "a forma de energia mais versátil e indispensável para o funcionamento de economias modernas", impulsionando avanços em automação, comunicação, computação e transporte.

Previsões recentes indicam um aumento significativo na demanda global por energia elétrica nos próximos anos. Segundo o relatório da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2023), espera-se que a demanda global por eletricidade cresça a uma taxa anual média de cerca de 2,5% até 2040, impulsionada pelo aumento da eletrificação em setores como transportes, aquecimento e processos industriais. Isso se estende ao contexto brasileiro, cujo aumento do consumo final de energia elétrica entre 2022 e 2023 foi de 5,2% em face ao aumento de 4,8% da energia elétrica disponibilizada no mesmo período (BEN, 2024). Esse crescimento coloca pressão adicional no setor de geração de eletricidade para expandir as capacidades de forma sustentável e eficiente.

3.2 PARTICIPAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL

Apesar do assunto "energias renováveis" ter ganhado mais força recentemente, o Brasil já se destaca mundialmente nesse ramo há algum tempo. Em comparação com o resto do mundo, cuja utilização de energias de fontes renováveis é em torno de 28,1%, no Brasil esse número chega a 89,2%. A alta participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira decorre principalmente da combinação de suas

características geográficas, que potencializam o aproveitamento dos recursos hídricos para a geração de energia, o que torna as usinas hidrelétricas a modalidade de geração elétrica mais apropriada. Dentre esses atributos destacam-se:

1. **Abundância de Recursos Hídricos:** o Brasil possui uma vasta rede fluvial que se estende por todas regiões do país, com rios volumosos e perenes, características que garantem a operação contínua das usinas hidrelétricas;
2. **Clima Favorável:** grande parte do território brasileiro apresenta um regime de chuvas regular. Esse regime pluviométrico contribui para a manutenção dos níveis de água nos rios e, conseqüentemente, para a geração de energia ao longo do ano;
3. **Relevo Propício:** O relevo brasileiro é diversificado, com regiões montanhosas e planaltos que criam desníveis naturais, o que possibilita a formação de reservatórios que armazenam grandes volumes de água, necessários para a geração hidrelétrica, através da construção de barragens.

A favorabilidade da utilização de usinas hidrelétricas no Brasil é diretamente refletida na composição da matriz elétrica do país. Historicamente, essa participação tem sido superior a 60%, chegando em alguns anos com melhores condições hidrológicas até 75%, o que as tornam as principais responsáveis em garantir a segurança energética do país.

No entanto, como mostra o BEN (2024), essa parcela tem diminuído à medida que outras fontes de energias renováveis ganham espaço, como a eólica e a fotovoltaica. Segundo dados mais recentes, em 2023 a fração ocupada pelas hidrelétricas na geração de energia do país caiu para 58,9%. E, apesar da redução de sua participação em relação a oferta total de energia elétrica no Brasil, em termos absolutos a oferta hidráulica segue um baixo nível de crescimento. Entre os anos de 2022 e 2023, por exemplo, o aumento da oferta hidráulica foi de apenas 0,2%, o que pode sinalizar uma tendência de estagnação de seu crescimento. Além da eminente dormência do crescimento do setor, um ponto que preocupa os especialistas são as mudanças climáticas, que interferem diretamente em duas das principais características que garantem ao Brasil a posição de um dos melhores países para gerar energia através da água: a previsibilidade e a estabilidade da disponibilidade de água nos reservatórios.

Ainda assim, a diferença na quantidade total de energia gerada por hidrelétricas em comparação com outras fontes de energia elétrica é bastante significativa. As hidrelétricas são as principais responsáveis em garantir a segurança energética do país. A infraestrutura existente, com seus grandes reservatórios e capacidade de regulação, permite às hidrelétricas responderem de maneira flexível às flutuações na demanda por eletricidade. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o

território brasileiro abriga cerca de 219 usinas hidrelétricas em operação com capacidade instalada igual ou superior a 1 MW, totalizando aproximadamente 109.258 MW. Entre as principais hidrelétricas do Brasil, destacam-se:

1. Usina Hidrelétrica de Itaipu: Localizada no Rio Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, é uma das maiores usinas hidrelétricas do mundo em capacidade de geração.
2. Usina Hidrelétrica de Belo Monte: Localizada no Rio Xingu, no estado do Pará, é a segunda maior usina hidrelétrica do Brasil em capacidade instalada.
3. Usina Hidrelétrica de Tucuruí: Localizada no Rio Tocantins, no estado do Pará, foi uma das primeiras grandes usinas hidrelétricas construídas na Amazônia.
4. Usina Hidrelétrica de Jirau: Localizada no Rio Madeira, no estado de Rondônia, faz parte do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira.
5. Usina Hidrelétrica de Santo Antônio: Também localizada no Rio Madeira, próxima à Usina de Jirau, faz parte do mesmo complexo.

Por outro lado, quando observado pela ótica econômica, o alto custo inicial pode inviabilizar o empreendimento. Esse investimento decorre da necessidade de uma infraestrutura complexa, incluindo a construção de grandes barragens, sistemas de comportas, turbinas e redes de transmissão de energia. Além disso, o planejamento e a engenharia envolvidos são intensivos, demandando estudos ambientais detalhados para mitigar os impactos ecológicos e sociais. Outro fator que contribui para o custo elevado é o tempo necessário para completar o projeto, que pode levar vários anos desde o planejamento inicial até a entrada em operação comercial. Durante esse período, há necessidade de investimentos contínuos em mão de obra qualificada, equipamentos especializados e materiais de construção.

No entanto, o investimento nesse tipo de empreendimento torna-se economicamente viável e atrativo em situações onde as características geográficas e climáticas são favoráveis, como no Brasil. Após a construção, as usinas hidrelétricas apresentam baixos custos operacionais e de manutenção, utilizando água, uma fonte renovável, gratuita e, nesse caso, abundante, para geração de energia. Além disso, quando bem projetadas e mantidas, podem operar por várias décadas, oferecendo um retorno sobre o investimento a longo prazo. Algumas usinas no Brasil e ao redor do mundo operam continuamente há mais de 50 anos.

3.3 OBSOLESCÊNCIA EM USINAS HIDRELÉTRICAS

A longevidade das Usinas Hidrelétricas (UHEs) é uma de suas principais características, refletindo tanto os benefícios quanto os desafios associados à operação

dessas grandes instalações ao longo de várias décadas. Originalmente projetadas para ter uma vida útil de 30 a 50 anos, muitas UHEs continuam a operar muito além desse período, sendo a principal fonte de eletricidade em muitos países.

A durabilidade das UHEs é atribuída ao design robusto e à engenharia avançada empregada em sua construção. Esses projetos visam garantir que as usinas possam suportar condições adversas e operar de forma eficiente por longos períodos. No entanto, a manutenção e a modernização contínuas são importantes para preservar essa longevidade e assegurar que as usinas atendam às demandas energéticas, normas de segurança e requisitos ambientais no decorrer do tempo.

Um dos principais desafios associados à longevidade das UHEs é a necessidade de atualizar suas infraestruturas e tecnologias. Com o passar do tempo, as tecnologias originais tornam-se obsoletas em comparação aos avanços recentes. A falta de modernização pode levar a redução na eficiência operacional e a um aumento nos custos de manutenção. Estudos como os de Silva *et al.* (2018) destacam que a infraestrutura de hidrelétricas está sujeita ao desgaste e à necessidade de modernização para maximizar a produção de energia e minimizar impactos ambientais.

Além disso, equipamentos mais antigos podem sofrer com a falta de peças de reposição por não serem mais fabricadas ou até com a escassez de técnicos especializados, resultando em falhas e paradas não planejadas e, por conseguinte, em prejuízos consideráveis.

3.4 PROBLEMA ABORDADO

A obsolescência é um aspecto inevitável do progresso tecnológico e das mudanças nas preferências do mercado e, portanto, também atinge uma das maiores usinas hidrelétricas brasileiras. A UHE X - nome fictício criado para a UHE objeto deste PFC por questões de sigilo - está em operação comercial há algumas décadas e contribui com a geração de boa parte da energia elétrica consumida no Brasil, evidenciando a sua importância para o país.

A UHE X, mesmo após todo seu tempo de trabalho, mantém os índices de disponibilidade em patamares elevados, o que atesta a alta qualidade dos equipamentos e componentes, bem como um projeto de construção bem desenvolvido e implementado. Desde a sua construção, em meados da década de 1980, a usina passou por diversas atualizações tecnológicas, como a incorporação de digitalizações pontuais ou de camada, substituindo alguns sistemas, equipamentos e componentes, buscando seguir o desenvolvimento tecnológico e de mercado, objetivando manter-se eficiente e competitiva.

Foram 3 processos de digitalização na área industrial. O primeiro ocorreu por volta de 20 anos atrás, no qual a capacidade instalada da usina foi ampliada com a instalação de novas unidades geradoras. Aproximadamente 5 anos depois, foi implan-

tado um sistema que modernizou o monitoramento das unidades geradoras. A última atualização ocorreu recentemente e contou com a adição de um sistema de controle supervisorio, responsável pela operação da usina.

No entanto, manter os níveis de excelência tem se mostrado cada vez mais complexo. Aqueles sistemas e equipamentos que não foram contemplados pelas atualizações mais recentes, a maior parte deles, já estão em funcionamento há mais tempo do que foram projetados para operar. Muitos deles ainda são analógicos, destoando-se da tendência global. Adicionalmente, com o ciclo de vida dos equipamentos chegando ao fim, a necessidade de sobressalentes ou peças de reposição torna-se um fardo, já que muitos deles não são mais fabricados ou os fabricantes sequer existem mais. Além da obsolescência, a passagem do tempo e dos ciclos tecnológicos impactam também na gestão das competências profissionais, culminando na falta de especialistas técnicos.

A partir desses problemas e às projeções de aumento na demanda de energia elétrica, especialistas e gestores da UHE X mostram-se preocupados por uma possível obsolescência sistêmica da usina caso não seja tomada uma providência em breve, o que tornaria difícil uma reversão de cenário considerando o tamanho da usina e o custo associado. O grau de preocupação inclina-se também pela importância da hidrelétrica na economia do país e na garantia de segurança energética regional.

Essas incertezas tornam-se legítimas ao se inspecionar as dependências da usina, onde nota-se a ação do tempo. São diversos os problemas encontrados, como equipamentos praticamente legados (próximos do fim de sua vida útil ou desatualizados, mas ainda em uso porque cumprem suas funções adequadamente), e instalações elétricas e cabeamento deteriorados. As Figuras 5 e 6 exemplificam as condições de infraestrutura da UHE.

Na Figura 5, observa-se o acesso de alguns cabos ao Edifício de Controle, localizado na SEA. Apesar dos cabos estarem de certa forma organizados, há uma quantidade significativa de sujeira e detritos acumulados na caixa de passagem, incluindo pedaços de madeira e outros materiais não identificados, indicando falta de limpeza e manutenção regular.

A condição visual dos cabos sugere que são antigos, com possíveis sinais de desgaste ou deterioração, com a presença de pontos de coloração branca indicando a presença de fungos, e a coloração marrom da capa do cabo indicando ressecamento. A exposição prolongada sem proteção adequada pode comprometer a integridade dos cabos. Além disso, o sistema de amarração para manter os cabos organizados e seguros contém ferrugem, o que pode levar ao desprendimento dos cabos gerando-os tensões mecânicas, causando possíveis falhas elétricas ou de comunicação.

A combinação de sujeira, problemas de identificação e possíveis danos aos cabos representa um risco significativo de segurança, incluindo riscos de incêndio,



Figura 5 – Chegada dos cabos de controle das linhas de 500 kV no piso inferior do edifício de controle da SEA.

falhas no sistema elétrico e dificuldades em realizar manutenções de forma segura e eficiente. A presença de corrosão em partes metálicas visíveis pode indicar que a caixa de passagem está em um ambiente hostil ou úmido, o que pode acelerar a degradação dos componentes.

Já a Figura 6, apresentam-se as bandejas no piso inferior do edifício de controle que abrigam os cabos de controle de 66kV, 220kV e 500kV da SEA. A figura demonstra um emaranhado de cabos que traduz os 40 anos de operação da UHE. Durante esse período, atividades de manutenção e incrementos nos diversos sistemas da usina, que necessitaram de adição ou troca de cabeamento, tornaram as bandejas superlotadas e desorganizadas.

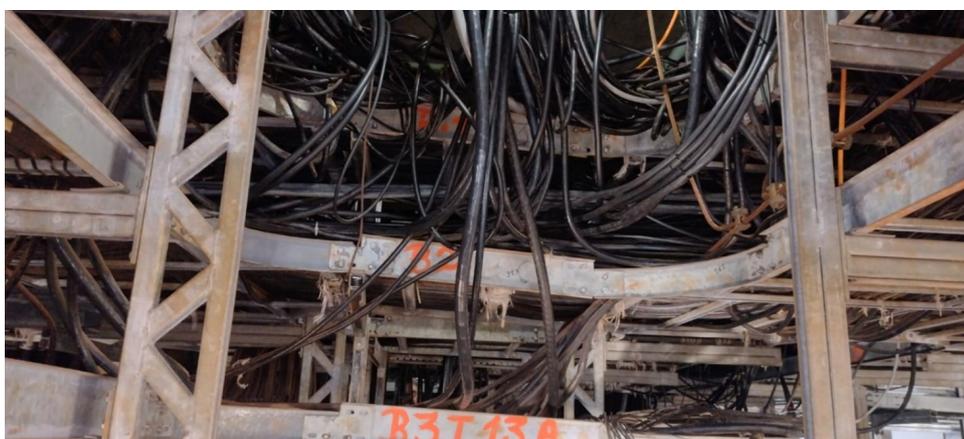


Figura 6 – Chegada dos cabos de controle das linhas de 500 kV no piso inferior do edifício de controle da SEA.

O excesso de cabos sobrepostos, cabos soltos fora das bandejas e a falta de

etiquetagem adequada dificultam a identificação e manutenção dos mesmos, além de representar riscos de segurança. As condições do bandejamento também mostram sinais de desgaste, com marcas de ferrugem nas estruturas metálicas, indicando a necessidade de inspeções regulares e possíveis substituições para garantir a integridade dos sistemas.

Dentre os sistemas afetados pela degradação do tempo e obsolescência está o sistema de medição de energia para faturamento da planta, cuja importância se reflete em aspectos financeiros, operacionais e regulatórios. A principal função desse sistema é medir e registrar com precisão a quantidade de energia elétrica gerada, transmitida, distribuída ou consumida. A seguir estão listadas as funções atribuídas aos sistemas de medição para faturamento em contextos gerais:

1. Medição da Energia

- **Registro de Grandezas Elétricas:** Mede e registra parâmetros elétricos como tensão, corrente, potência ativa, potência reativa e fator de potência.
- **Quantificação da Energia:** Calcula a quantidade de energia gerada, transmitida, distribuída ou consumida.

2. Conformidade Regulatória

- **Atendimento a Normas:** Cumprimento de Normas: Assegura que a instalação esteja em conformidade com as regulamentações impostas por autoridades reguladoras como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).
- **Auditorias e Inspeções:** Facilita auditorias e inspeções regulatórias, fornecendo dados brutos de medição auditáveis.

3. Precisão Financeira:

- **Faturamento Correto:** Garante que a energia gerada, consumida ou transmitida seja medida com precisão para faturamento, evitando erros que poderiam levar a disputas financeiras.
- **Prevenção de Perdas Financeiras:** Evita perdas financeiras significativas, seja por subfaturamento (onde a empresa recebe menos do que deveria) ou sobrefaturamento (onde o consumidor paga mais do que deveria).

4. Transparência e Confiança

- **Relatórios Detalhados:** Fornece relatórios detalhados e precisos sobre o consumo ou a produção de energia, promovendo transparência nas transações comerciais.

5. Eficiência Operacional

- **Monitoramento em Tempo Real:** Permite o monitoramento contínuo da operação de sistemas de geração, transmissão ou distribuição de energia.
- **Otimização de Desempenho:** Ajuda a otimizar o desempenho operacional e a identificar e corrigir problemas rapidamente.

6. Gestão de Energia

- **Análise de Dados:** Fornece dados críticos para análise e planejamento, ajudando a gerenciar a demanda e a oferta de energia.
- **Planejamento Estratégico:** Suporta a tomada de decisões estratégicas e o planejamento de operações e investimentos baseados em dados de consumo e geração.

7. Segurança e Confiabilidade

- **Integridade dos Dados:** Garante a integridade física e cibernética dos dados de medição.

8. Documentação e Registro

- **Armazenamento de Dados:** Armazena dados históricos de medição para referência futura e análise.
- **Relatórios de Desempenho:** Gera relatórios periódicos sobre o desempenho do sistema de medição e a quantidade de energia gerada ou consumida.

9. Integração com Sistemas de Controle

- **Automação de Processos:** Facilita a automação de processos operacionais e de faturamento, melhorando a eficiência e reduzindo erros manuais.

Sistemas de medição de energia para faturamento são encontrados em diversos lugares que possuem grandes instalações de energia elétrica, como usinas de geração de energia, subestações de transmissão e distribuição, grandes indústrias, sistemas de energia descentralizada, dentre outros. Contudo, apesar da diversidade de empreendimentos que utilizam esse sistema, os componentes principais são os mesmos. Em um contexto geral, a estrutura de sistemas de medição de energia para faturamento incluem os seguintes componentes:

1. Medidores de Energia

- **Medidores Eletrônicos:** Utilizam tecnologia digital para registrar o fluxo de energia com precisão. Medem energia ativa (kWh), energia reativa (kVARh), demanda máxima e outras variáveis, para o faturamento e a gestão de energia.

- **Transformadores de Instrumentação (TIs):** Dispositivos que reduzem os níveis de corrente e tensão a níveis seguros em relação a especificação de operação dos medidores. Além de permitirem a medição segura, também garantem maior precisão nos sinais transmitidos aos equipamentos de medição.

2. Sistemas de Comunicação

- **Redes de Comunicação:** Conectam medidores aos sistemas centrais de coleta de dados por tecnologias como GPRS, RF, PLC, ou fibra ótica. São responsáveis pela transmissão dos dados de medição, importantes para a integração dos dados com os sistemas centrais de controle.
- **Protocolos de Comunicação:** Definem as regras para a troca de dados entre medidores e sistemas centrais. Protocolos como DLMS/COSEM, Modbus e IEC 61850 garantem a interoperabilidade e a confiabilidade da comunicação de dados.

3. Infraestrutura de TI

- **Servers:** Sistemas de computador responsáveis pelo armazenamento, processamento e gerenciamento dos dados coletados pelos medidores. Garantem a integridade dos dados e possibilitam a análise e acesso remoto.
- **Estações de Acesso:** Pontos de interface que permitem a conexão de dispositivos e usuários aos sistemas de coleta e análise de dados. Facilitam o acesso aos dados armazenados e a integração com outras ferramentas de gestão.

4. Infraestrutura de Suporte

- **Gabinetes de Medição:** Estruturas que abrigam medidores e componentes associados, protegendo-os contra intempéries e vandalismo. Garantem a proteção física e a durabilidade dos dispositivos.
- **Fontes de Alimentação:** Fornecem a energia necessária para o funcionamento dos medidores e dispositivos associados. São críticas para garantir a operação contínua e estável do sistema de medição.

No contexto da UHE X, o sistema de medição de energia para faturamento possui certas particularidades, principalmente por conta das dimensões, complexidade e importância da usina para o país. Através dele se faz garantir o correto pagamento pelas partes envolvidas e a justa retribuição para o país dos *royalties*, encargos de administração e supervisão e remunerações por cessão de energia, condições que reafirmam a relevância do SMF para a gestão dessa importante usina hidrelétrica.

Assim, os problemas decorrentes da obsolescência do SMF da UHE X impactam diretamente a questão econômico-social da região. A falta de modernização pode resultar em ineficiências que aumentam os custos operacionais e reduzem a competitividade da energia produzida, gerando tensões na sociedade, afetada no final da cadeia de energia elétrica. Portanto, é possível afirmar que, para uma gestão responsável, é necessário o acesso às informações tanto de geração quanto de distribuição, a fim de assegurar a transparência e a confiabilidade desse processo.

Dos principais problemas encontrados no atual SMF são a degradação da infraestrutura e a mais notória. Os cabos ilustrados nas Figuras 5 e 6 são referentes aos cabos de controle do atual SMF instalado na usina. Essas fotos foram retiradas em inspeções de campo para averiguar a condição dos encaminhamentos do cabeamento do SMF e, a partir delas foi possível constatar que esse problema não está restrito apenas aos cabos de controle das figuras e nem apenas ao SMF. Como o SMF é um sistema que percorre por toda extensão da usina, seus equipamentos estão instalados nos mais diversos locais e sujeitos a diferentes condições de operação.

Embora tenha havido algumas substituições de equipamentos por versões mais modernas, como a troca dos medidores de energia, essas atualizações foram intervenções pontuais. Apesar de o SMF ser, em termos de rede, um sistema desconectado dos demais, ainda requer de sistemas auxiliares para seu funcionamento, como sua alimentação, por exemplo. A situação do SMF ainda é agravada pela disposição de seus equipamentos, dos quais uma boa parte se encontra fora da Casa de Força (CF) da usina. A Subestação de Apoio (SEA) é localizada em um terreno diferente, cujas instalações permanecem sem reformas há mais tempo em comparação a CF e, portanto as condições são ainda piores. Ao inspecionar as canaletas e caixas de passagem da subestação por onde percorrem os cabos relacionados ao SMF nota-se a urgência de intervenções no local. A condição dos cabos é bastante preocupante e as caixas de passagem que dão acesso ao Edifício de Comando estão lotadas.

Para enfrentar os desafios associados à manutenção e operação eficiente da UHE X, uma proposta de Atualização Tecnológica (AT) foi lançada. Este projeto visa a avaliação e substituição sistemática de equipamentos e sistemas de supervisão, controle, proteção, monitoramento, medição e suas respectivas interfaces, excetuando-se os equipamentos pesados, como turbinas, geradores e transformadores, devido ao seu ciclo de vida mais longo.

O contrato para a AT prevê um período de até 14 anos com um investimento inicial de mais de US\$ 660 milhões, ou seja, mais de R\$ 3,3 bilhões. O plano inclui a substituição dos sistemas de controle e proteção das 20 unidades geradoras, da subestação isolada a gás, dos serviços auxiliares da usina, das comportas do vertedouro e da barragem, do cabeamento de força e controle desses dispositivos, além do Sistema de Medição de Faturamento da usina.

Os estudos para a AT começaram na metade da década de 2000, com a definição de diretrizes e critérios, análise de estado dos equipamentos e a confecção da versão básica do Plano de Atualização Tecnológica. No início da década seguinte, iniciou-se o desenvolvimento do planejamento estratégico, que envolveu a realização de estudos, definição de metodologias e premissas. Durante parte da segunda metade da década de 2010, o Projeto Básico da Atualização Tecnológica consolidou diretrizes e especificações técnicas para a licitação.

A execução do projeto requer uma gestão coordenada dos diversos contratos, mantendo a operação e manutenção com elevados níveis de confiabilidade. O Plano de Atualização Tecnológica inclui a elaboração de projetos executivos, construção de novos almoxarifados e Centros de Integração de Sistemas e Capacitação, além da modernização da Subestação da Margem Direita.

Em 2018, a pré-qualificação dos interessados na execução do projeto foi realizada, classificando empresas ou consórcios para a concorrência no processo licitatório. Em meados dos anos 2020, o contrato com o Consórcio Modernização da UHE X (CMF) foi assinado, dando início ao projeto. O CMF, é responsável pela execução da atualização, através da qual a Nova Engevix Engenharia e Projetos contribui, como contratada, para a realização do Projeto Executivo de Migração. Essa é uma ótima oportunidade para a empresa em expandir seu portfólio com um projeto desse nível de complexidade, que já conta com a participação em projetos de grande importância, ampliando ainda mais a sua reputação no ramo de engenharia consultiva.

A complexidade do projeto reside na atualização de uma usina de grande porte em operação, assegurando níveis adequados de produção de energia. A UHE X atende algo em torno de 15% do consumo brasileiro, portanto, objetiva-se a minimizar o impacto das atividades na produção de energia. A atualização das unidades geradoras (20 ao total) está planejada para começar em 2026, com duas unidades sendo atualizadas por ano ao longo de dez anos.

O Projeto de Atualização Tecnológica da UHE X representa o maior e mais complexo empreendimento desde a construção da hidrelétrica. Com um planejamento detalhado e uma execução cuidadosa, o projeto visa assegurar a continuidade do alto desempenho da usina, enfrentando os desafios de modernização e mantendo a excelência na produção de energia elétrica.

3.5 SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução proposta neste trabalho trata-se da elaboração do Projeto Executivo da Atualização Tecnológica da UHE X voltado para a modernização completa do SMF da usina. Este projeto possui 3 fases distintas e bem definidas, visando substituir o sistema existente por uma solução equivalente e mais moderna, assegurando uma transição sem surpresas e eficiente que minimize impactos operacionais durante a

execução das obras.

O Projeto Executivo tem início após a finalização do Projeto Básico, quando se define as bases técnicas do projeto, estabelecendo claramente o que será necessário para atender às necessidades e objetivos definidos na fase de concepção e viabilidade. Como resultado concreto dessa fase de projeto, temos a elaboração de documentos, como as especificações técnicas dos sistemas e critérios de projeto, que serão utilizados como guia no desenvolvimento do projeto executivo. A Figura 7 apresenta um diagrama que ilustra o fluxo dessas etapas do Projeto Executivo para atender as necessidades da UHE X quanto à modernização do SMF.

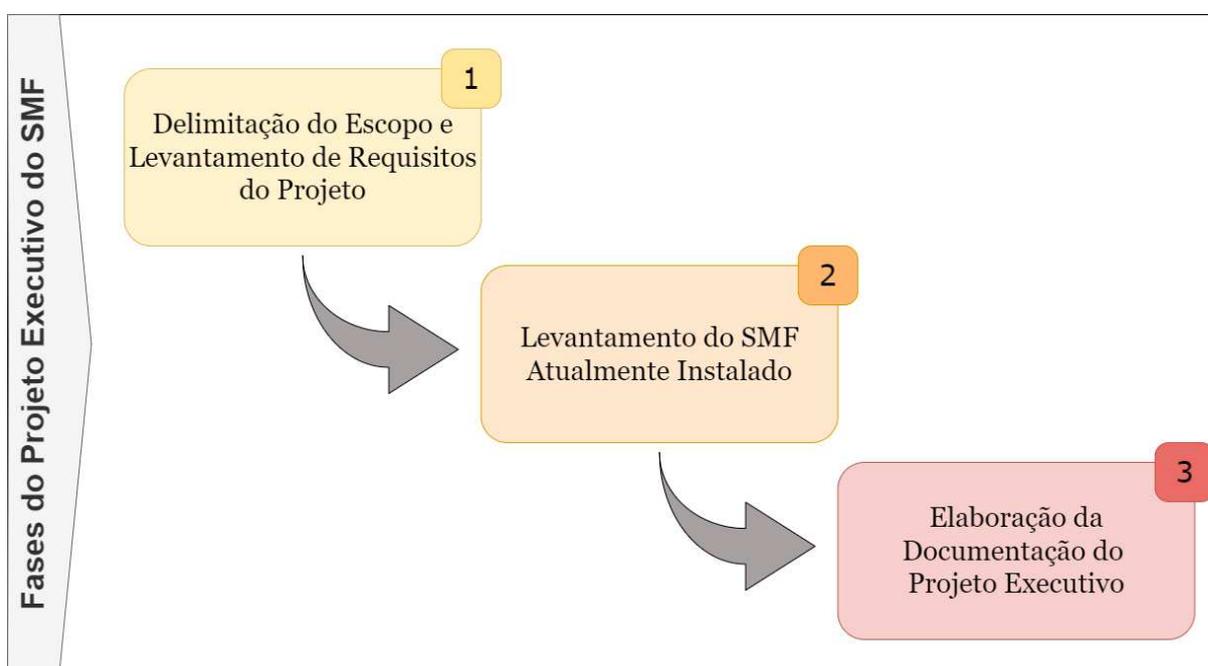


Figura 7 – Fases do Projeto Executivo do Sistema de Medição de Faturamento.

A primeira fase do projeto, Delimitação do Escopo e Levantamento de Requisitos do Projeto, utiliza essencialmente os frutos do Projeto Básico, extraindo toda e qualquer informação que descreva qual objetivo é desejado alcançar, quais as características principais do projeto, proibições, restrições, recomendações e obrigações. Na segunda fase, Levantamento do SMF Atualmente Instalado, busca-se conhecer o atual SMF instalado na UHE X, como os seus equipamentos, locais das instalações, entre outros.

Apesar de na Figura 7 as fases aparecerem de forma encadeadas, as duas primeiras não necessitam ser executadas nessa ordem. No entanto, é recomendável seguir a sequência mostrada no diagrama, pois os documentos já produzidos durante o Projeto Básico auxiliam no entendimento do sistema atual e na pesquisa de documentos existentes relacionados ao SMF.

A terceira fase deve necessariamente ser realizada após as outras duas, pois estas fornecem a maior parte das informações necessárias a Elaboração dos Docu-

mentos do Projeto Executivo. Essa fase é constituída pela parte de criação de vários documentos que descrevem em detalhes como será implementado o novo SMF da UHE X. A seguir nesta seção, está a descrição de cada uma dessas 3 fases e a proposta de como executá-las a fim de obter os principais documentos para o Projeto Executivo de Migração do SMF.

3.5.1 Fase 1: Delimitação do Escopo e Levantamento dos Requisitos Técnicos

O projeto executivo de AT do SMF se inicia com o recebimento de todas as informações necessárias a direcionar os engenheiros e projetistas para o modelo final e detalhado do sistema. Essas informações são apresentadas em documentos de referência, alguns dos quais são listados a seguir:

1. Especificação Técnica de Equipamentos e Sistemas - Sistema de Medição de Faturamento (Projeto Básico);
2. Especificação Técnica de Equipamentos e Sistemas - Geral (Projeto Básico);
3. Sistema de Medição de Faturamento - Arquitetura de Referência (Projeto Básico);
4. Sistemática para Tratamento do Sistema de Medição de Energia para Fins de Faturamento (Projeto Básico);
5. Casa de Força e Subestação de Apoio - Atualização Tecnológica dos Sistemas de Medição de Faturamento - Arquitetura (Referência dos Equipamentos Existentes).

Além disso, um projeto de engenharia deve ser balizado por normas técnicas, as quais são citadas a seguir:

1. ABNT NBR 14519: Medidores eletrônicos de energia elétrica Especificação
2. ABNT NBR 14520: Medidores eletrônicos de energia elétrica Método de ensaio
3. ABNT NBR 14521: Aceitação de lotes de medidores eletrônicos de energia elétrica Procedimento
4. ABNT NBR 13487: Fibras ópticas tipo multimodo índice gradual Especificação
5. ABNT NBR 13488: Fibra óptica tipo monomodo de dispersão normal Especificação
6. IEC 62052-11: Electricity metering equipment (a.c.) - General requirements, tests and test conditions - Part 11: Metering equipment;

7. IEC 62053-22: Electricity metering equipment (a.c.) - Particular requirements - Part 22: Static meters for active energy (classes 0,2 S and 0,5 S);
8. IEC 61000-4-2: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4 2: Testing and measurement techniques Electrostatic discharge immunity test;
9. IEC 61000-4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4 3: Testing and measurement techniques Radiated, radio frequency, electromagnetic field immunity test;
10. IEC 61000-4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4 4: Testing and measurement techniques Electrical fast transient/burst immunity test;
11. IEC 61000-4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4 5: Testing and measurement techniques Surge immunity test;
12. IEC 61000-4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-7: Testing and measurement techniques General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto;
13. IEC 61000-4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-15: Testing and measurement techniques Flickermeter Functional and design specifications;
14. IEC 61000-4-30: Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-30: Testing and measurement techniques Power quality measurement methods;
15. EN 50160: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks;
16. ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories;
17. ONS NT 0170/2015: Cartilha do Sistema de Medição para Faturamento Portaria INMETRO no. 431 de 04/12/2007.

As primeiras informações que devem ser recolhidas são relacionadas ao escopo do projeto, que descreve o que deve ser entregue ao final do projeto. A descrição do escopo do projeto de AT do SMF é apresentada nos documentos de Especificação Técnica (ET) e definem quais os serviços, equipamentos e materiais que devem ser fornecidos. Segundo a especificação técnica do SMF, o escopo geral se traduz na implantação do novo sistema de medição de faturamento incluindo a Subestação de Apoio (SEA) e a Usina conforme os itens a seguir:

1. Materiais e Equipamentos:

- Um sistema de medição de faturamento, composto por medidores, painéis, estações de medição, estações de acesso, *scanner* de pendrive, *switches* e redes de comunicação redundantes, painéis de servidores e comunicação, sistema de sincronização, GPS, cablagem, softwares, ferramentas especiais, sistema de configuração e todo que for necessário para seu perfeito funcionamento.

2. Serviços Gerais:

- Elaboração do projeto executivo completo, incluindo a revisão "Conforme Construído" (*As built*) e digitalização e revisão da documentação existente afetada pela Atualização Tecnológica dos equipamentos do Sistema de Medição de Faturamento;
- Serviços de planejamento, organização, gerenciamento e coordenação executiva do fornecimento e da implantação dos equipamentos do Sistema de Medição de Faturamento;

O escopo geral auxilia o entendimento do que o projeto de AT do SMF se trata, mas é através dos requisitos técnicos mínimos que se consegue as informações mais detalhadas para elaboração do projeto executivo. Todos os requisitos técnicos mínimos devem ser satisfeitos, caso não seja possível ou o projetista opte por não segui-los, deve-se justificar o motivo a empresa que gerencia o consórcio CMF e a gerência da UHE X. Os requisitos mínimos também estão descritos nas ETs e são inúmeros, relacionados a diversas áreas. Neste trabalho de PFC é dado enfoque ao Projeto Executivo de Migração para a Modernização do SMF, portanto, abaixo são mencionados apenas aqueles requisitos mínimos englobados pelo escopo da Nova Engevix.

1. Materiais:

- a) medidores de energia, 3 elementos, 4 fios, frequência nominal 50 Hz e 60 Hz, corrente nominal 5A, tensão nominal 115V, classe de precisão 0,2 conforme norma NBR 14519 ou 0,2S de acordo com a norma IEC 62053-22, alimentação auxiliar 125 Vcc;
- b) painéis de medição de faturamento aonde devem ser montados os medidores de energia, as chaves de teste e outros componentes auxiliares;
- c) Uma (01) estação de medição de faturamento composta por dois (02) servidores redundantes;
- d) Duas (02) estações de acesso à estação de medição de faturamento para acessar as medições de energia;
- e) Um (01) *scanner* de *pendrive* para a estação de acesso à medição de faturamento;

- f) Seis (06) *switches*, apropriados para montagem em *rack*;
- g) Dois (02) painéis de servidores, sendo que em cada um devem ser montados um servidor de medição de faturamento, um *switch* e um servidor de tempo via GPS, com todos acessórios e outros componentes auxiliares;
- h) Dois (02) painéis de comunicação onde devem ser montados os *switches* da subestação margem direita;
- i) Um (01) sistema de sincronização de tempo redundante via GPS;
- j) Rede de comunicação redundante para o sistema de medição de faturamento, todos os cabos e cordões de fibra ótica, conectores, dutos para proteção mecânica e todos os acessórios necessários;
- k) Estão excluídos do fornecimento transformadores de corrente e transformadores de tensão, com suas caixas comuns de conexão.

2. Serviços:

- a) Projeto executivo do sistema de medição de faturamento contendo, pelo menos, os seguintes documentos:
 - Arquitetura do sistema de medição de faturamento e interconexões entre os medidores de energia, as estações de medição de faturamento e os elementos de rede e de conexão ótica;
 - Diagrama de interligação física detalhada dos diversos componentes do sistema de medição de faturamento;
 - Memória de cálculo dos cabos condutores de interligação entre os elementos primários (transformadores de corrente e de potencial) e os medidores de energia para comprovar a adequação dos circuitos de corrente e tensão para atender a precisão necessária do novo sistema de medição de faturamento a ser implantado.

Portanto, o escopo designado à Nova Engevix se restringe ao Projeto Executivo de Migração do novo Sistema de Medição de Faturamento (SMF), ou seja, à elaboração de todo e qualquer documento necessário para a implementação completa em campo, garantindo seu perfeito funcionamento. O projeto da infraestrutura compreende tudo que está relacionado a distribuição dos equipamentos, todo cabeamento que os interligam, bem como as vias (eletrodutos, eletrocalhas, etc.) por onde passam os cabos. As especificações técnicas para esses itens procura restringir o projeto com o objetivo de garantir a compatibilidade com as demais áreas do Projeto geral de Atualização Tecnológica da usina. A seguir são listadas algumas dessas restrições.

1. Rede de Comunicação de Dados

- a) Somente dentro dos painéis se permite a utilização de cordões de fibras ópticas;
- b) Fora dos painéis de medição, todas as conexões de comunicação devem ser feitas com cabos de fibra ótica.
- c) O número de fibras reservas em cada cabo deve ser como mínimo de 100%;
- d) As conexões dos servidores e medidores aos *switches* do SMF devem ser do tipo multimodo;
- e) A conexão desde os *switches* do SMF até os distribuidores internos ópticos (DIOs) da infraestrutura existente deve ser em fibra monomodo;
- f) Para a conexão entre a SEA e a CF devem ser utilizadas fibras monomodo de um cabo existente;

2. Estação de Medição de Faturamento (EMF)

- a) A alimentação deve ser em 220 Vca, proveniente do sistema de alimentação segura da casa de força;
- b) A estação de acesso ao SMF deve ser instalada na sala de controle central;

3. Comutadores de Rede (*Switches*)

- a) alimentados deve ser em 125 Vcc proveniente do sistema de alimentação em corrente contínua da usina ou da SEA;
- b) deverão ser montados em painéis separados dos medidores de energia.

4. Painéis de Medidores de Energia

- a) Nesses painéis não devem ser montados outros dispositivos tais como equipamentos de rede, GPS, etc;
- b) Deve ser prevista alimentação auxiliar 125 Vcc redundante (primária e alternada) para os medidores, proveniente do sistema auxiliar de corrente contínua.
- c) Deve ser prevista alimentação auxiliar 220 Vca, proveniente do sistema auxiliar de corrente alternada, para iluminação interna e para resistor de aquecimento e tomada.
- d) Os medidores podem ser distribuídos 2 ou 4 em cada painel, um painel para cada 1 ou 2 linhas;

5. Painéis dos Servidores

- a) Devem ser instalados nas salas seguras da CF;

- b) Deve ser prevista alimentação auxiliar 220 Vca redundante (primária e alternada) para os servidores, proveniente do sistema de alimentação segura.
- c) Deve ser prevista alimentação auxiliar 125 Vcc redundante (primária e alternada) para os *switches* e para o GPS, proveniente do sistema de corrente contínua;
- d) Deve ser prevista alimentação auxiliar 220 Vca, proveniente do sistema auxiliar de corrente alternada, para iluminação interna e para resistor de aquecimento e tomada.

6. Painéis de Rede de Comunicação

- a) Devem ser instalados na SAE;
- b) Deve ser prevista alimentação auxiliar 125 Vcc redundante (primária e alternada) para os *switches*, proveniente do sistema de corrente contínua;
- c) Deve ser prevista alimentação auxiliar 220 Vca, proveniente do sistema auxiliar de corrente alternada, para iluminação interna e para resistor de aquecimento e tomada.

7. Sincronismo de Tempo

- a) O servidor de tempo deve possuir fontes de alimentação elétrica com alimentação na tensão de 125 Vdc, proveniente do sistema auxiliar de corrente contínua da CF;

3.5.2 Fase 2: Levantamento do Sistema de Medição de Faturamento Atual

A segunda fase compreende o levantamento do Sistema de Medição de Faturamento já existente na UHE X. Por se tratar de um projeto de reforma, é importante ter o conhecimento prévio do sistema existente já que o projeto prevê a substituição do sistema instalado atualmente por um mais moderno. Esse estudo tem por objetivo criar um ponto de partida para o projeto dando suporte ao entendimento das necessidades da usina quanto ao SMF. Além disso, esse levantamento permite identificar a atual localização dos equipamentos, seus dados técnicos, os esquemas de interligação, bem como as limitações físicas para a instalação do novo sistema.

Para esse levantamento, foi necessário a consulta a diversos documentos da usina além de inspeções de campo para averiguação de conformidade das instalações reais (*as built*) aos documentos consultados. Esse processo foi desenvolvido simultaneamente com a etapa de Delimitação do Escopo e Levantamento de Requisitos do Projeto, já que são complementares para dar sequência a fase de elaboração do Projeto Executivo. Um dos produtos dessa fase do projeto é a reconstrução conceitual da Arquitetura do Sistema de Medição de Faturamento Existente, ilustrada na figura Figura 8.

ARQUITETURA DO SMF EXISTENTE

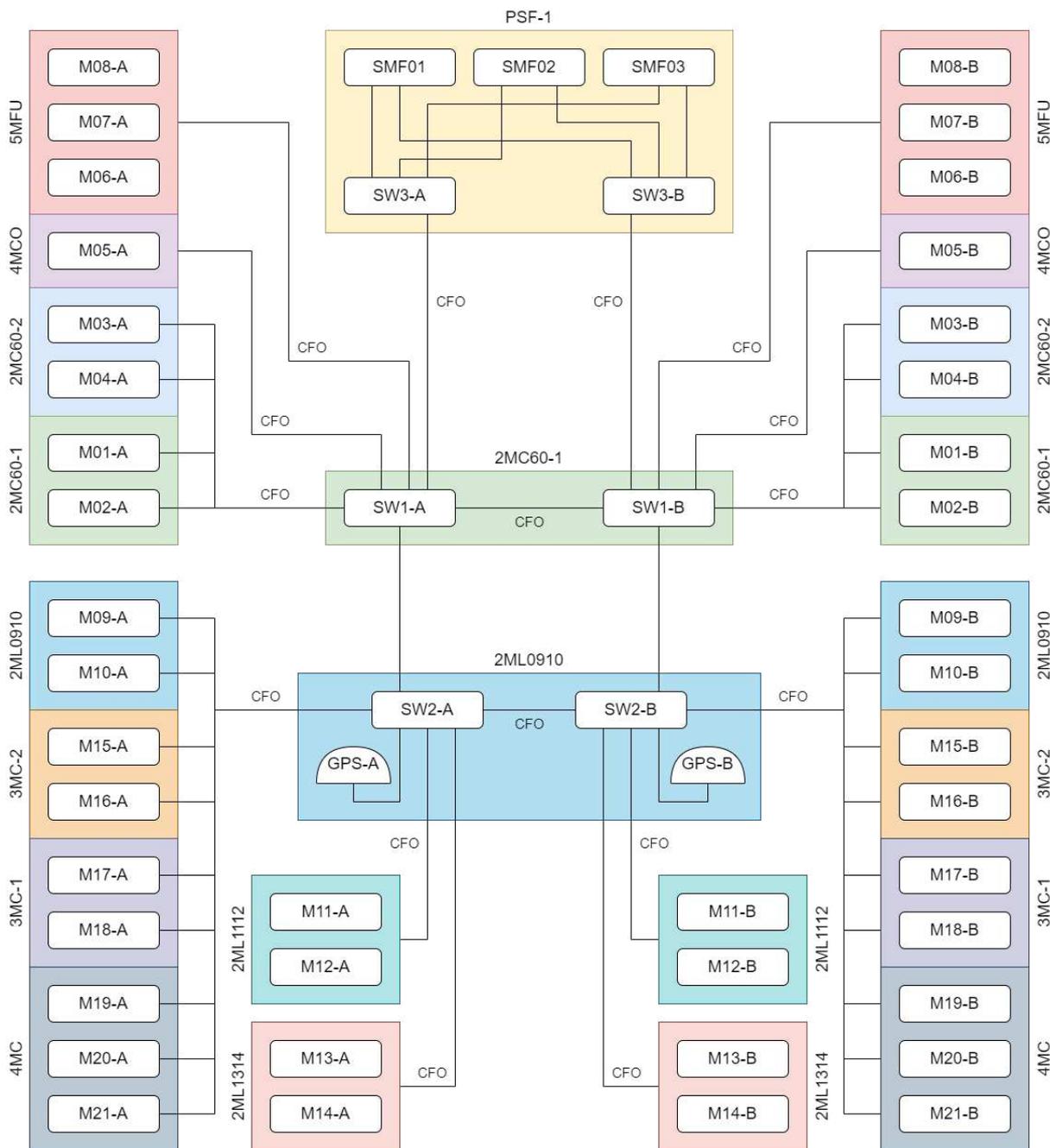


Figura 8 – Diagrama topológico da arquitetura de rede do Sistema de Medição de Faturamento existente na UHE X.

Além da arquitetura, também foi identificado o modelo e especificações dos equipamentos que não serão substituídos como os transformadores de instrumentação (TIs). Esses dados são relevantes à elaboração do projeto executivo do novo SMF, já que as características dos TIs serão umas das entradas ao dimensionamento dos cabos de controle. Além disso, também foram recolhidas informações dos quadros que alimentam os painéis do SMF existente, essenciais para o dimensionamento dos cabos de potência que alimentarão o novo sistema. Os detalhes desses equipamen-

tos estão disponíveis nas sessões que descrevem o processo de dimensionamento desses cabos.

3.5.3 Fase 3: Elaboração da Documentação do Projeto Executivo

A Elaboração da Documentação do Projeto Executivo é última e principal fase do desenvolvimento do Projeto Executivo, a qual descreve o que será necessário para a transformação do SMF existente (ponto inicial, levantado na fase 2) na nova versão desse sistema (ponto final, especificado na fase 1). A terceira fase, portanto, compreende as atividades de criação da documentação técnica que detalha esse processo que, em sua essência, é a definição de Projeto Executivo. Para dar início a essa fase é preciso que as fases 1 e 2 já tenham sido executadas. O conhecimento gerado nas duas etapas anteriores indicará qual o objetivo final da documentação, que tipo de documentos devem ser elaborados e que informações cada um deve conter.

Para o processo de elaboração dos documentos técnicos, é proposto a metodologia representada pelo fluxograma da Figura 9. Ele apresenta o ciclo de vida do documento desde o recolhimento das informações necessárias a criação do referido documento até a sua aprovação pela gestão da UHE X.

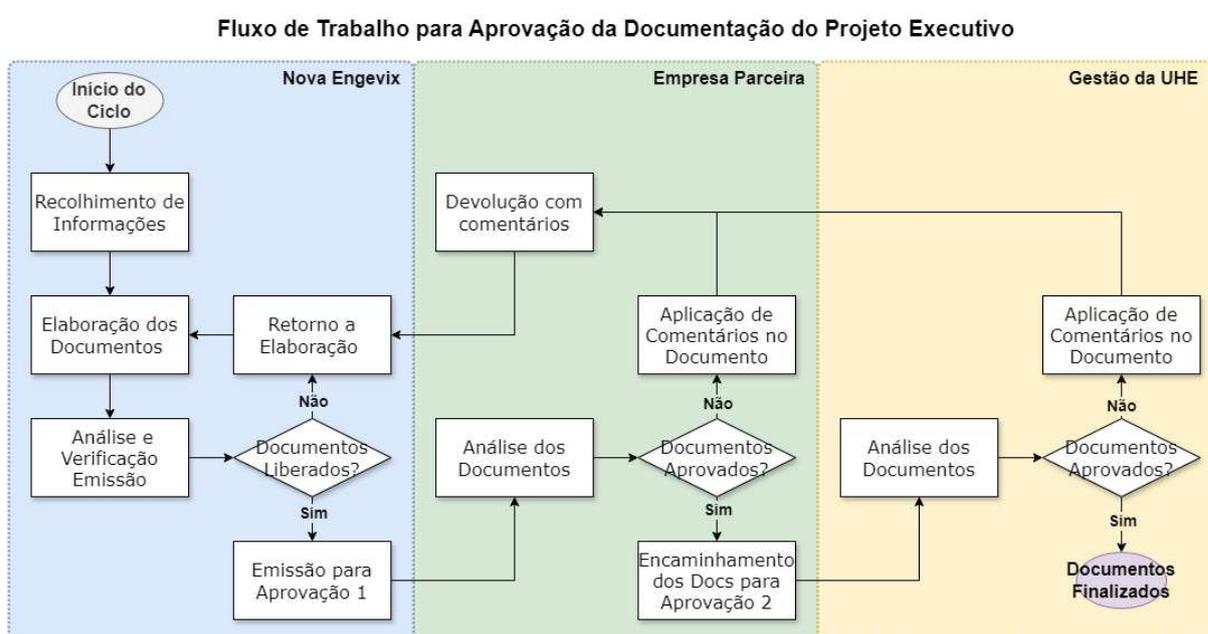


Figura 9 – Diagrama do fluxo de trabalho para elaboração dos documentos do projeto executivo do Sistema de Medição de Faturamento.

Como frisado anteriormente, o início desse processo toma como entrada todo o conhecimento adquirido e formado nas duas fases anteriores, e também toda informação compartilhada em diálogos entre colaboradores no escritório da Nova Engevix. Além disso, reuniões com empresas parceiras nesse projeto e inspeções de campo também contribuem para o recolhimento de informações para a elaboração dos docu-

mentos do Projeto Executivo. Essas informações em sua maioria são outros documentos da usina, tanto antigos como novos, como: arranjos eletromecânicos, desenhos de vias de cabos, diagramas de interligação, arquiteturas de rede, desenhos de fabricação, dentre outros.

Com as informações necessárias recolhidas inicia-se a atividade de Elaboração dos Documentos. O modo, leiaute, tipo de extensão do arquivo e software em que será produzido depende do tipo em específico do documento. Listas de modo geral são organizadas em tabelas e produzidas através do Microsoft Excel. Relatórios, descritivos, especificações técnicas e planos são elaborados na forma de documentos textuais por meio do Microsoft Word. Desenhos de um modo geral são produzidos por ferramentas de desenho da Autodesk, como o Autocad e Revit.

Assim que o projetista finalizar o documento será iniciado um processo interno na Nova Engevix chamado de circulação. O seu objetivo é realizar a análise dos documentos produzidos antes de serem emitidos à Empresa Parceira. A circulação é realizado por meio do DOX, um software proprietário da Nova Engevix que faz a gestão e controle dos documentos. Ao se criar e iniciar uma circulação é enviada uma notificação aos colaboradores adicionados pelo projetista, os quais julga a análise relevante. Esses colaboradores podem então acessar o documento produzido, analisá-lo e tecer comentários que considerem pertinentes na própria plataforma do DOX. Quando um comentário é registrado, o criador da circulação é notificado, permitindo a sua leitura. A partir disso, cabe ao projetista acatar ou não os comentários.

Após a circulação, o projetista deve então liberar o documento para Verificação por um responsável, que decide por autorizar ou não a emissão do documento à Empresa Parceira. Caso não seja autorizado, o documento retorna a Elaboração para ajustar os pontos que reprovaram a emissão do documento. Com a autorização é liberado a emissão do documento à Empresa Parceira. A Emissão é realizada pelas secretárias da Nova Engevix via Aconex, uma plataforma da Oracle de gerenciamento de informações e colaboração para projetos de construção e engenharia. Esse software é responsável pela integração das empresas consorciadas e a UHE X.

Sendo os documentos emitidos no Aconex, a Empresa Parceira recebe os documentos e os põe a disposição de especialistas para análise. A partir da análise, é considerado a aceitação de envio dos documentos à usina ou não. Caso os documentos não sejam aceitos, a Empresa Parceira os devolve via Aconex para a Nova Engevix com os comentários que levaram à não aceitação retornando ao estágio de elaboração. Se aceito, a própria Empresa Parceira encaminha os documentos, também por Aconex, para a Gestão da UHE, que os colocará em análise pelos seus colaboradores. Com a reprovação, os documentos retornam com os comentários da UHE X à Empresa Parceira, que por sua vez devolvem o documento para a Nova Engevix,

Toda vez que os documentos forem devolvidos a Nova Engevix, retornarão ao

estágio de elaboração, resultando na revisão dos documentos. Esse ciclo se repete até que os documentos sejam aprovados pela Gestão da UHE. Essa metodologia deve ser aplicada a todos os documentos produzidos para o Projeto Executivo de AT da UHE X.

A metodologia proposta para elaboração e revisão dos documentos garante que cada documento seja revisado no mínimo três vezes, cada uma por uma equipe diferente. O objetivo desse método é prevenir que erros em documentos não passem despercebidos, forçando a análise por diferentes perspectivas.

Baseado nos dados levantados na Fase 1 (Seção 3.5.1), é proposto a elaboração inicial de 11 documentos técnicos:

1. Arquitetura de Rede do SMF;
2. Diagrama de Localização;
3. Lista de Cabos de Comunicação da CF;
4. Lista de Cabos de Comunicação da SEA;
5. Lista de Cabos de Controle da CF;
6. Lista de Cabos de Controle da SEA;
7. Lista de Cabos de Potência da CF;
8. Lista de Cabos de Potência da SEA;
9. Lista de Materiais da CF;
10. Lista de Materiais da SEA;
11. Memória de Cálculo dos Cabos de Controle;
12. Memória de Cálculo dos Cabos de Potência;

Esses documentos conferem as informações necessárias para o pedido de fabricação dos cabos responsáveis pela alimentação dos PMFs (cabos de potência), pela leitura das LTs (cabos de controle) e pela comunicação entre os dispositivos (cabos de comunicação). Para chegar na elaboração de todos esses documentos propõe-se a metodologia apresentada na Figura 10.

A metodologia está apresentada em forma de um diagrama de blocos, cujos elementos são: Documento, Processo de Elaboração do Documento e Processo de Dimensionamento. O início é marcado pelo bloco de documento que representa a Arquitetura de Rede do SMF. Nota-se no diagrama, porém, a ausência do elemento de elaboração ligado a esse documento, o que deve-se à delimitação do escopo deste

Metodologia de Projeto

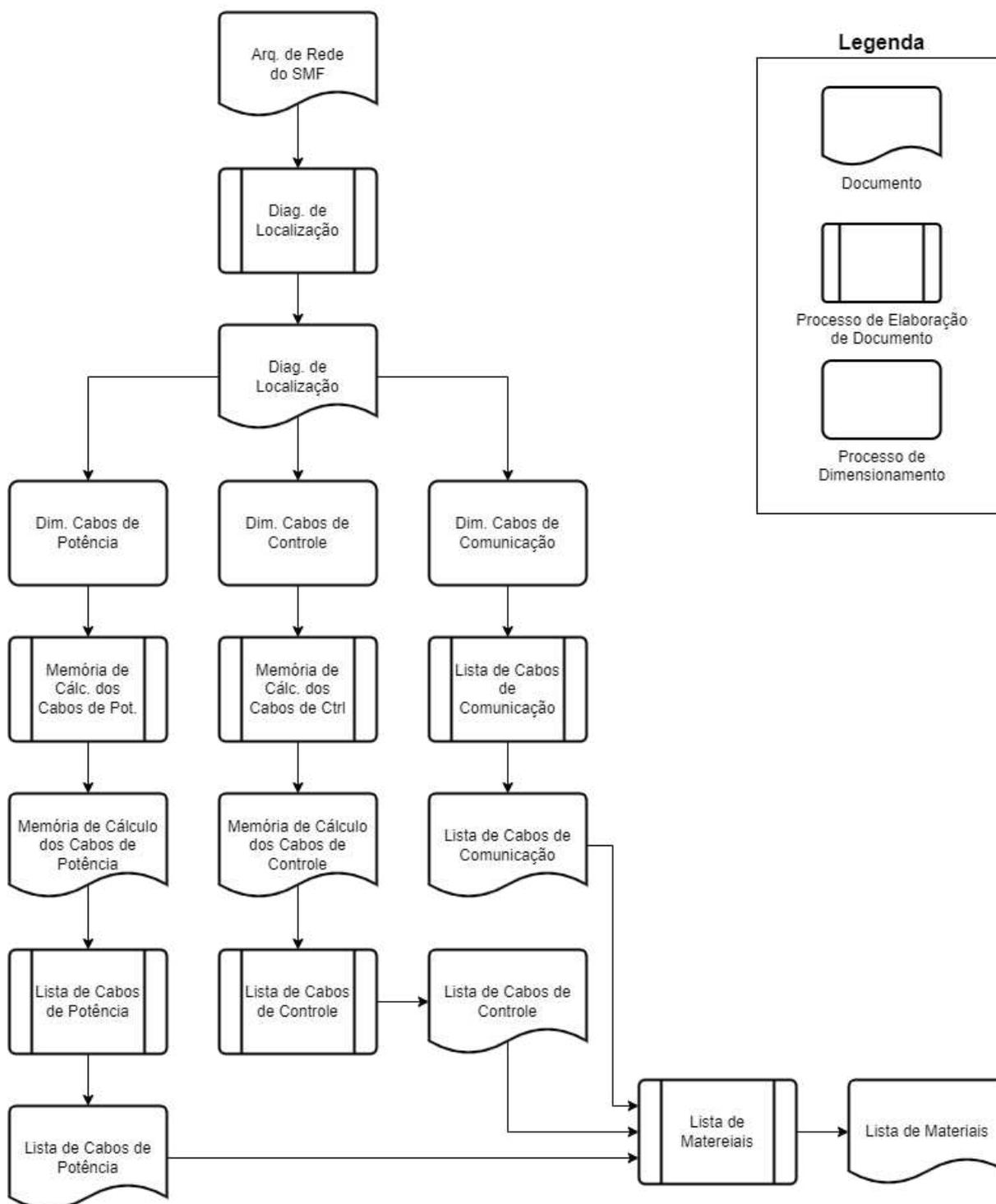


Figura 10 – Metodologia de projeto para elaboração dos documentos que permitem a produção da ordem de compra.

projeto, que não inclui a topologia de rede, uma vez que essa tarefa faz parte da Engenharia do Proprietário, sendo responsabilidade da Empresa Parceira. Portanto, a Arquitetura de Rede do SMF é entregue pela Empresa Parceira servindo como um

modelo inicial para o projeto executivo de integração desse sistema. A documentação a ser produzida pela engenharia da Nova Engevix para o projeto executivo da AT do SMF deve conter todos os detalhes

e, portanto, é a partir dele que se dá início ao desenvolvimento da documentação de infraestrutura do SMF. A arquitetura é necessária para entender quais equipamentos serão utilizados no novo SMF e como as suas interligações estão arranjadas. Além disso, a Arquitetura de Rede também indica a posição física na usina dos equipamentos.

Através dessas e de outras informações é montado um diagrama cujo objetivo é tornar o posicionamento dos equipamentos e suas ligações mais visuais. Assim, o Diagrama de Localização, trata-se uma ferramenta de apoio para o projeto. A partir do Diagrama de Localização a metodologia divide-se em 3 ramos, em que cada um possui uma sequência de atividades bem definidas. Essas atividades culminam na produção de Listas de Cabos, um documento que apresenta todas as informações necessárias das características dos cabos destinados ao SMF para seu lançamento na obra. Apesar dos ramos produzirem um único tipo de documento, a função que o cabo irá desempenhar influencia o modo como cada cabo é especificado. A diferença dos processos, além do quesito de organização, é a principal justificativa para a separação desses ramos.

Um desses ramos descreve o processo de especificação dos cabos de potência, cuja função é a alimentação dos painéis do SMF. A especificação deles começa pelo dimensionamento, processo que envolve cálculos de comprimento do cabo e seção dos condutores que atendem aos requisitos de projeto e de equipamentos. Essa etapa gera um documento de estudo denominado Memória de Cálculo, que tem o objetivo de demonstrar como esses valores foram determinados. A partir disso, elabora-se a Lista de Cabos de Potência do SMF, que contém as principais informações acerca desses cabos: identificação, origem e destino, diâmetro externo, comprimento, área de seção de cada condutor e número de condutores por cabo. O ramo destinado aos cabos de controle segue a mesma lógica, porém, como as funcionalidades entre cabos de potência e controle diferem, assim como os quesitos de dimensionamento, recebem um ramo exclusivo e, por conseguinte um documento próprio: a Lista de Cabos de Controle.

Já se tratando do terceiro ramo, dos cabos de comunicação, não há o aparecimento da Memória de Cálculo, pois se tratando de cabos de fibra óptica o dimensionamento tem caráter mais qualitativo que quantitativo. A Lista de Cabos de Comunicação, contém os cabos de fibra óptica que compõem a rede do SMF. Esse documento se atém as características de comprimento, número de fibras, origem e destino. Nessa lista, como exceção, também é contido os cabos coaxiais, cujo processo de especificação não é contemplado pelo diagrama de metodologia de projeto para elaboração

de documentos.

A partir das listas de cabos de comunicação, controle e potência cria-se outra lista, dessa vez contendo a totalização do comprimento de cada tipo de cabo, descrevendo em detalhes as suas características, a Lista de Materiais. Com a lista de materiais aprovada é dado prosseguimento a ordem de compra para a passagem desses cabos na usina, etapa que acontecerá após a finalização do projeto executivo. A ordem de compra é de responsabilidade da Empresa Parceira, a Nova Engevix se compromete apenas ao fornecimento da documentação do Projeto Executivo e, portanto, a solução proposta nesse trabalho se restringe a confecção dos documentos citados anteriormente. Eles fornecem à Empresa Parceira as características detalhadas do cabeamento que deve ser utilizado em cada caso, levando em consideração as ETs do SMF, o Critério de Projetos Elétricos, normas técnicas e análises críticas da condição do empreendimento. Também faz parte do escopo a apresentação de alternativas para contornar os problemas de infraestrutura que possam aparecer.

Em resumo, a proposta para o projeto de Atualização Tecnológica do Sistema de Medição de Faturamento da UHE X é a substituição do SMF por um sistema completamente novo, excetuando-se os TIs e suas respectivas caixas de junção. A AT do SMF faz parte de um projeto mais abrangente e as atividades relativas ao SMF ocorrem em paralelo às demais atividades na usina e, dessa forma, caracteriza-se como um projeto de longa duração, cuja complexidade se concentra no andamento da reforma com a UHE X em pleno funcionamento. Já passadas as etapas de idealização da AT e concepção do Projeto Básico, o trabalho desenvolvido neste Projeto de Fim de Curso debruça-se na elaboração do Projeto Executivo de Migração da AT do SMF da UHE X, realizado através da Nova Engevix Engenharia em conjunto com a Empresa Parceira e terceiros.

O Projeto Executivo de Migração da Atualização Tecnológica do Sistema de Medição de Faturamento da UHE X prevê a execução das atividades em 3 fases: Delimitação do Escopo e Levantamento de Requisitos do Projeto, Levantamento do SMF Atual e Elaboração dos Documentos de Projeto Executivo. A terceira fase contará com uma ordem de atividades bem definida seguindo a lógica de progressão dos documentos citada anteriormente, e seu encerramento se dá pela aceitação da Empresa Parceira e aprovação dos documentos pela gestora da UHE X.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DE MIGRAÇÃO E APROVAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO ELABORADA

Este capítulo descreve o desenvolvimento do projeto executivo relacionado a infraestrutura para a Atualização Tecnológica do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) da usina hidrelétrica UHE. O capítulo expõe todas as etapas desenvolvidas no processo de elaboração do projeto executivo do Sistema de Medição de Faturamento da UHE X, desde o detalhamento do sistema existente, análises e estudos necessários para sua atualização até a elaboração da documentação executiva e verificação de atendimento aos requisitos de projeto.

Além disso, será abordada a fase de validação e aprovação dos documentos pela Empresa Parceira, em que os documentos elaborados são emitidos e submetidos à sua análise rigorosa. Esta etapa inclui a verificação técnica, a incorporação de *feedback*, e as iterações necessárias até a aprovação final. O capítulo também retrata como os documentos, uma vez aprovados pela Coordenadora, são encaminhados para a avaliação da Gerência da UHE X, descrevendo o processo de revisão e aprovação final.

4.1 ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO

Como proposto, a atualização do SMF contará com a substituição completa do sistema atual, o que implica na troca de todo o cabeamento e painéis, bem como na adaptação da topologia de rede e da localização de seus equipamentos. Ademais, em conformidade com as normas vigentes, alguns painéis serão atualizados não apenas para equipamentos mais modernos, mas também a sua configuração interna sofrerá alterações. Serão também adicionadas ao sistema a medição de mais três linhas de transmissão na Subestação da Apoio (SEA). Portanto, com exceção dessas novas linhas de transmissão, os transformadores de instrumentação (TIs) existentes serão mantidos nesta fase do projeto.

A concepção do novo sistema leva em consideração os requisitos técnicos, critérios de projeto e as recomendações da Operadora Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para sistemas de medição de faturamento, trabalho desenvolvido na fase 1 do Projeto Executivo do Sistema de Medição de Faturamento (Figura 7). Assim, as próximas seções descrevem o processo de elaboração do Projeto Executivo de Infraestrutura do novo SMF, incluindo os cálculos para dimensionamento dos cabos, análise das vias de cabos e locação dos equipamentos na planta da usina. A sequência das seções segue a ordem de dependência apresentada na Metodologia de Projeto (Figura 10), iniciando-se com o recebimento da Arquitetura de Rede do SMF. Esse documento, de produção da Empresa Parceira, fornece o modelo de organização do SMF, que o projeto de infraestrutura deve viabilizar.

4.1.1 Localização dos Equipamentos do Sistema de Medição de Faturamento

O Diagrama de Localização não era, a princípio, um documento que faria parte do fornecimento para o Projeto Executivo, ele foi criado por motivos de apoio ao projeto na elaboração dos demais documentos. O diagrama de localização é, em sua essência, um detalhamento da arquitetura de rede voltado a matéria de infraestrutura. Ele apresenta as conexões ópticas entre os equipamentos, identificando não somente esses cabos, mas também os equipamentos e suas localizações na usina. Esse diagrama é fruto da topologia apresentada no documento de Arquitetura de Rede do SMF e dos estudos realizados para o levantamento do SMF existente.

Para a identificação da localização dos equipamentos na CF, o diagrama utiliza as coordenadas de eixo, elevação (El.) e blocos das unidades geradoras (UGs). Já na SEA, não se utiliza o mesmo modelo de coordenadas, nesse caso, o terreno é dividido em áreas como Pátio de 500 kV, Pátio de 220 kV, Pátio de 66 kV, Pátio de 13,8 kV e Edifício de Controle. Além disso a SEA também possui uma identificação por setores dados por cortes longitudinais, que vão do Setor 1 ao Setor 4. Além disso, tanto a CF quanto a SEA possuem uma série de salas que também auxiliam essa identificação.

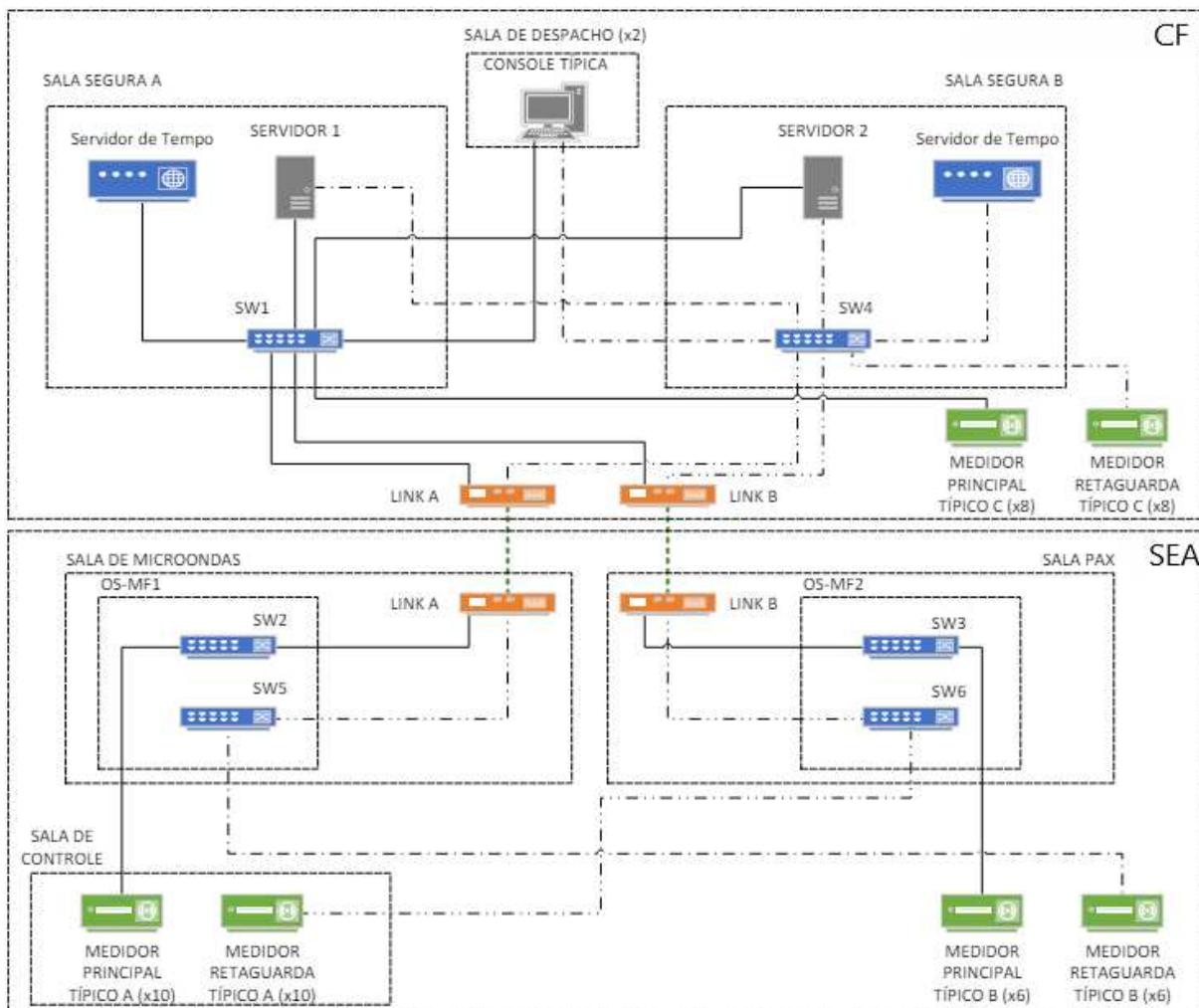
Esse documento passou a integrar o grupo de documentos de Projeto Executivo após ser apresentado aos coordenadores do projeto da Nova Engevix e à Empresa Parceira em reuniões de acompanhamento. É possível ver uma representação desse diagrama no Apêndice B.

Com as localizações dos equipamentos definidas pode-se dar prosseguimento à Metodologia de Projeto (Figura 10), pois essas informações são utilizadas para o dimensionamento do comprimento dos cabos.

4.1.2 Cabos de Comunicação

Seguindo os requisitos técnicos descritos no documento de Especificação Técnica de Equipamentos e Sistemas - Sistema de Medição de Faturamento da usina, os dados de medição para faturamento serão transmitidos dos medidores até os servidores por meio de uma rede de fibra ótica, cuja arquitetura está descrita na Figura 11. Assim, para garantir a perfeita transmissão de dados entre os equipamentos do SMF se faz necessário dimensionar os cabos responsáveis por essas interconexões. Assim será definido a formação do cabo óptico, tipo e número de fibras por cabo e comprimento. Para isso, leva-se em consideração a distância entre os equipamentos, o ambiente de instalação, percurso e as suas características de modo a atender os requisitos descritos nas ETs e critérios de projeto.

Em relação a quantidade de fibras que cada cabo deve carregar, é preciso levar em conta a quantidade de leituras adquiridas por painel. Seguindo o documento de Especificação Técnica de Equipamentos e Sistemas, cada painel de medição de



MEDIDOR TÍPICO A - Medidores localizados na Casa Principal de Relés na SEA
 MEDIDOR TÍPICO B - Medidores localizados nas demais Salas de Relés na SEA
 MEDIDOR TÍPICO C - Medidores localizados na Casa de Força.

— REDE A
 - - - REDE B
 . . . INTERLIGAÇÃO CF -SEA

Figura 11 – Arquitetura de rede para o novo Sistema de Medição de Faturamento da UHE X.

faturamento deve ser responsável pela medição de, no máximo, duas linhas. Portanto, considerando os medidores principal e de retaguarda, seriam dois medidores para cada linha ou quatro medidores para painéis com duas linhas. Por conseguinte, a quantidade de fibras necessárias para conectar cada painel de medição aos switches seriam duas ou quatro a depender do número de linhas por painel. Contudo, um dos requisitos técnicos para os cabos ópticos, exige que sejam fornecidas no mesmo cabo fibras reservas, de modo que a quantidade de fibras reservas seja de 100% do número total de fibras utilizadas, o que se resume em dobrar a quantidade das fibras.

Além dessas características operacionais dos CFOs, ainda deve-se contar com as características estruturais e de proteção. Essas características são especificadas para cada ocasião e sua configuração dependerá, por exemplo, do seu ambiente de instalação, da exposição aos raios UV, do nível de inflamabilidade exigido, suscetibili-

dade a ação de roedores, entre outros. Por conta dos equipamentos do SMF estarem espalhados por toda área da CF, AI e SEA, deve-se analisar caso a caso qual a configuração de cabo que será mais apropriada.

Dessa forma, os CFOs que percorram por vias externas expostos ao sol devem conter em sua estrutura uma camada de proteção aos raios UV. Cabos que estejam instalados em vias subterrâneas ou externas necessitam da proteção contra ataque de roedores. Cabos que percorram áreas com circulação de pessoas devem possuir resistência à chamas e livre de halogênios, cuja fumaça é nociva aos seres humanos. A partir disso e em conversas com o fornecedor desses cabos, chegou-se em três tipos de cabos:

- Cabo óptico totalmente dielétrico, formado por fibras ópticas monomodo, para uso interno e externo, com classe de flamabilidade LSZH, revestimento de material termoplástico na cor PRETA, com proteção anti-roedor, resistente a UV.
- Cabo óptico totalmente dielétrico formado por fibras ópticas multimodo OM4 para uso interno e externo com classe de flamabilidade LSZH, revestimento de material termoplástico na cor PRETA, núcleo totalmente seco protegido por materiais hidroexpansíveis, tipo Tube Loose, com proteção anti-roedor e resistente a UV.
- Cabo óptico totalmente dielétrico, formado por fibras ópticas multimodo OM4, para uso interno e externo, com classe de flamabilidade LSZH, revestimento de material termoplástico na cor PRETA, com proteção anti-roedor, resistente a UV.

4.1.3 Cabos de Controle

O dimensionamento dos cabos de controle do SMF leva em consideração os documentos de referência (ONS, 2022), de modo a determinar a mínima seção possível para cada um dos condutores dos circuitos de medição de corrente e tensão do SMF. Esses circuitos são formados pelo medidores de energia, pelos transformadores de instrumentação (TIs) e os cabos de controle que os interconectam.

Partindo-se do pressuposto que os TIs existentes, bem como suas caixas de junção, serão mantidos e que serão utilizados cabos semelhantes aos existentes, é possível tomar os antigos documentos como balizador deste estudo. Assim, os comprimentos dos novos cabos foram estimados a partir dos desenhos de arranjo de equipamentos, plantas baixas e de vias de cabos existentes, cuja validação dos valores obtidos utilizou as listas de cabos existentes para comparação. As tabelas 1 e 2 mostram as lista de cabos de controle dos circuitos de corrente do SMF contidos nas áreas da CF e AI e na área da SEA, respectivamente, nas quais são apresentadas as características de origem e destino além dos comprimentos estimados.

Tabela 1 – Características dos Circuitos de Corrente da Casa de Força.

Id. do Cabo	Finalidade	Origem (De)	Destino (Para)	ℓ [m]
CC-CF-01	MED. CORRENTE	CJ-TP-500-L05	2ML0506	140
CC-CF-03	MED. CORRENTE	CJ-TP-500-L06	2ML0506	72
CC-CF-05	MED. CORRENTE	CJ-TP-500-L07	2ML0708	150
CC-CF-07	MED. CORRENTE	CJ-TP-500-L08	2ML0708	252
CC-CF-09	MED. CORRENTE	CJ-TP-69-L04	4ML04	200
CC-AI-01	MED. CORRENTE	CD-01	6ML01	20
CC-AI-03	MED. CORRENTE	CD-01	6ML0203	20
CC-AI-05	MED. CORRENTE	CD-01	6ML0203	20

Tabela 2 – Características dos Circuitos de Corrente da SEA.

Id. do Cabo	Finalidade	Origem (De)	Destino (Para)	ℓ [m]
CC-SEA-01	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L09	2ML0910	174
CC-SEA-03	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L10	2ML0910	274
CC-SEA-05	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L11	2ML1112	204
CC-SEA-07	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L12	2ML1112	284

CC-SEA-09	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L13	2ML1314	118
CC-SEA-11	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L14	2ML1314	146
CC-SEA-13	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L15	2ML1516	137
CC-SEA-15	MED. CORRENTE	CJ-TC-500-L16	2ML1516	121
CC-SEA-17	MED. CORRENTE	CJ-TC-220-L01	3ML0102	401
CC-SEA-19	MED. CORRENTE	CJ-TC-220-L02	3ML0102	421
CC-SEA-21	MED. CORRENTE	CJ-TC-220-L03	3ML0304	427
CC-SEA-23	MED. CORRENTE	CJ-TC-220-L04	3ML0304	475
CC-SEA-25	MED. CORRENTE	CJ-TC-66-L01	4ML0102	246
CC-SEA-27	MED. CORRENTE	CJ-TC-66-L02	4ML0102	286
CC-SEA-29	MED. CORRENTE	CJ-TC-66-L03	4ML03	306

Os critérios para dimensionamento do cabeamento secundário do SMF seguem as recomendações da ONS e estão descritas nos itens a seguir:

- i. Os condutores utilizados para interligação dos secundários dos TCs aos elementos de corrente dos medidores devem ser especificados de modo que a carga total imposta não seja superior à carga padronizada dos TCs. (Seção mínima 4 mm²).
- ii. Os condutores utilizados para interligação dos secundários dos TP indutivos e/ou capacitivos aos elementos de potencial dos medidores devem ser especificados de modo a não introduzir um erro na medição superior a 0,05% para fator de potência de 0,8. (Seção mínima 2,5 mm²).

Para este estudo, foram selecionados cabos de controle de cobre, categorizados para 1000 V, com isolamento de classe 70C e 4 condutores compostos por fios de cobre eletrolítico nu, têmpera mole, encordoamento de classe 5. Cada condutor é individualmente isolado em PVC/A e identificado sequencialmente, exibindo características distintas relacionadas à retardância e autoextinção de chamas. A cobertura é em PVC/ST1 de cor preta, incluindo um rip cord, também conferindo propriedades de não propagação e autoextinção de chamas. O cabo é multipolar e possui blindagem com fita de cobre (CM E).

Para determinar a resistência elétrica em corrente alternada à temperatura ambiente de operação, emprega-se a equação abaixo:

$$R = R' \cdot (1 + y_s + y_p), \quad (2)$$

onde:

- R é a resistência em corrente alternada do condutor na temperatura máxima de operação Ω/km];
- R' é a resistência em corrente contínua do condutor na temperatura máxima de operação Ω/km];
- y_s é o fator de efeito pelicular;
- y_p é o fator de efeito de proximidade.

Verifica-se, no entanto, que os efeitos pelicular e de proximidade são pouco relevantes para baixas frequências. Visto que as frequências de trabalho dos cabos são consideradas baixas (50 e 60 Hz), esses efeitos foram desconsiderados nos cálculos de dimensionamento desses cabos. Assim, a resistência de corrente alternada à temperatura máxima de operação será igual à resistência de corrente contínua nessa mesma temperatura, ou seja, $R = R'$.

O valor da resistência em corrente contínua é tabelado e geralmente fornecido para a temperatura de operação de 20C. Contudo, segundo os critérios de projeto elétrico, deve-se considerar a temperatura máxima de operação (70C) para os cálculos de dimensionamento dos cabos de controle. Portanto, para calcular a variação da resistência em função da temperatura pode-se aplicar a seguinte equação:

$$R' = R_{cc} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)] , \quad (3)$$

onde:

- R_{cc} é a resistência em corrente contínua a 20C Ω/km];
- α_{20} é o coeficiente de temperatura da resistividade a 20C [C^{-1}] ($\alpha_{20} = 0,00393$ para o cobre);
- θ é a temperatura máxima de operação do condutor em regime permanente [oc].

A Tabela 3 apresenta algumas características dos cabos que serão relevantes para os cálculos aqui apresentados, como a resistência em corrente contínua (R_{cc}), a resistência em corrente alternada (R_{ca}), o coeficiente de resistividade elétrica (ρ_{20}) e reatância indutiva (X_L).

Os valores de resistência de corrente contínua a 20C e reatância indutiva relacionados a cada área de seção transversal da Tabela 3 foram retirados de catálogos de fabricantes de cabos. Essas são informações para cabos de controle que atendem estritamente às características descritas anteriormente.

Tabela 3 – Características dos Cabos de Controle

Seção [mm ²]	R_{CC} 20C [Ω/km]	R_{ca} 70C [Ω/km]	ρ_0 20C [Ωm]	X_L [Ω/km]
2,5	7,98	9,55	$2,00 \times 10^{-8}$	0,16
4,0	4,95	5,92	$1,98 \times 10^{-8}$	0,15
6,0	3,30	3,95	$1,98 \times 10^{-8}$	0,13
10,0	1,91	2,29	$1,91 \times 10^{-8}$	0,12

A partir desses valores, pode-se calcular a resistividade elétrica do material a 20C (ρ_0) através da lei de construção de resistores (1) e então, pela equação (3), encontra-se a a resistência elétrica de corrente contínua a 70C

Manipulando a equação (1), obtém-se a relação para a resistência máxima por unidade de comprimento, conforme mostra a equação abaixo:

$$R_\ell = \frac{R}{\ell} = \frac{\rho}{A_S}, \quad (4)$$

onde:

- R_ℓ é a resistência elétrica por unidade de comprimento do condutor [Ω/m].

Uma das características que o circuito deve apresentar para que seja funcional é que a carga imposta no circuito não ultrapasse a capacidade dos TCs. Logo, uma maneira de encontrar mínima área de seção para os cabos é através do cálculo da impedância do cabo limite para satisfazer essa máxima. Dessa forma,

$$P_{TC} \geq P_{med.principal} + P_{retaguarda} + P_{cond} \quad (5)$$

e, pela lei de Ohm,

$$P_{cond} = \ell \cdot |Z_{cond}| \cdot I_{nominal}^2, \quad (6)$$

onde,

- P_{TC} é a carga padronizada do TC [VA];
- $P_{med.principal}$ é a carga do medidor principal [VA];
- $P_{retaguarda}$ é a carga do medidor de retaguarda [VA];
- P_{cond} é a perda total no condutor [VA];
- ℓ é o comprimento do circuito [m];
- $I_{nominal}$ é a corrente nominal do circuito [A];

- $|Z_{\text{cond}}|$ é o módulo da impedância do condutor por unidade de comprimento $[\Omega/\text{m}]$, tal que

$$|Z| = |R + jX| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (7)$$

dado que,

- R é a resistência do circuito $[\Omega/\text{m}]$;
- X é a reatância do circuito $[\Omega/\text{m}]$.

Assim, pode-se estimar a máxima impedância do cabo permitida e, por conseguinte, através das características físicas do material, estimar o valor da seção transversal mínima permitida para cada caso. Portanto, a partir das Equações 5 e 6 obtém-se a seguinte relação:

$$|Z_{\text{cabo}}| \leq \frac{P_T - (P_{\text{med.principal}} + P_{\text{retaguarda}})}{\ell \cdot I_{\text{nominal}}^2}, \quad (8)$$

onde,

- Z_{cabo} é a impedância máxima permitida para o condutor do cabo $[\Omega/\text{m}]$.

Por outro lado, a resistência máxima permitida para os condutores é dada por:

$$R_{\text{cabo}} = \sqrt{Z_{\text{cabo}}^2 - X^2}, \quad (9)$$

onde,

- R_{cabo} é o valor da resistência máxima permitida para os condutores $[\Omega/\text{km}]$.

Então, aplicando R_{cabo} em (4), para cada circuito de corrente apresentado nas tabelas 1 e 2, encontra-se a área de seção transversal mínima para os condutores dos circuitos de medição de corrente para faturamento, de forma a atender ao critério de dimensionamento (i). Os resultados estão ilustrados nas tabelas 4 e 5, pelas quais pode-se comparar os valores de típicos de capacidade dos TCs (P_{TC}) aos valores de potência dissipada pelo cabo (P_{cabo}), considerando o seu mínimo valor de seção.

Para os cálculos, admitiu-se determinados valores para alguns parâmetros, sendo eles:

- $\alpha_{20} = 0,00393 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o coeficiente de temperatura da resistividade do cobre a 20C ;
- $X_L = 0,16 \times 10^{-3} \text{ } \Omega/\text{m}$, o pior caso entre os valores de reatância indutiva dos cabos;

- $\rho_{20} = 2,00 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, o pior caso entre os valores de resistividade elétrica calculados a partir das características dos cabos de controle.

Tabela 4 – Mínima área de seção para os condutores dos TCs da CF e AI.

Id. do Cabo	Origem (De)	Destino (Para)	A_S [mm²]	P_{TC} [VA]	P_{cabo} [VA]
CC-CF-01	CJ-TC-500-L05	2ML0506	1,67	50,00	49,90
CC-CF-03	CJ-TC-500-L06	2ML0506	0,86	50,00	49,90
CC-CF-05	CJ-TC-500-L07	2ML0708	1,79	50,00	49,90
CC-CF-07	CJ-TC-500-L08	2ML0708	3,01	50,00	49,90
CC-CF-09	CJ-TC-69-L04	4ML04	2,39	50,00	49,90
CC-AI-01	CD-01	6ML01	0,24	50,00	49,90
CC-AI-03	CD-01	6ML0203	0,24	50,00	49,90
CC-AI-05	CD-01	6ML0203	0,24	50,00	49,90

Tabela 5 – Mínima área de seção para os condutores dos TCs da SEA.

Id. do Cabo	Origem (De)	Destino (Para)	A_S [mm²]	P_{TC} [VA]	P_{cabo} [VA]
CC-SEA-01	CJ-TC-500-L09	2ML0910	2,31	45,00	44,90
CC-SEA-03	CJ-TC-500-L10	2ML0910	3,64	45,00	44,90
CC-SEA-05	CJ-TC-500-L11	2ML1112	2,44	50,00	49,90
CC-SEA-07	CJ-TC-500-L12	2ML1112	3,40	50,00	49,90
CC-SEA-09	CJ-TC-500-L13	2ML1314	1,41	50,00	49,90
CC-SEA-11	CJ-TC-500-L14	2ML1314	1,75	50,00	49,90
CC-SEA-13	CJ-TC-500-L15	2ML1516	1,64	50,00	49,90
CC-SEA-15	CJ-TC-500-L16	2ML1516	1,45	50,00	49,90
CC-SEA-17	CJ-TC-220-L01	3ML0102	4,80	50,00	49,90
CC-SEA-19	CJ-TC-220-L02	3ML0102	5,03	50,00	49,90
CC-SEA-21	CJ-TC-220-L03	3ML0304	5,11	50,00	49,90
CC-SEA-23	CJ-TC-220-L04	3ML0304	5,68	50,00	49,90
CC-SEA-25	CJ-TC-66-L01	4ML0102	2,94	50,00	49,90
CC-SEA-27	CJ-TC-66-L02	4ML0102	3,42	50,00	49,90
CC-SEA-29	CJ-TC-66-L03	4ML03	3,66	50,00	49,90

Mediante os valores de área de seção mínima para os circuitos de corrente obtidos nas tabelas 4 e 5, são atribuídos os valores comerciais. O critério de escolha foi o seguinte valor comercial acima ao valor mínimo de seção calculado. A mínima área considerada foi de 4 mm², segundo os requisitos para tais cabos. Os valores de seção

comercial para cada cabo de controle dos circuitos de corrente está apresentado na tabela 6.

Tabela 6 – Seções Comerciais dos condutores dos Circuitos de Corrente da SMF.

Id. do Cabo	Origem (De)	Destino (Para)	A_S [mm²]	A_{Scom} [mm²]	P_{ind} [VA]	P_{TC} [VA]
CC-CF-01	CJ-TP-500-L05	2ML0506	1,7	4,00	20,8	50,0
CC-CF-03	CJ-TP-500-L06	2ML0506	0,9	4,00	10,8	50,0
CC-CF-01	CJ-TP-500-L07	2ML0708	1,8	4,00	22,3	50,0
CC-CF-03	CJ-TP-500-L08	2ML0708	3,0	4,00	37,4	50,0
CC03T001	CJ-TP-69-L04	4ML04	2,4	4,00	29,7	50,0
CC-AI-01	CD-01	6ML01	0,2	4,00	3,1	50,0
CC-AI-03	CD-01	6ML0203	0,2	4,00	3,1	50,0
CC-AI-05	CD-01	6ML0203	0,2	4,00	3,1	50,0
CC-SEA-1	CJ-TC-500-L09	2ML0910	2,3	4,00	25,9	45,0
CC-SEA-03	CJ-TC-500-L10	2ML0910	3,6	4,00	40,7	45,0
CC-SEA-05	CJ-TC-500-L11	2ML1112	2,4	4,00	30,3	50,0
CC-SEA-07	CJ-TC-500-L12	2ML1112	3,4	4,00	42,1	50,0
CC-SEA-09	CJ-TC-500-L13	2ML1314	1,4	4,00	17,6	50,0
CC-SEA-11	CJ-TC-500-L14	2ML1314	1,7	4,00	21,7	50,0
CC-SEA-13	CJ-TC-500-L15	2ML1516	1,6	4,00	20,4	50,0
CC-SEA-15	CJ-TC-500-L16	2ML1516	1,4	4,00	18,0	50,0
CC-SEA-17	CJ-TC-220-L01	3ML0102	4,8	6,00	39,7	50,0
CC-SEA-19	CJ-TC-220-L02	3ML0102	5,0	6,00	41,7	50,0
CC-SEA-21	CJ-TC-220-L03	3ML0304	5,1	6,00	42,3	50,0
CC-SEA-23	CJ-TC-220-L04	3ML0304	5,7	6,00	47,0	50,0
CC-SEA-25	CJ-TC-66-L01	4ML0102	2,9	4,00	36,5	50,0
CC-SEA-27	CJ-TC-66-L02	4ML0102	3,4	4,00	42,4	50,0
CC-SEA-29	CJ-TC-66-L03	4ML03	3,7	4,00	45,4	50,0

Já para os cabos pertencentes aos circuitos de tensão (TPs) é levado em consideração a queda de tensão no cabo. Para o cálculo de queda de tensão, será considerado fator de potência de 0,8 e apenas as bobinas de tensão dos medidores associados aos TPs. Segundo o critério de dimensionamento (ii), os condutores utilizados para interligação dos secundários dos TP aos elementos de potencial dos medidores devem ser especificados de modo a não introduzir um erro na medição superior a 0,05% para fator de potência de 0,8. Os cabos de controle referentes aos circuitos de tensão do SMF são apresentados nas tabelas 7 e 8, listando seu código de identificação, finalidade, origem, destino e comprimento. O comprimento foi estimado através

de desenhos de representação da SEA e a localização dos equipamentos de origem e destino.

Tabela 7 – Características dos Circuitos de Tensão da Casa de Força.

Id. do Cabo	Finalidade	Origem (De)	Destino (Para)	ℓ [m]
CC-CF-02	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L05	2ML0506	140
CC-CF-04	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L06	2ML0506	80
CC-CF-02	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L07	2ML0708	220
CC-CF-04	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L08	2ML0708	320
CC-CF-02	MED. TENSÃO	CJ-TP-69-L04	4ML04	200
CC-AI-02	MED. TENSÃO	CD-01	6ML01	20
CC-AI-04	MED. TENSÃO	CD-01	6ML0203	20
CC-AI-06	MED. TENSÃO	CD-01	6ML0203	20

Tabela 8 – Características dos Circuitos de Tensão da SEA.

Id. do Cabo	Finalidade	Origem (De)	Destino (Para)	ℓ [m]
CC-SEA-02	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L09	2ML0910	179
CC-SEA-04	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L10	2ML0910	279
CC-SEA-06	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L11	2ML1112	204
CC-SEA-08	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L12	2ML1112	284
CC-SEA-10	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L13	2ML1314	104
CC-SEA-12	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L14	2ML1314	158
CC-SEA-14	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L15	2ML1516	151
CC-SEA-16	MED. TENSÃO	CJ-TP-500-L16	2ML1516	107
CC-SEA-18	MED. TENSÃO	CJ-TP-220-L01	3ML0102	406
CC-SEA-20	MED. TENSÃO	CJ-TP-220-L02	3ML0102	426
CC-SEA-22	MED. TENSÃO	CJ-TP-220-L03	3ML0304	432
CC-SEA-24	MED. TENSÃO	CJ-TP-220-L04	3ML0304	480
CC-SEA-26	MED. TENSÃO	CJ-TP-66-L01	4ML0102	251

CC-SEA-28	MED. TENSÃO	CJ-TP-66-L02	4ML0102	291
CC-SEA-30	MED. TENSÃO	CJ-TP-66-L02	4ML0102	311

Assim, pode-se calcular qual o valor máximo permitido para a queda de tensão entre o secundário do TP e o medidor:

$$\Delta V \leq \Delta V_{\text{máx}} = 0,05\% \cdot V_{\text{nominal}}, \quad (10)$$

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot |Z| \cdot I, \quad (11)$$

onde:

- ΔV é a queda de tensão no cabo [V];
- V_{nominal} é a tensão nominal [V];
- Z é a impedância do condutor [Ω];
- I é a corrente nominal [A].

Correlacionando 10-11, pode-se chegar em duas equações que definem a máxima queda de tensão:

$$\Delta V_{\text{cabo máx}} = 0,05\% \cdot V_{\text{nominal}}, \quad (12)$$

$$\Delta V_{\text{cabo máx}} = \sqrt{3} \cdot |Z_{\text{cabo máx}}| \cdot I_{\text{nominal}}. \quad (13)$$

Então, igualando 12 e 13 entre si obtém-se a equação a seguir:

$$0,05\% \cdot V_{\text{nominal}} = \sqrt{3} \cdot |Z_{\text{cabo máx}}| \cdot I_{\text{nominal}}. \quad (14)$$

Assim, obtém-se a corrente nominal em função da tensão nominal do circuito e a impedância máxima do cabo:

$$I_{\text{nominal}} = \frac{0,05\% \cdot V_{\text{nominal}}}{\sqrt{3} \cdot |Z_{\text{cabo máx}}|}. \quad (15)$$

Pode-se obter também a corrente nominal através da lei de Kirchhoff para as tensões:

$$V_{\text{nominal}} = V_{\text{medidor}} + \Delta V. \quad (16)$$

Para calcular o valor da tensão aplicada nos terminais do medidor, aplica-se a lei de Ohm, como observa-se na equação a seguir:

$$V_{\text{medidor}} = \sqrt{3} \cdot |Z_{\text{medidor}}| \cdot I_{\text{nominal}} \quad (17)$$

Portanto, a corrente nominal também pode ser escrita em função da tensão nominal do circuito e da impedância do medidor:

$$I_{\text{nominal}} = \frac{V_{\text{nominal}}}{\sqrt{3} \cdot |Z_{\text{medidor}}|} \quad (18)$$

E, a partir da relação entre 15 e 18, as quais descrevem a corrente nominal de duas formas diferentes, obtemos a impedância máxima permitida para o cabo em função da impedância do medidor:

$$|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}| = \frac{0,05\% \cdot V_{\text{nominal}} \cdot \sqrt{3} \cdot |Z_{\text{medidor}}|}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{nominal}} \cdot (1 - 0,05\%)}, \quad (19)$$

$$|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}| = \frac{0,05}{100 - 0,05} \cdot |Z_{\text{medidor}}|, \quad (20)$$

$$|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}| \approx 0,00050025 \cdot |Z_{\text{medidor}}| = 0,050025\% \cdot |Z_{\text{medidor}}|. \quad (21)$$

Ou seja, o módulo da máxima impedância do cabo é aproximadamente 0,05% do valor do módulo da impedância do medidor, que é dado na ?? e, substituindo-o na equação 19, o cálculo do máximo valor da impedância para os cabos de cada circuito é:

$$|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}| = 0,00050025 \cdot |Z_{\text{medidor}}| \approx 5 \times 10^{-4} \cdot 5 \times 10^6, \quad (22)$$

$$|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}| \approx 25 \times 10^2 \Omega. \quad (23)$$

É possível, entretanto, calcular o valor absoluto da impedância $Z = R + jX$ através de relações trigonométricas, tal que $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$. Adicionando a influência do comprimento do cabo ao cálculo, tem-se:

$$R_{\text{cabo}_{\text{máx}}} = \sqrt{|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}|^2 - X_L^2}. \quad (24)$$

Assim, a partir da impedância máxima do cabo pode-se estimar o valor máximo permitido da resistência do cabo:

$$R_{\text{cabo}_{\text{máx}}} = \sqrt{|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}|^2 - X_{L_{\text{cabo}}}^2} \quad (25)$$

Para tornar o cálculo possível, é preciso assumir um valor para a reatância indutiva. Logo, para efeitos de estimação do dimensionamento limite dos cabos, optou-se por considerar o maior valor de reatância indutiva listado na tabela 4 (pior caso).

Pelo fato dos valores da reatância estarem na unidade Ω/km , foi adicionado ao cálculo a influência do comprimento do cabo, como é mostrado abaixo:

$$X_L = X'_L \cdot \ell = 0,16 \times 10^{-3} \cdot \ell, \quad (26)$$

$$R_{\text{cabo}_{\text{máx}}} = \sqrt{(25 \times 10^2)^2 - (0,16 \times 10^{-3} \cdot \ell)^2}. \quad (27)$$

E, utilizando a lei de construção de resistores:

$$R_{\text{cabo}_{\text{máx}}} = \frac{\rho_{\theta} \cdot \ell}{A_{S_{\text{mín}}}}. \quad (28)$$

Desse modo, aplicando a máxima resistência para o cabo na equação 28, obtém-se a fórmula para a mínima área de seção do condutor para que o requisito de queda de tensão seja contemplado. Tal que,

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)), \quad (29)$$

logo,

$$A_{S_{\text{mín}}} = \frac{\rho_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)) \cdot \ell}{\sqrt{|Z_{\text{cabo}_{\text{máx}}}|^2 - (X'_L \cdot \ell)^2}} \quad (30)$$

onde:

$A_{S_{\text{mín}}}$ é a mínima área de seção transversal para o condutor [m^2];

ρ_{θ} é a resistividade do material a temperatura de θ °C [$\Omega \cdot \text{m}$];

α_{20} é o coeficiente da resistividade do cobre a 20C [$^{\circ}\text{C}^{-1}$];

θ é a temperatura ambiente de operação ($\theta_{\text{máx}} = 70^{\circ}\text{C}$) oc;

ℓ é comprimento do circuito [m].

Substituindo os valores dos parâmetros comuns a todos os circuitos, a área mínima de seção transversal para os condutores de cada circuito de comprimento ℓ será dada por:

$$A_{S_{\text{mín}}} = \frac{2,00 \times 10^{-8} \cdot [1 + 3,93 \times 10^{-3} \cdot (70 - 20)] \cdot \ell}{\sqrt{(25 \times 10^2)^2 - (0,16 \times 10^{-3} \cdot \ell)^2}}. \quad (31)$$

Simplificando (31):

$$A_{S_{\text{mín}}} = \frac{2,393 \times 10^{-8} \cdot \ell}{\sqrt{6,25 \times 10^6 - 2,56 \times 10^{-8} \cdot \ell^2}}. \quad (32)$$

Aplicando os cálculos aos cabos das tabelas 7 e 8, obtém-se os valores para a área de seção mínima dos condutores de cada um dos cabos de controle pertencentes aos circuitos de tensão do SMF. Para isso, admitiu-se os seguintes valores:

- $\alpha_{20} = 0,00393 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o coeficiente de temperatura da resistividade do cobre a 20C;
- $X_L = 0,16 \times 10^{-3} \text{ } \Omega/\text{m}$, o pior caso entre os valores de reatância indutiva dos cabos;
- $\rho_{20} = 2,00 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, o pior caso entre os valores de resistividade elétrica calculados a partir das características dos cabos de controle.

Os valores resultantes são exibidos nas tabelas 9 e 10. Elas apresentam o código de identificação, origem, destino e também o comprimento dos cabos. Esses resultados compreendem as impedâncias e resistências máximas permitidas assim como a área de seção mínima de modo que o circuito atenda o requisito de queda de tensão, item (ii).

Tabela 9 – Valores de Queda de Tensão Calculados para a CF e AI.

Id. do Cabo	Origem (De)	Destino (Para)	$ Z_{c_{mx}} $ [Ω]	$R_{c_{mx}}$ [Ω/m]	$\Delta V_{\text{máx}}$ [V]	$A_{S_{\text{mín}}}$ [mm^2]
CC-CF-02	CJ-TP-500-L05	2ML0506	10,31	10,31	0,057	0,324
CC-CF-04	CJ-TP-500-L06	2ML0506	18,04	18,04	0,057	0,106
CC-CF-06	CJ-TP-500-L07	2ML0708	6,56	6,56	0,057	0,800
CC-CF-08	CJ-TP-500-L08	2ML0708	4,51	4,51	0,057	1,693
CC-CF-10	CJ-TP-69-L04	4ML04	7,22	7,22	0,057	0,662
CC-AI-02	CD-01	6ML01	72,17	72,17	0,057	0,007
CC-AI-04	CD-01	6ML0203	72,17	72,17	0,057	0,007
CC-AI-06	CD-01	6ML0203	72,17	72,17	0,057	0,007

Tabela 10 – Valores de Queda de Tensão Calculados para a SEA.

Id. do Cabo	Origem (De)	Destino (Para)	$ Z_{c_{\text{máx}}} $ [Ω]	$R_{c_{\text{máx}}}$ [Ω/m]	$\Delta V_{\text{máx}}$ [V]	$A_{S_{\text{mín}}}$ [mm^2]
CC-SEA-02	CJ-TP-500-L09	2ML0910	8,07	8,07	0,057	0,443
CC-SEA-04	CJ-TP-500-L10	2ML0910	5,18	5,18	0,057	1,032
CC-SEA-06	CJ-TP-500-L11	2ML1112	7,08	7,08	0,057	0,533
CC-SEA-08	CJ-TP-500-L12	2ML1112	5,08	5,08	0,057	1,080
CC-SEA-10	CJ-TP-500-L13	2ML1314	13,87	13,87	0,057	0,193

CC-SEA-12	CJ-TP-500-L14	2ML1314	9,13	9,13	0,057	0,366
CC-SEA-14	CJ-TP-500-L15	2ML1516	9,56	9,56	0,057	0,338
CC-SEA-16	CJ-TP-500-L16	2ML1516	13,49	13,49	0,057	0,204
CC-SEA-18	CJ-TP-220-L01	3ML0102	3,55	3,55	0,057	2,172
CC-SEA-20	CJ-TP-220-L02	3ML0102	3,38	3,38	0,057	2,432
CC-SEA-22	CJ-TP-220-L03	3ML0304	3,82	3,82	0,057	1,788
CC-SEA-24	CJ-TP-220-L04	3ML0304	5,19	5,19	0,057	1,025
CC-SEA-26	CJ-TP-220-L05	3ML0506	6,20	6,20	0,057	0,705
CC-SEA-28	CJ-TP-220-L06	3ML0506	5,35	5,35	0,057	0,966

4.1.4 Cabos de Potência

Os Cabos de Potência do SMF são responsáveis pela alimentação dos equipamentos e o modo como devem ser alimentados está descrito na ET de Equipamentos e Sistemas do SMF. Isso inclui, em sua maioria, a alimentação por três modos:

- Alimentação Auxiliar (220 Vca): responsável por alimentar os equipamentos auxiliares, como iluminação e resistência;
- Alimentação Principal (125 Vcc): alimenta os equipamentos críticos dos painéis, como os medidores de energia e comutadores de rede;
- Alimentação Alternativa (125 Vcc): serve como uma alimentação alternativa para os equipamentos críticos dos painéis em caso de falta da Alimentação Principal.

Assim, os cabos de potência do SMF são considerados de baixa tensão e o dimensionamento desses cabos deve ser realizado através de três critérios diferentes: Capacidade de Condução de Corrente (C_1), Queda de Tensão (C_2) e Suportabilidade a Curto-Circuito (C_3). Cada critério é descrito a seguir:

1. Capacidade de Condução de Corrente (C_1):

A capacidade de condução de corrente é a corrente máxima que o cabo pode suportar em regime permanente para condições específicas, portanto é necessário corrigi-la levando em conta determinados fatores, que são multiplicados pela corrente nominal de projeto e resultam na corrente corrigida I_z . Os fatores a serem considerados são:

- O fator de temperatura F_t , em conformidade com a temperatura ambiente do meio circundante quando o cabo ou o condutor considerado não estiver carregado.
- O fator de agrupamento F_a , em concordância com número de circuitos, número de condutores e o espaçamento entre os condutores.

A corrente nominal I_n dos circuitos é obtida pela equação abaixo:

$$I_n = \frac{S}{V}, \quad (33)$$

onde:

- I_n Corrente nominal de projeto (A);
- S Potência aparente (VA);
- V Tensão do circuito (V).

A corrente corrigida I_z é obtida pela equação abaixo:

$$I_z = \frac{I_n}{F_t \cdot F_a \cdot n_{cp}}, \quad (34)$$

onde:

- I_z Corrente corrigida (A);
- I_n Corrente nominal de projeto (A);
- F_a Fator de agrupamento;
- F_t Fator de temperatura;
- n_{cp} Número de condutores por fase.

Considerando-se uma temperatura ambiente de 40 C, em conformidade com os critérios de projeto, o fator adotado para todos os condutores foi de 0,91, conforme a (NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004). O fator de agrupamento foi definido de acordo com o percurso de instalação do circuito, utilizando o pior caso de agrupamento existente em todo seu trecho, em conformidade com os fatores apresentados também em (NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004). Para os circuitos em questão foi definido um fator de agrupamento de 0,7. O método de instalação considerado para os cálculos foi o método B2 (cabos multipolares em canaleta, eletrocalha ou eletroduto aparente), conforme (NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004).

Após a correção da corrente de projeto pelos fatores citados, e levando em consideração o método de instalação dos cabos, foram analisados os valores de

capacidade de condução de corrente das Tabelas 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410 (NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004), de modo a determinar a seção transversal mínima do condutor necessária para suportar a corrente corrigida I_z .

2. Queda de Tensão (C_2):

O critério da queda de tensão delimita a seção mínima do condutor para que a queda de tensão entre a origem da instalação e o equipamento não seja superior a 5% da tensão nominal da instalação, conforme critérios apresentados no critérios de projetos elétricos.

Para circuitos monofásicos de corrente alternada a queda de tensão e a queda de tensão percentual são calculadas pelas equações abaixo:

$$\Delta V(V) = 2 \cdot \frac{I_n \cdot l \cdot (R_{ca} \cdot \cos\phi + X_L \cdot \sen\phi)}{n_{cp}}, \quad (35)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100, \quad (36)$$

onde:

- ΔV Queda de tensão (V);
- I_n Corrente nominal do circuito (A);
- l Comprimento do circuito (km);
- R_{ca} Resistência do cabo em corrente alternada (Ω/km);
- X_L Reatância indutiva da linha (Ω/km);
- $\cos\phi$ Fator de potência do circuito.

Os parâmetros elétricos dos cabos R_{ca} e X_L foram obtidos dos catálogos dos fabricantes para as seções determinadas pelo critério da capacidade de condução de corrente.

Nos casos em que a queda de tensão calculada ultrapassa o valor máximo admissível, são adotados seções e/ou número de condutores em paralelo superiores aos determinados pelo critério da capacidade de condução de corrente, de modo a satisfazer o critério da queda de tensão.

3. Suportabilidade a Curto-Circuito (C_3):

Em condições de curto-circuito a corrente que flui através do cabo aumenta, causando um aumento de temperatura no interior do cabo. Os cabos devem ser dimensionados de forma a suportar o maior curto-circuito esperado.

A seção do condutor necessária para suportar uma particular condição de curto-circuito é obtida através da equação abaixo:

$$S = \frac{I_{cc} \cdot \sqrt{t}}{k}, \quad (37)$$

onde:

- S Seção nominal do condutor (mm²);
- I_{cc} Corrente de curto-circuito (A);
- t tempo de curto-circuito em (s);
- k Constante dependente do metal ($A \cdot s^{1/2} \cdot mm^{-2}$).

As correntes de curto-circuito consideradas no cálculo foram as correntes de falta simétricas nos barramentos dos painéis em questão, as quais foram obtidas de uma série de documentos técnicos da usina UHE.

Para o cálculo foi utilizado um tempo de curto-circuito de 0,5s. O valor de k utilizado foi de 143, considerando um condutor de cobre e temperaturas do condutor no início e no final do curto de 90C e 250C, respectivamente, segundo referências do fabricante (**prysmian**).

Para os cabos de potência em baixa tensão destinados para a alimentação dos painéis do Sistema de Medição de Faturamento da UHE X, foram considerados os cabos com as características a seguir:

- Tensão de Isolação 0,6/1 kV;
- Formação - Multipolares até 16 mm² e singelos acima de 16 mm²;
- Temperatura máxima do condutor em regime contínuo 90 C;
- Tipo de Encordoamento - circular compacto;
- Classe Condutor - classe 2 ou 5;
- Material condutor - Cobre eletrolítico;
- Isolação Termofixo de polietileno reticulado (EPR) ou termofixo de polietileno reticulado de alto grau (HEPR);
- Cobertura: PVC tipo ST2.

A seção adotada para cada cabo foi a maior das seções mínimas calculadas para cada um dos três critérios descritos. Estabelece-se ainda, conforme critérios de projeto, que a seção transversal mínima de cabos isolados deverá ser de 2,5 mm².

Assim, os dados utilizados para o dimensionamento dos cabos de cada circuito, bem como os resultados obtidos para os três critérios, são apresentados nas tabelas 11, 12 e 13. A área de seção comercial adotada segue a mesma regra utilizada nos cabos de controle.

Tabela 11 – Circuitos em Corrente Alternada Alimentação 220Vca.

Origem (De)	Destino (Para)	f [Hz]	P_T [VA]	I_n [A]	ℓ [m]	$\Delta V_{\text{máx}}$ [%]	I_{CC} [kA]	$A_S(C_1)$ [mm ²]	$A_S(C_2)$ [mm ²]	$A_S(C_3)$ [mm ²]	A_S Adotada [mm ²]	Critério Dominante
CSP-02	2ML0506	60	50	0,23	35	0,141	15,000	2,5	2,5	4,0	4,0	C_3
QL-16031	2ML0708	60	50	0,23	45	0,181	4,831	2,5	2,5	2,5	2,5	C_1
TBP-02	4ML04	60	50	0,23	10	0,040	14,000	2,5	2,5	16,0	16,0	C_3
QD-CD	6ML01	60	50	0,23	10	0,040	10,000	2,5	2,5	10,0	10,0	C_3
QD-CD	6ML0203	60	50	0,23	10	0,040	10,000	2,5	2,5	10,0	10,0	C_3
QD-01	OS-MF1	50	50	0,23	40	0,161	6,000	2,5	2,5	4,0	4,0	C_3
QD-01	OS-MF2	50	50	0,23	40	0,161	6,000	2,5	2,5	4,0	4,0	C_3
QD-01	2ML0910	50	50	0,23	40	0,161	6,000	2,5	2,5	4,0	4,0	C_3
QDS-1	2ML1112	50	50	0,23	15	0,060	20,000	2,5	2,5	10,0	10,0	C_3
2SL34	2ML1314	50	50	0,23	15	0,060	20,000	2,5	2,5	10,0	10,0	C_3
2RB1516	2ML1516	50	50	0,23	15	0,060	20,000	2,5	2,5	10,0	10,0	C_3
3ML0304	3ML0102	50	50	0,23	10	0,040	0,202	2,5	2,5	2,5	2,5	C_1
2ML0910	3ML0304	50	50	0,23	10	0,040	0,407	2,5	2,5	2,5	2,5	C_1
3ML0102	4ML0102	50	50	0,23	10	0,040	0,108	2,5	2,5	2,5	2,5	C_1
4ML0102	4ML03	50	50	0,23	10	0,040	0,060	2,5	2,5	2,5	2,5	C_1

Tabela 12 – Circuitos em Corrente Contínua Alimentação 125Vcc Principal.

Origem (De)	Destino (Para)	P_T [VA]	I_n [A]	ℓ [m]	$\Delta V_{\text{máx}}$ [%]	I_{CC} [kA]	$A_S(C_1)$ [mm²]	$A_S(C_2)$ [mm²]	$A_S(C_3)$ [mm²]	A_S Adotada [mm²]	Critério Dominante
CSP-02	2ML0506	100	0,80	10	0,12	14,000	2,5	2,5	7,4	10,0	C_3
QX27061	2ML0708	100	0,80	40	0,47	0,526	2,5	2,5	1,2	2,5	C_1
TBP-02	4ML04	100	0,80	10	0,12	14,000	2,5	2,5	7,4	10,0	C_3
QCC-CD	6ML01	100	0,80	10	0,12	10,000	2,5	2,5	7,1	10,0	C_3
QCC-CD	6ML0203	100	0,80	10	0,12	10,000	2,5	2,5	7,1	10,0	C_3
QDCC-1	OS-MF1	100	0,80	40	0,47	20,000	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
QDCC-1	OS-MF2	100	0,80	40	0,47	20,000	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
QDCC-1	2ML0910	100	0,80	40	0,47	20,000	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
QDS-01	2ML1112	100	0,80	10	0,12	20,000	2,5	2,5	7,7	10,0	C_3
QDS-03	2ML1314	100	0,80	10	0,12	20,000	2,5	2,5	7,7	10,0	C_3
QDS-05	2ML1516	100	0,80	10	0,12	20,000	2,5	2,5	7,7	10,0	C_3
3ML0304	3ML0102	100	0,80	10	0,12	0,413	2,5	2,5	1,6	2,5	C_1
2ML0910	3ML0304	100	0,80	10	0,12	0,547	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
3ML0102	4ML0102	100	0,80	10	0,12	0,332	2,5	2,5	1,4	2,5	C_1
4ML0102	4ML03	100	0,80	10	0,12	0,277	2,5	2,5	1,2	2,5	C_1

Tabela 13 – Circuitos em Corrente Contínua Alimentação 125Vcc Alternativa.

Origem (De)	Destino (Para)	P_T [VA]	I_n [A]	ℓ [m]	$\Delta V_{\text{máx}}$ [%]	I_{CC} [kA]	$A_S(C_1)$ [mm²]	$A_S(C_2)$ [mm²]	$A_S(C_3)$ [mm²]	A_S Adotada [mm²]	Critério Dominante
CSP-02	2ML0506	100	0,80	10	0,12	14,000	2,5	2,5	7,4	10,0	C_3
QX27061	2ML0708	100	0,80	40	0,47	0,526	2,5	2,5	1,2	2,5	C_1
TBP-02	4ML04	100	0,80	10	0,12	14,000	2,5	2,5	7,4	10,0	C_3
QCC-CD	6ML01	100	0,80	10	0,12	10,000	2,5	2,5	7,1	10,0	C_3
QCC-CD	6ML0203	100	0,80	10	0,12	10,000	2,5	2,5	7,1	10,0	C_3
QDCC-1	OS-MF1	100	0,80	40	0,47	20,000	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
QDCC-1	OS-MF2	100	0,80	40	0,47	20,000	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
QDCC-1	2ML0910	100	0,80	40	0,47	20,000	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
QDS-01	2ML1112	100	0,80	10	0,12	20,000	2,5	2,5	7,7	10,0	C_3
QDS-03	2ML1314	100	0,80	10	0,12	20,000	2,5	2,5	7,7	10,0	C_3
QDS-05	2ML1516	100	0,80	10	0,12	20,000	2,5	2,5	7,7	10,0	C_3
3ML0304	3ML0102	100	0,80	10	0,12	0,368	2,5	2,5	1,6	2,5	C_1
2ML0910	3ML0304	100	0,80	10	0,12	0,471	2,5	2,5	2,0	2,5	C_1
3ML0102	4ML0102	100	0,80	10	0,12	0,368	2,5	2,5	1,4	2,5	C_1
4ML0102	4ML03	100	0,80	10	0,12	0,302	2,5	2,5	1,2	2,5	C_1

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

O Projeto Executivo de Infraestrutura para a Modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) da Usina Hidrelétrica X foi realizado ao longo de um período de pouco mais de um ano e meio, compreendido desde a apresentação do Projeto de Atualização Tecnológica da UHE X até a aceitação dos documentos relativos ao SMF. Até a data de redação deste PFC, foram produzidos 17 documentos, listados a seguir:

1. Diagrama de Localização de Equipamentos - Sistema de Medição de Faturamento;
2. Lista de Cabos de Comunicação - Casa de Força - Sistema de Medição de Faturamento;
3. Lista de Cabos de Comunicação - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;
4. Lista de Cabos de Controle - Casa de Força - Sistema de Medição de Faturamento;
5. Lista de Cabos - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;
6. Lista de Cabos de Potência - Casa de Força - Sistema de Medição de Faturamento;
7. Lista de Cabos de Potência - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;
8. Memória de Cálculo dos Cabos de Controle - Sistema de Medição de Faturamento;
9. Memória de Cálculo dos Cabos de Potência - Sistema de Medição de Faturamento;
10. Lista de Materiais do Cabeamento - Casa de Força - Sistema de Medição de Faturamento;
11. Lista de Materiais do Cabeamento - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;
12. Arranjo de Vias de Cabos - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;
13. Lista de Materiais das Vias de Cabos - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;

14. Arranjo de Vias de Cabos - Área Industrial - Sistema de Medição de Faturamento;
15. Lista de Materiais das Vias de Cabos - Área Industrial - Sistema de Medição de Faturamento;
16. Arranjo de Equipamentos Eletromecânicos Existente - Edifício de Controle - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento;
17. Arranjo de Equipamentos Eletromecânicos Futuro - Edifício de Controle - Subestação de Apoio - Sistema de Medição de Faturamento.

Além desses documentos, ainda espera-se a elaboração de documentos descritivos da execução, tais como o Plano de Desmontagem, Plano de Montagem, Plano de Comissionamento, entre outros, de modo a fornecer subsídios completos para a execução das obras de adequação da infraestrutura, de forma a atender às necessidades do novo SMF. A produção dos documentos até o momento foi realizada conforme o processo descrito na Seção 3.5.3, com a interação entre Nova Engevix e a Empresa Parceira não limitada à emissão e devolução de comentários via Aconex, mas também complementada por reuniões de acompanhamento semanais. Durante essas reuniões, além da atualização sobre o andamento das atividades e da troca de informações pertinentes ao projeto de modernização do SMF, eram realizadas revisões conjuntas dos documentos, o que agilizava o processo de aceitação.

Cada documento foi revisado cerca de três vezes pela Empresa Parceira, sendo que a maioria dos comentários estava relacionada a alterações na codificação dos documentos ou a atualizações nos modelos de layouts. Até o presente momento, os seguintes documentos foram aprovados pela Empresa Parceira e então submetidos a aprovação pela gerência da UHE X: as seis listas de cabos (itens 2 a 7), as duas listas de materiais relacionadas ao cabeamento (itens 10 e 11), as memórias de cálculo (itens 8 e 9) e o diagrama de localização (item 1). Os demais documentos ainda aguardam decisão das coordenadorias das empresas envolvidas, devido a questões burocráticas. Entre os documentos aprovados pela Empresa Parceira, o Diagrama de Localização dos Equipamentos do SMF e as Listas de Cabos de Comunicação já foram aprovados com comentários pela Gerência da UHE X. Esses comentários apontam falhas de escrita ou características incorretas das linhas nos desenhos técnicos.

Já os demais documentos não foram aprovados até o momento pela UHE, devido ao tempo de resposta da UHE X, que dura algo próximo 30 dias. Contudo, estão em fase final de produção e alinhamento às demandas apontadas pelo corpo técnico da UHE X anteriormente, conforme os comentários devolvidos e reuniões. A expectativa é que todos os documentos do Projeto Executivo estejam aprovados até meados de 2025, permitindo o início das obras para a Modernização do SMF.

Portanto, pode-se afirmar que o objetivo do PFC foi parcialmente atingido, com a aprovação da maioria dos documentos do Projeto Executivo de Migração para a Modernização do SMF da UHE X pela Empresa Parceira e de alguns pela Gerência da UHE X. Além disso, a documentação já aprovada pela Empresa Parceira que ainda não recebeu a aprovação da usina está em vias de ser aprovado. Entre os fatores que contribuíram para a não completude de todos os objetivos, destacam-se os processos burocráticos inerentes a empreendimentos dessa magnitude, as dificuldades de acesso às informações, o desconhecimento sobre intervenções simultâneas na SEA e as constantes mudanças nas codificações e leiautes dos documentos. Esses desafios não são exclusivos da Modernização do SMF, mas afetam a Atualização Tecnológica da UHE X como um todo, estendendo-se às outras disciplinas envolvidas e que estão igualmente sujeitas a essas condições. Isso coloca os projetos exclusivos dos diferentes sistemas nas mesmas condições do SMF, que se apresenta mais adiantado em relação aos demais.

4.2.1 Desafios e Limitações

O projeto enfrentou obstáculos significativos, principalmente relacionados à burocracia e à complexidade da integração de novos sistemas com as infraestruturas legadas. Esses desafios causaram atrasos na produção e aprovação de documentos, exigindo revisões sucessivas para adequar o projeto às normativas e exigências operacionais. Adicionalmente, a dificuldade em acessar informações detalhadas sobre a infraestrutura existente retardou a elaboração de parte da documentação técnica. A divergência entre a documentação existente e a configuração real do empreendimento demandou tempo extra para investigações de campo e a reconstrução conceitual do *as-built*, que atualiza a documentação com a configuração real dos sistemas e instalações.

Entre os estudos adicionais realizados, destacam-se as investigações sobre a alocação das antenas GPS e a proposta de vias de cabos alternativas nas áreas da Subestação de Apoio (SEA) e da Área Industrial (AI). Inicialmente, planejava-se utilizar os encaminhamentos existentes para a instalação dos cabos, mas inspeções de campo revelaram que a condição desses encaminhamentos e o entupimento de caixas de passagem e calhas deterioradas impedia a reutilização. Assim, foi necessário desenvolver novas rotas para os cabos, o que demandou tempo adicional.

Na SEA, foi identificada a existência de um projeto paralelo em andamento, do qual não se teve acesso devido a motivos burocráticos. Esse projeto pode impactar a configuração do pátio, afetando o encaminhamento dos cabos do SMF. O projeto paralelo já influenciou o comprimento e, conseqüentemente, o dimensionamento e as especificações dos cabos do SMF. Além disso, muitos documentos acessados ainda não estavam aprovados pela UHE, o que pode levar a alterações adicionais no projeto.

A necessidade de adaptar o projeto às novas condições que surgem repentinamente introduziu complexidade e exigiu ajustes contínuos.

Divergências de entendimento sobre o escopo entre as partes envolvidas também geraram atrasos nas definições e revisões de documentos, exigindo ajustes contínuos para garantir a conformidade com as expectativas e especificações. Além disso, a realização de estudos e investigações de campo não previstos inicialmente no cronograma do projeto impactou os prazos. Essas atividades adicionais foram relevantes para assegurar a precisão das soluções propostas.

Outro desafio foi a falta de modernizações contínuas em sistemas complementares, como a Subestação de Apoio, o que apresentou riscos adicionais para a operação do SMF. Inspeções de campo indicaram a necessidade urgente de intervenções em diversos subsistemas interligados ao SMF, aumentando a complexidade do planejamento e da execução.

4.2.2 Contribuições e Impactos

Apesar das dificuldades, a elaboração do Projeto Executivo de Migração do SMF resultou em um conjunto de documentos que, por si só, são capazes de fornecer toda e qualquer informação necessária a implementação da infraestrutura que o sistema necessita para que opere perfeitamente. A precisão das especificações técnicas e operacionais, assegurada por metodologias consolidadas e pela consulta a especialistas, foi um aspecto importante para garantir que o SMF modernizado atenderá aos critérios de eficiência, segurança e sustentabilidade necessários para a operação de longo prazo da usina.

Para a Nova Engevix

A Nova Engevix, ao atuar como responsável pela execução do projeto, consolidou seu papel como uma referência em engenharia de ponta e modernização de infraestruturas críticas. A implementação bem-sucedida da modernização do SMF reforça a capacidade da empresa de lidar com projetos de grande escala e complexidade, destacando sua competência técnica e compromisso com a excelência. Este projeto demonstra a capacidade da empresa de adaptar-se e inovar, o que é crucial para manter a competitividade no setor.

Para a Empresa Parceira

A Empresa Parceira, coordenadora do projeto, contribui com expertise valiosa e recursos significativos, fundamentais para a implementação eficaz da modernização do SMF. O projeto reforça sua capacidade de gerenciar e executar projetos complexos, mesmo fora do seu foco principal. Embora o projeto ainda esteja em andamento,

a Empresa Parceira desempenha um papel crucial na coordenação e integração das diversas etapas do projeto, impactando positivamente sua capacidade de realizar projetos futuros com maior eficiência e sucesso.

Para a UHE X

A modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF), como parte do mais amplo Projeto de Atualização Tecnológica da UHE X, trará impactos significativos para a operação da usina. Especificamente, a modernização do SMF proporcionará um controle mais aprimorado sobre a análise da demanda, permitindo uma reação mais rápida a variações na demanda de energia. Isso porquê medidores de energia, com o passar do tempo, tendem a perder precisão mais rapidamente; portanto, a substituição dos medidores antigos por novos reduzirá a frequência de problemas de imprecisão e diminuirá a necessidade de calibração recorrente para esses equipamentos.

O Projeto de Atualização Tecnológica da UHE X, que inclui a modernização do SMF e outras melhorias nos demais sistemas e infraestruturas da usina, promoverá uma série de benefícios adicionais. A reforma das instalações da usina permitirá melhor acesso aos equipamentos tornando a manutenção mais eficaz e simplificada, o que reduzirá o tempo de inatividade e aumentará a disponibilidade dos equipamentos. Essas melhorias também contribuirão para o aumento da vida útil dos equipamentos e instalações da usina, garantindo uma operação mais confiável e eficiente ao longo do tempo. Em conjunto, essas atualizações manterão a reputação da usina como uma das principais fornecedoras de energia no Brasil e assegurarão sua importância contínua no setor energético. O projeto também proporcionará processos mais modernos e ágeis, alinhando a UHE X com as melhores práticas globais e promovendo a eficiência operacional.

Para o País

A modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) e a Atualização Tecnológica da UHE X possuem implicações substanciais para a infraestrutura energética do Brasil. Estes projetos são essenciais para a melhoria da eficiência e da confiabilidade do setor elétrico nacional.

A Modernização do SMF, inserida no escopo da Atualização Tecnológica da UHE X, está alinhada com as exigências dos principais órgãos reguladores brasileiros, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A conformidade com as normas e diretrizes estabelecidas por essas entidades assegura a transparência e a justiça na medição e na cobrança de energia, reforçando a integridade das operações da UHE X.

A rede elétrica brasileira enfrenta desafios significativos relacionados à obsolescência e à necessidade de modernização para atender ao crescimento da demanda e melhorar a confiabilidade do sistema. A Atualização Tecnológica da UHE X, incluindo a modernização do SMF, contribui de maneira significativa para enfrentar esses desafios. Ao fortalecer a infraestrutura energética, esses projetos promovem a eficiência do sistema elétrico, sustentando o desenvolvimento econômico sustentável e garantindo a estabilidade do fornecimento de eletricidade.

Além disso, a implementação dessas melhorias não apenas atende às necessidades regulatórias, mas também estabelece um modelo para a modernização de outras usinas hidrelétricas no país. A experiência adquirida e as soluções implementadas na UHE X poderão servir como referência para futuros projetos de atualização tecnológica em outras instalações, promovendo a adoção de práticas e tecnologias avançadas em todo o setor elétrico nacional.

Esses projetos têm o potencial de se tornarem exemplos de boas práticas, influenciando positivamente a estratégia de modernização de outras usinas hidrelétricas e, assim, contribuindo para a evolução contínua da infraestrutura energética brasileira.

Para o Consumidor Final

A modernização do Sistema de Medição de Faturamento (SMF) da UHE X trará benefícios diretos ao consumidor final ao garantir um fornecimento de energia mais estável e confiável. Com a substituição dos medidores antigos pelas novas tecnologias, a UHE X conseguirá monitorar a demanda de forma mais precisa, permitindo ajustes rápidos em resposta às variações no consumo energético. Isso melhora a gestão da oferta de energia, reduzindo o risco de desequilíbrios e, conseqüentemente, de interrupções no fornecimento, o que impacta diretamente a qualidade do serviço prestado ao consumidor.

Além disso, a integração dos novos medidores com sistemas avançados de monitoramento permitirá a detecção precoce de falhas ou inconsistências, possibilitando uma intervenção rápida antes que o problema afete os consumidores. Isso aumenta a confiabilidade na distribuição de energia, oferecendo ao consumidor final um serviço com menos interrupções e falhas inesperadas.

Outro impacto relevante da modernização do SMF é a maior eficiência dos processos de medição e faturamento, o que permitirá à UHE X operar de maneira mais econômica. A longo prazo, essa eficiência pode resultar em menores custos operacionais, contribuindo para tarifas de energia mais justas e sustentáveis. Assim, o consumidor final será beneficiado tanto com uma melhor qualidade no fornecimento de energia quanto com uma maior equidade nos custos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Atualização Tecnológica da UHE X, projeto do qual a Modernização do Sistema de Medição de Faturamento faz parte, é um marco na história da usina. Essa é a maior operação pela qual a usina já passou desde sua construção, há cerca de 40 anos. Tida como uma das principais fornecedoras de energia elétrica no Brasil, essa obra de engenharia destaca-se sobretudo em sua complexidade em decorrência da necessidade de continuidade das operações da usina simultaneamente às intervenções planejadas. A iniciativa conta com o investimento de centenas de milhões de dólares e envolvimento de diversas empresas, tanto nacionais quanto multinacionais.

A iniciativa desse projeto tem origem, sobretudo, nas consequências decorrentes da ação do tempo nas instalações da usina, assim como no processo de obsolescência a que os equipamentos estão suscetíveis. Esses problemas são característicos de usinas hidrelétricas, uma vez que espera-se que instalações desse tipo operem por longos períodos de tempo, o que torna a implantação de programas de manutenção preventiva e melhoria contínua de extrema necessidade. Essas ações buscam mitigar esses efeitos, no entanto, devido às proporções da UHE X e à extensão dos impactos acumulados ao longo de vários anos, os esforços padrões não são suficientes para eliminá-los completamente, sendo superados pela progressão natural do desgaste e da obsolescência tecnológica, exigindo, nesses casos, abordagens mais abrangentes.

A Nova Engevix Engenharia e Projetos, como ganhadora do processo de licitação para realizar a integração do projeto executivo, faz parte do grupo de empresas envolvidas no projeto de Atualização Tecnológica (AT) da UHE e, dessa forma, tem como função elaborar o projeto executivo que possibilite a aplicação das novas tecnologias na planta. Dentre os sistemas contemplados pela AT, está o SMF, cujo projeto executivo de Migração é objeto deste trabalho. Esse sistema, responsável pela medição de energia para fins de faturamento, será inteiramente substituído e, portanto, o projeto executivo de Migração do SMF deve viabilizar a sua implementação.

Assim, foi elaborada uma série de documentos que descreve, detalha e orienta como deve ser executada a migração para o novo SMF. Entre eles estão: Listas de Cabos e Materiais, Memórias de Cálculo e Diagrama de Localização dos Equipamentos. Cada um desses documentos se complementam e precisam atender aos requisitos definidos pela etapa de concepção do projeto. Para garantir que isso ocorra, cada um passa por diversas verificações até ser aprovado por todas as partes, o que sinaliza que a elaboração do documento está concluída. Esse processo ocorre em duas etapas, primeiro o documento deve ser aprovado pela Empresa Parceira e só então será submetido para a aprovação da Gerência da UHE X.

5.1 CONCLUSÕES

A participação no projeto de Atualização Tecnológica da Usina Hidrelétrica X, enquanto ainda aluno de graduação em engenharia, proporcionou uma compreensão aprofundada da aplicação prática da engenharia na resolução de problemas complexos. Ser responsável pela modernização do Sistema de Medição de Faturamento revelou como a engenharia é fundamental para enfrentar e solucionar desafios diversos e imprevistos em projetos de grande escala.

O estágio na Nova Engevix Engenharia e Projetos ofereceu uma visão detalhada de como a formação em engenharia prepara o profissional para lidar com uma ampla gama de tarefas e disciplinas, mesmo aquelas não diretamente relacionadas ao seu curso específico. Essa experiência foi responsável por desenvolver não apenas habilidades técnicas, como a elaboração de documentos e a execução de estudos técnicos, mas também competências de gerenciamento de projeto e comunicação eficaz.

A vivência prática destacou que a engenharia vai além da aplicação de cálculos e métodos estabelecidos. Ela envolve um pensamento metodológico que permite ao engenheiro adaptar-se a diferentes contextos e problemas. Além disso, o estágio evidenciou que, em projetos reais, a flexibilidade e a capacidade de adaptação são essenciais, pois é comum que os projetos não sigam exatamente conforme o planejado, exigindo ajustes contínuos e soluções criativas.

5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

Em um futuro próximo, espera-se que a continuidade do desenvolvimento do Projeto Executivo do Sistema de Medição de Faturamento da UHE X prossiga com a elaboração e aprovação dos documentos faltantes, incluindo os que descrevem os planos de migração do sistema existente para o novo, pela Gerência da UHE X. Além desses documentos, aqueles que ainda não foram aprovados devem se adequar às requisições da Gerência da UHE X o mais breve possível, a ponto de estarem finalizados para o início das obras previsto para o início de 2025. Dado o início às operações em campo, o projeto tem um prazo de 3 anos para ser totalmente implementado, testado, validado e posto em operação. A expectativa é de que todos os cabos já estejam lançados em meados de abril de 2025 aguardando a instalação dos painéis de medição de faturamento no lugar onde foram especificados no documento de arranjo dos equipamentos eletromecânicos do SMF. O processo de migração entre o sistema existente e o novo irá ser cadenciado, acompanhando a progressão das atividades das modernizações dos demais sistemas da UHE X, de acordo com os documentos Plano de Desmontagem, Plano de Montagem e Plano de Migração.

Já em uma projeção mais distante, a perspectiva está na total conclusão da

Atualização Tecnológica da Usina Hidrelétrica X em pouco mais de uma década e sem intercorrências de maiores gravidades. Com a sua conclusão almeja-se que a UHE X seja um exemplo de modernidade no setor de hidrelétricas e que o processo pela qual passará nos próximos anos inspire as demais instalações para geração de energia a optarem por passar pelo processo de atualização tecnológica fomentando o movimento de Digitalização no setor elétrico brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentals of Electric Circuits**. 4th. [S.l.]: McGraw-Hill, 2007. Chapter 2, Section 2.1. ISBN 9780073301150.

AZEVEDO, I. L. *et al.* Energia elétrica e desenvolvimento econômico: uma análise para os municípios brasileiros. **São Paulo em Perspectiva**, v. 24, n. 3, p. 49–62, 2010.

BACON, Francis. **Meditationes Sacrae and Human Philosophy**. [S.l.: s.n.], 1597.

BARRETT, A.; WHITE, E. B. Legacy Systems Maintenance and Management. **Engineering Management Journal**, v. 24, n. 2, p. 35–45, 2012.

BASTEN, R.; MEER, J. J. van der. Managing Technological Obsolescence: A Case Study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 19, n. 3, p. 236–249, 2013.

BEN. **Balanco Energético Nacional de 2024**. [S.l.], 2024. Disponível em: http://exemplo.com/balanco_energetico_2024.pdf. Acesso em: 24 jun. 2024.

BLANDFORD, A.; GREEN, T. **The Handbook of Human-Computer Interaction**. [S.l.]: CRC Press, 2018.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Electronic Devices and Circuit Theory**. 11th. Boston: Pearson, 2015.

CHUNG, C.; LEE, D. Cybersecurity Risks in Legacy Systems. **Computers & Security**, v. 30, n. 6, p. 340–350, 2011.

FENTON, N.; NEIL, M. **Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach**. [S.l.]: CRC Press, 2019.

GIDADO, K.; IBRAHIM, A. **Project Management in Construction**. [S.l.]: Routledge, 2020.

GIESECKE, F. D. *et al.* **Technical Drawing**. [S.l.]: Pearson, 2017.

- GILLESPIE, P. Obsolescence Management and the Impact on Lifecycle Costs. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 25, n. 4, p. 305–317, 2008.
- GOLDEMBERG, J. **A energia no século XXI: faces do desafio ambiental**. [S.l.]: Editora da UNESP, 2004.
- HECHT, Jeff. **Understanding Fiber Optics**. London: Pearson, ago. 2017.
- HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The Art of Electronics**. 3rd edition. [S.l.]: Cambridge University Press, 2015a. ISBN 978-0521809269.
- HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The Art of Electronics**. 3rd. [S.l.]: Cambridge University Press, 2015b.
- HUSAIN, I.; ZHANG, L. Integration of New Technologies with Legacy Systems. **Journal of Systems and Software**, v. 86, n. 8, p. 1984–1995, 2013.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2023**. [S.l.: s.n.], 2023.
- KEISER, Gerd. **Optical Fiber Communications**. 4. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2011.
- KEMP, R.; SCHOT, M. The Dynamics of Technological Innovation and the Impact on Efficiency. **Research Policy**, v. 35, n. 5, p. 751–765, 2006.
- KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 1978.
- KUMAR, U.; KUMAR, P. R. Industrial Equipment Maintenance: A Comprehensive Review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 39, n. 5-6, p. 452–468, 2008.
- MAURÍCIO, José. **Luz Através da Fibra**. [S.l.: s.n.], 2022. Enviado em 07.07.2022. Sócio diretor da Ratio Consultoria e Professor Universitário. Disponível em: <https://www.ispblog.com.br/2022/07/07/luz-atraves-da-fibra/>. Acesso em: 1 dez. 2023.

- MAURÍCIO, José. **Transmissores e Receptores Ópticos**. [S.l.: s.n.], 2021. Enviado em 11.02.2021. Sócio Diretor da Ratio Consultoria e Professor Universitário. Disponível em:
<https://www.ispblog.com.br/2021/02/11/transmissores-e-receptores-opticos/>. Acesso em: 1 dez. 2023.
- MEIER, H.; SMITH, A. R. Technological Upgrades and Operational Efficiency. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 78–87, 2012.
- MILLMAN, Jacob; GRABEL, Arvin. **Microelectronics**. 2nd. [S.l.]: McGraw-Hill, 1987.
- MUJAL, M.; FERNÁNDEZ, R. **Structural Analysis and Design**. [S.l.]: Springer, 2019.
- NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A. **Electric Circuits**. 10th. Boston, MA: Pearson, 2015.
- NORMAS TÉCNICAS (ABNT), Associação Brasileira de. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. [S.l.], 2004.
- ONS. **ONS Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Módulo 2 Critérios e Requisitos Submódulo 2.14 Requisitos mínimos para o Sistema de Medição para Faturamento**. [S.l.], 2022.
- PINHEIRO, José Maurício S. **Cabeamento Óptico**. 1. ed. Rua Sete de Setembro, 111 - 16º andar, 20050-006 Rio de Janeiro RJ Brasil: Elsevier Editora Ltda, 2005. ISBN 85-52-1619-7.
- RASHID, Muhammad H. **Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications**. 4th. [S.l.]: Pearson, 2014. ISBN 978-0-13-312590-0.
- REDDY, J. N. **An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis**. [S.l.]: Oxford University Press, 2019.
- SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentals of Electric Circuits**. 4th. New York, NY: Oxford University Press, 2007.
- SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microelectronic Circuits**. 7th edition. [S.l.]: Oxford University Press, 2014. ISBN 978-0199339136.

SENIOR, John M.; JAMRO, M. Yousif. **Optical Fiber Communications: Principles and Practice**. Boston: Pearson, jun. 2009.

SHURCLIFF, William A. **Electricity: Basic Concepts and Applications**. 2. ed. New York: Prentice Hall, 1984.

SILVA, R. M. *et al.* Modernization and operational efficiency improvement of hydropower plants: A systematic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 1077–1096, 2018.

SILVA JÚNIOR, Joab Silas da. **O que são fibras ópticas?** Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-fibras-opticas.htm>. Acesso em: 1 dez. 2023.

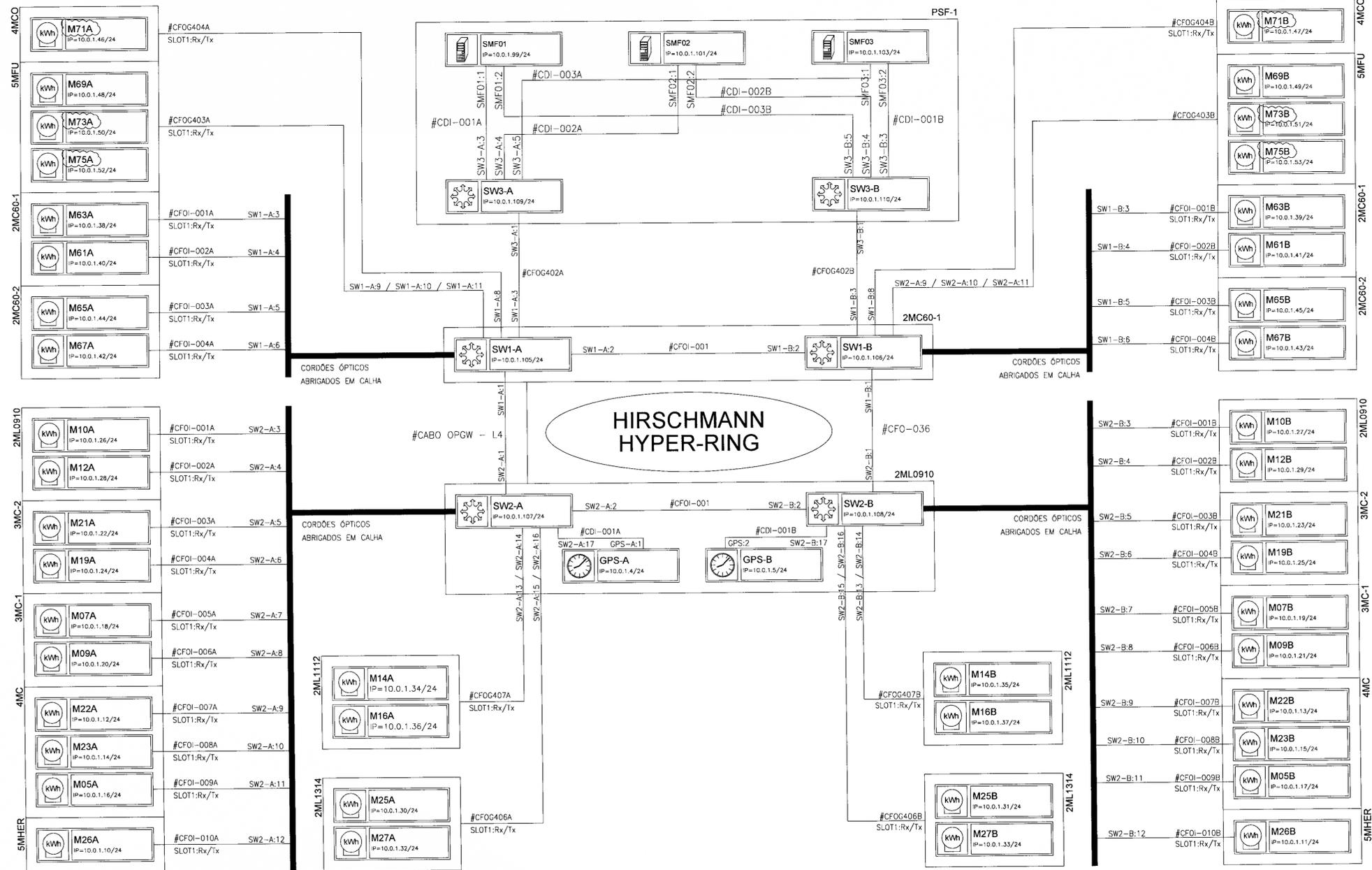
SMIL, V. **Creating the Twentieth Century: Technical Innovations of 1867-1914 and Their Lasting Impact**. [S.l.]: Oxford University Press, 2005.

TURNER, J. R. **Gower Handbook of Project Management**. [S.l.]: Routledge, 2014.

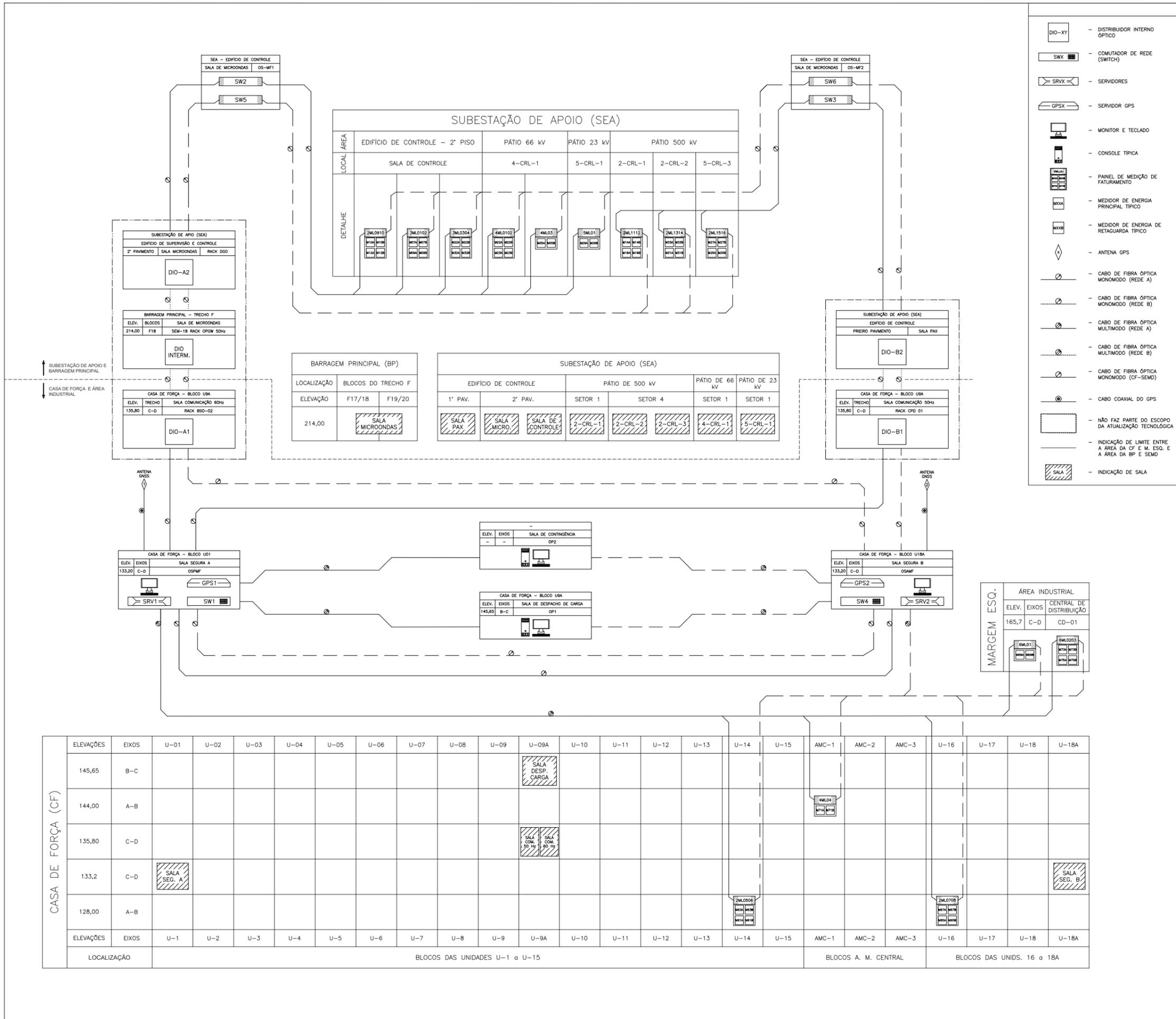
YANG, K.; WANG, J. Optimization of Maintenance Strategy for Aging Systems. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 57, n. 3, p. 486–497, 2008.

ZHOU, X.; JOHNSON, S. G. Reliability Analysis of Aging Systems. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 60, n. 4, p. 1002–1011, 2011.

APÊNDICE A – ARQUITETURA DE REFERÊNCIA PARA O SMF



APÊNDICE B – ARQUITETURA DE REFERÊNCIA PARA O SMF



- DISTRIBUIDOR INTERNO ÓPTICO
- COMPUTADOR DE REDE (SWITCH)
- SERVIDORES
- SERVIDOR GPS
- MONITOR E TECLADO
- CONSOLE TÍPICA
- PAINEL DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO
- MEDIDOR DE ENERGIA PRINCIPAL TÍPICO
- MEDIDOR DE ENERGIA DE RETAGUARDA TÍPICO
- ANTENA GPS
- CABO DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO (REDE A)
- CABO DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO (REDE B)
- CABO DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO (REDE A)
- CABO DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO (REDE B)
- CABO DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO (CF-SEMD)
- CABO COAXIAL DO GPS
- NÃO FAZ PARTE DO ESCOPO DA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA
- INDICAÇÃO DE LIMITE ENTRE A ÁREA DA CF E M. ESQ. E A ÁREA DA BP E SEMD
- INDICAÇÃO DE SALA

ELEVAÇÕES	EIXOS	U-01	U-02	U-03	U-04	U-05	U-06	U-07	U-08	U-09	U-09A	U-10	U-11	U-12	U-13	U-14	U-15	AMC-1	AMC-2	AMC-3	U-16	U-17	U-18	U-18A	
		145,65	B-C										SALA DESP. CARGA												
144,00	A-B																								
135,80	C-D										SALA COM. 20 Hz	SALA COM. 60 Hz													
133,2	C-D	SALA SEG. A																							SALA SEG. B
128,00	A-B																								
ELEVAÇÕES	EIXOS	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-9A	U-10	U-11	U-12	U-13	U-14	U-15	AMC-1	AMC-2	AMC-3	U-16	U-17	U-18	U-18A	
LOCALIZAÇÃO		BLOCOS DAS UNIDADES U-1 a U-15															BLOCOS A. M. CENTRAL			BLOCOS DAS UNIDS. 16 a 18A					