

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ENGENHARIA DE ENERGIA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERVIÇOS AUXILIARES E ILUMINAÇÃO DE
SUBESTAÇÕES**

por

Murilo Vaz da Silva

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, outubro de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERVIÇOS AUXILIARES E ILUMINAÇÃO DE
SUBESTAÇÕES

por

Murilo Vaz da Silva

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flavio Antonio Becon Lemos
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro – DELET / UFRGS

Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig – DELET / UFRGS

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich – DELET / UFRGS

Porto Alegre, 07 de outubro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por todo incentivo e apoio incondicional ao longo da minha vida.
À minha parceira, Brenda, pelo carinho, apoio, incentivo e auxílio a todo e qualquer momento.
Aos meus amigos, pela parceria, incentivo, amizade e momentos marcantes.
Ao grupo Tecnova, em especial ao time Projetec, pelos ensinamentos, incentivos e amizade.
Ao meu orientador, por todo o auxílio e disponibilidade para a elaboração deste trabalho.

SILVA, M. V. da. **Eficiência Energética em Serviços Auxiliares e Iluminação de Subestações**. 2022. 35 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem por objetivo a análise de aplicação de eficiência energética em subestações, visto que esse é um setor antigo onde a eficiência energética é pouco explorada. São avaliados três sistemas auxiliares de uma subestação 230/69 kV localizada no Rio Grande do Sul: iluminação, climatização e exaustão. Primeiramente, faz-se um diagnóstico da situação atual com o levantamento dos equipamentos instalados e suas potências. O sistema de iluminação é modelado e simulado no *software* DIALux para a obtenção dos níveis de iluminamento atuais. Com isso, equipamentos com menores potências e que suprem a mesma demanda são escolhidos e, posteriormente, o novo sistema de iluminação é simulado no DIALux. Após, avalia-se a possibilidade da remoção do sistema de exaustão através da substituição de baterias ventiladas por bateria VRLA e, com isso, verifica-se se o sistema de climatização existente suporta a adição dessa carga térmica. Após a consolidação dos novos sistemas, verifica-se a viabilidade técnica e economia das modificações propostas. Os resultados mostram que os novos sistemas geram uma redução no consumo de energia elétrica de 59,85%, o que representa 6.608,52 kWh ao mês ou 80,40 MWh ao ano. Além disso, constata-se que o novo sistema de iluminação gera uma economia de 44,48% nos custos de energia elétrica. Considerando também os custos dos equipamentos, essa economia passa a ser de 43,09%, ou R\$2.508.032,13 considerando os trinta anos de concessão. Assim, conclui-se que há grande potencial de redução no consumo de energia elétrica em subestações antigas ou com critérios de projetos ultrapassados.

PALAVRAS-CHAVE: energia elétrica, sistema de exaustão, sistema de iluminação, subestação.

SILVA, M. V. da. **Energy Efficiency in Auxiliary Services and Lighting of Substations**. 2022. 35 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

This work aims to analyze the application of energy efficiency in substations, since this is an old sector where energy efficiency is poorly explored. Three auxiliary systems of a 230/69 kV substation located in Rio Grande do Sul are evaluated: lighting, air conditioning and exhaust. First, a diagnosis of the present situation is made with a survey of the installed equipment and its electric powers. The lighting system is modeled and simulated in the DIALux software to obtain the present lighting levels. With this, equipment with lower powers and that supply the same demand are chosen and, later, the new lighting system is simulated in DIALux. Afterwards, the possibility of removing the exhaust system by replacing ventilated batteries with VRLA batteries is evaluated and, with this, it is verified whether the existing air conditioning system supports the addition of this thermal load. After the consolidation of the new systems, the technical and economical feasibility of the proposed modifications are verified. The results show that the new systems generate a reduction in electricity consumption of 59.85%, which represents 6,608.52 kWh per month or 80.40 MWh per year. In addition, it is verified that the new lighting system generates savings of 44.48% in electricity costs. Also considering the costs of equipment, this savings is now 43.09%, or R\$2,508,032.13 considering the 30-year concession period. Thus, it is concluded that there is great potential for reducing electricity consumption in old substations or with outdated design criteria.

KEYWORDS: electric power, exhaust system, lighting system, substation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1	Classificação das subestações de potência	2
2.2	Serviços auxiliares das subestações.....	2
2.2.1	Serviços auxiliares em corrente alternada	3
2.2.2	Serviços auxiliares em corrente contínua	3
2.3	Conceitos luminotécnicos.....	3
2.3.1	Luz.....	3
2.3.2	Fluxo luminoso.....	3
2.3.3	Iluminância ou nível de iluminação	3
2.3.4	Intensidade luminosa.....	4
2.3.5	Luminância.....	4
2.3.6	Curva de distribuição luminosa	4
2.3.7	Eficiência luminosa	4
2.3.8	Vida útil.....	4
2.3.9	Rendimento da luminária	4
3	METODOLOGIA	4
3.1	Subestação	5
3.2	Diagnóstico da situação atual	6
3.2.1	Sistema de Iluminação.....	6
3.2.2	Sistema de Climatização.....	6
3.2.3	Sistema de Exaustão.....	7
3.3	Simulação do sistema de iluminação.....	7
3.4	Tecnologias aplicáveis.....	7
3.4.1	Iluminação	7
3.4.2	Climatização.....	8
3.4.3	Exaustão e baterias	8
3.5	Comparação dos dois cenários	8
3.6	Análise financeira.....	8
4	ESTUDO DE CASO E RESULTADOS	9
4.1	Levantamento da situação atual.....	9
4.2	Simulação do sistema de iluminação atual	10
4.3	Simulação do novo sistema de iluminação.....	12
4.3.1	Iluminação de pátio	13
4.3.2	Iluminação da Casa de Comando	16
4.4	Sistema de exaustão.....	17

4.5	Sistema de climatização	17
4.6	Comparação dos dois cenários	18
4.7	Análise financeira.....	20
5	CONCLUSÕES.....	23
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
	ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO SALA 230 KV ...	26
	APÊNDICE A – LEVANTAMENTO FINANCEIRO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL.	27
	APÊNDICE B – LEVANTAMENTO FINANCEIRO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NOVO ...	28

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica (EE) é fundamental para o funcionamento da sociedade moderna e, constantemente, sua demanda aumenta. A matriz energética brasileira é predominantemente composta por geração hidráulica e, portanto, a água é um dos principais bens para o bom funcionamento do setor elétrico. Desde 2020, o Brasil enfrenta uma forte crise hídrica com consequente diminuição do nível dos reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN), o que aumenta a necessidade de gerar energia através de fontes não hídricas, como as termelétricas. Diante desse cenário, ações que buscam a eficiência energética são primordiais para a redução do desperdício e necessidade de utilização de combustíveis fósseis.

Um setor em que a eficiência energética é pouco explorada é o de subestações. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2018, existiam 576 subestações de transmissão, 5775 subestações de distribuição e 4905 subestações de geração em operação no Brasil (Acesso à Informação, 2022). Além disso, segundo o Plano da Operação Energética do Operador Nacional do Sistema (ONS), estima-se que haja um crescimento médio anual da carga do SIN de 3,4% entre 2021 e 2025 (ONS, 2021). Essa projeção faz com que seja sempre necessária a implementação de novas subestações para assegurar um funcionamento seguro e eficiente do sistema, atendendo à demanda requerida. Por ser um setor relativamente antigo, com as primeiras subestações datadas do início do século XX, muitas dessas instalações utilizam equipamentos de baixa eficiência nos serviços auxiliares e muitas companhias de energia elétrica ainda utilizam um padrão de projeto antigo, sem a consideração de novas tecnologias. Um exemplo é a extinta Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT), cuja especificação técnica “Critérios de Projetos Executivos” (CEEE-GT, 2019) exige a utilização de lâmpadas fluorescentes em casas ou guaritas e lâmpadas de vapor de sódio no pátio da subestação. Portanto, considerando o grande número de instalações e equipamentos, o setor possui grande potencial de economia energética para o país.

Kansara (2017) analisou alternativas de conservação de EE em uma subestação de 400kV localizada em Rajasthan, na Índia. Sua pesquisa avalia duas opções: substituir a iluminação convencional por iluminação LED e atender a iluminação e cargas em corrente contínua utilizando energia solar ao invés de energia auxiliar da subestação. O estudo conclui que a utilização de iluminação LED representa uma redução de 25% no consumo de energia elétrica e, como a geração fotovoltaica complementa o consumo já reduzido, é possível suprir uma carga em corrente contínua adicional se necessário.

Em seu trabalho, Dias (1996) analisou aspectos no dimensionamento de equipamentos e sistemas em subestações de forma a implementar a eficiência energética. Assim, apresenta o dimensionamento de vários itens que compõem uma subestação, como barramentos, proteção e sistemas auxiliares. Para avaliar as consequências da implementação de eficiência energética no setor, o trabalho apresenta um exemplo de gestão de energia em uma subestação típica no Rio Grande do Sul. Presumiu-se que essa instalação fosse composta de 30 luminárias, 24 resistores de aquecimento de 150W e 20 resistores de 50W. Além disso, Dias considerou que os equipamentos principais da subestação foram selecionados utilizando a tecnologia mais recente disponível no momento da elaboração da dissertação. Assim, a análise constatou que com gestão adequada, procedimentos simples e aproveitamento da tecnologia disponível é possível obter uma redução de consumo de 52 MWh por ano (cerca de 60% do consumo atual), o que representa uma economia de R\$ 5.196,60.

Dentro desse contexto, esse trabalho tem como objetivo analisar oportunidades de aplicação de eficiência energética dentro de subestações, buscando conservação de EE. Considerando-se instalações antigas, analisa-se aspectos relacionados aos serviços auxiliares, como sistemas de exaustão e sistemas de climatização, e a iluminação do prédio e do pátio da subestação. Dessa forma, faz-se um estudo de caso com instalações de uma subestação de transmissão 230/69kV situada no Rio Grande do Sul, visando reduzir o consumo de EE. Além disso, realiza-se uma análise financeira para constatar se as alterações são viáveis economicamente. Assim, projetos para novas subestações podem prever novas tecnologias, desenvolvendo subestações modernas e eficientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Subestações de energia elétrica (SE) são definidas como parte de um sistema de potência, compreendendo as extremidades de linhas de transmissão e/ou de distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, construções civis, transformadores, equipamentos conversores e outros equipamentos, de acordo com a NBR 5460:1992. Essas instalações são fundamentais na operação do sistema, pois interligam sistemas de transmissão e distribuição, além de permitir a conexão de unidades consumidoras.

Para o pleno entendimento do trabalho é importante compreender alguns conceitos. Para tanto, essa seção apresenta a classificação das SEs, que podem ser classificadas em elevadora, abaixadora, de distribuição, de manobra, conversora, industrial e móvel, a divisão dos serviços auxiliares em corrente alternada e contínua, e conceitos luminotécnicos fundamentais.

2.1 Classificação das subestações de potência

Segundo Mamede Filho (2020) as subestações podem ser divididas em sete categorias. São essas: subestação elevadora, abaixadora, de distribuição, de manobra, conversora, industrial e móvel.

As subestações elevadoras são aquelas que elevam o nível de tensão gerado por uma fonte de energia elétrica e distribuem a potência associada à uma ou mais linhas de transmissão com tensão mais elevada do que a de origem. Ou seja, são as subestações presentes na saída de usinas e centros de geração de energia elétrica.

A subestação abaixadora é aquela que reduz o nível de tensão gerado por uma fonte de energia elétrica e distribui a potência associada às redes de distribuição aéreas e subterrâneas, alimentando subestações com menor nível de tensão. São normalmente alimentadas por linhas de transmissão de 230 a 550 kV e são construídas na periferia dos centros urbanos, de modo a evitar que as linhas de transmissão de tensões elevadas sejam construídas no espaço urbano, já que essas demandam maior faixa de servidão.

SEs de distribuição são aquelas destinadas a reduzir o nível de tensão para atender às necessidades das áreas de concessão de uma determinada região. Ou seja, são instaladas para distribuir a energia elétrica para os transformadores de distribuição ou para as unidades consumidoras de médio porte. São construídas próximas aos centros de carga.

Subestações de manobra são utilizadas para modificar a configuração de um sistema elétrico, mediante o chaveamento das linhas de transmissão. A SE conversora realiza a conversão de corrente contínua para alternada e vice-versa. Uma subestação industrial é aquela que é suprida por alimentadores de uma rede de distribuição pública ou por linhas de transmissão, reduzindo a tensão de alimentação a valores compatíveis com as tensões de utilização da indústria. Por fim, subestações móveis são montadas sobre veículos e são utilizadas em emergências, como, por exemplo, quando ocorre falha em um transformador de potência (MAMEDE FILHO, 2020).

Os diversos tipos de SEs podem integrar, ainda, o sistema de transmissão ou o de distribuição. As subestações de transmissão são aquelas localizadas longe dos centros urbanos, próximo aos pontos de conexão com geradores, consumidores e distribuidoras. Nos pontos de conexão com geradores, a função das subestações é elevar o nível de tensão para diminuir as perdas elétricas. Já nos pontos de conexão com consumidores ou distribuidoras, a função das SEs de transmissão é rebaixar os níveis de tensão. As subestações de distribuição recebem a energia elétrica proveniente de redes de transmissão em alta tensão e, portanto, realizam o rebaixamento do nível de tensão a valores caracterizados como média tensão. Essas SEs estão localizadas próximo aos centros urbanos (ABRADEE, 2021).

2.2 Serviços auxiliares das subestações

Subestações que integram sistemas de potência em Alta e Extra Alta Tensão necessitam, também, de tensões reduzidas para atender as necessidades da própria instalação, como: iluminação, equipamentos de controle e comando, motores de equipamentos e sistemas de refrigeração. Assim, deve-se instalar sistemas auxiliares para alimentação desses conjuntos.

Os serviços auxiliares são divididos em corrente alternada e em corrente contínua. As cargas em corrente alternada são provenientes dos sistemas de iluminação, refrigeração, aquecimento e motores. Os serviços auxiliares em corrente contínua alimentam os sistemas de telecomunicação, proteção, supervisão e controle. Devido à confiabilidade desejada para alimentação das cargas elétricas, pode-se adotar fontes

dependentes ou independentes do próprio sistema de transmissão. Em uma subestação, existem os seguintes pontos de consumo:

a) Equipamentos de comando ou de controle dos módulos de alta tensão: dispositivos de proteção; dispositivos de automatismo; dispositivos auxiliares de comando e controle; dispositivos de sinalização de defeitos e de informação.

b) Dispositivos auxiliares dos equipamentos de alta tensão: sistema motorizado de operação dos disjuntores e chaves seccionadoras; motores auxiliares de transformadores (comutadores em carga, moto bombas, moto-ventiladores dos circuitos de refrigeração, entre outros); circuitos de aquecimento dos painéis, cubículos e equipamentos instalados ao tempo.

c) Equipamentos auxiliares: estações centrais de ar comprimido; estações de tratamento de óleo; equipamentos de telemedicação, telecomando e teleproteção; retificadores; máquinas de oficinas de manutenção e reparo; pontes rolantes similares; iluminação das instalações internas (casa de comando, residência de operadores, cabanas de relés, guaritas); iluminação das áreas externas e refrigeração de ambientes (DIAS, 1996).

2.2.1 Serviços auxiliares em corrente alternada

Em um projeto de subestação é desejável a utilização de pelo menos duas fontes de tensão independentes entre si, de modo a manter a continuidade de alimentação no caso de perda de uma das fontes. Assim, utiliza-se alternativas que combinam fontes dependentes e independentes do sistema elétrico de potência.

As fontes dependentes, por disponibilidade no local, são derivadas do sistema de transmissão. A alimentação dos serviços auxiliares pode ser realizada a partir do terciário do transformador de potência, do secundário do transformador de subtransmissão ou através de um transformador para serviços auxiliares. A alimentação dos serviços auxiliares em corrente alternada a partir de fontes independentes do sistema de potência se dá através de a fonte externa proveniente da distribuidora local.

Além disso, em caso de falta de tensão nas duas fontes de alimentação, deve-se ter um grupo motor-gerador capaz de alimentar as cargas necessárias para iniciar o processo de recomposição da subestação, em caso de seu desligamento total ou parcial. (ONS, 2022) (IEEE, 2017).

2.2.2 Serviços auxiliares em corrente contínua

No caso de serviços auxiliares em corrente contínua, o suprimento é feito através de conjuntos de retificadores com bancos de baterias. Usualmente, o sistema retificador-bateria é duplicado. Dessa forma, como em corrente alternada, o sistema é alimentado por duas fontes de tensão independentes entre si, possibilitando o constante fornecimento aos serviços auxiliares (ONS, 2022) (IEEE, 2017).

2.3 Conceitos luminotécnicos

Luminotécnica é o estudo da aplicação de iluminação artificial em espaços internos ou externos. Para realizar um estudo luminotécnico é necessário compreender os conceitos e grandezas que fundamentam as análises. As definições apresentadas foram baseadas na NBR ISO/CIE 8995-1 e pelas informações técnicas disponibilizadas pelos fabricantes LEDSTAR e Lumicenter (LEDSTAR, 2020) (LUMICENTER, 2017).

2.3.1 Luz

A luz é a energia emitida por fontes luminosas, propagada na forma de ondas eletromagnéticas, capaz de produzir estímulo visual.

2.3.2 Fluxo luminoso

O fluxo luminoso é a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa. Sua unidade é lúmen (lm).

2.3.3 Iluminância ou nível de iluminamento

Corresponde ao fluxo luminoso que incide sobre uma superfície distante da fonte luminosa, ou seja, é a quantidade de luz que chega a determinado ponto. Esta relação é dada entre o fluxo luminoso e o quadrado da distância, e sua unidade é lux (lx).

2.3.4 Intensidade luminosa

É a potência da radiação luminosa em uma determinada direção. A intensidade luminosa é expressa em candelas (cd).

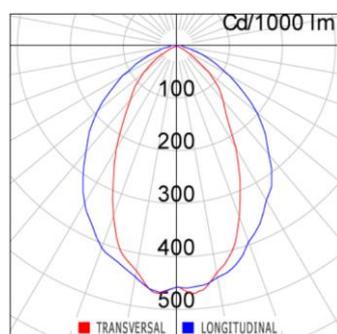
2.3.5 Luminância

Luminância é a intensidade luminosa de uma fonte de luz produzida ou refletida por uma superfície iluminada. Assim, a luminância depende do nível de iluminação e das características de reflexão das superfícies. Esta relação é dada entre candelas e metro quadrado da área aparente (cd/m^2).

2.3.6 Curva de distribuição luminosa

A distribuição espacial da intensidade luminosa de uma fonte é definida como o formato da distribuição luminosa em uma superfície. A curva de distribuição luminosa apresenta a distribuição em diferentes planos e indica se a fonte possui uma distribuição de luz concentrada, difusa, simétrica ou assimétrica. A Figura 2.1 apresenta um exemplo de curva de distribuição luminosa.

Figura 2.1 - Exemplo de curva de distribuição luminosa.



Fonte: Lumicenter.

2.3.7 Eficiência luminosa

Corresponde à relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida (potência). Sendo assim, é expressa em lm/W .

2.3.8 Vida útil

É o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada.

2.3.9 Rendimento da luminária

O rendimento da luminária é dado pela relação entre fluxo luminoso emitido pela luminária em funcionamento e o fluxo luminoso da lâmpada que está dentro da luminária. Ou seja, quantifica as perdas que a luminária representa para o fluxo total emitido por uma fonte luminosa, devido à absorção, reflexão e ou outro fenômeno resultante dos materiais utilizados na confecção da luminária.

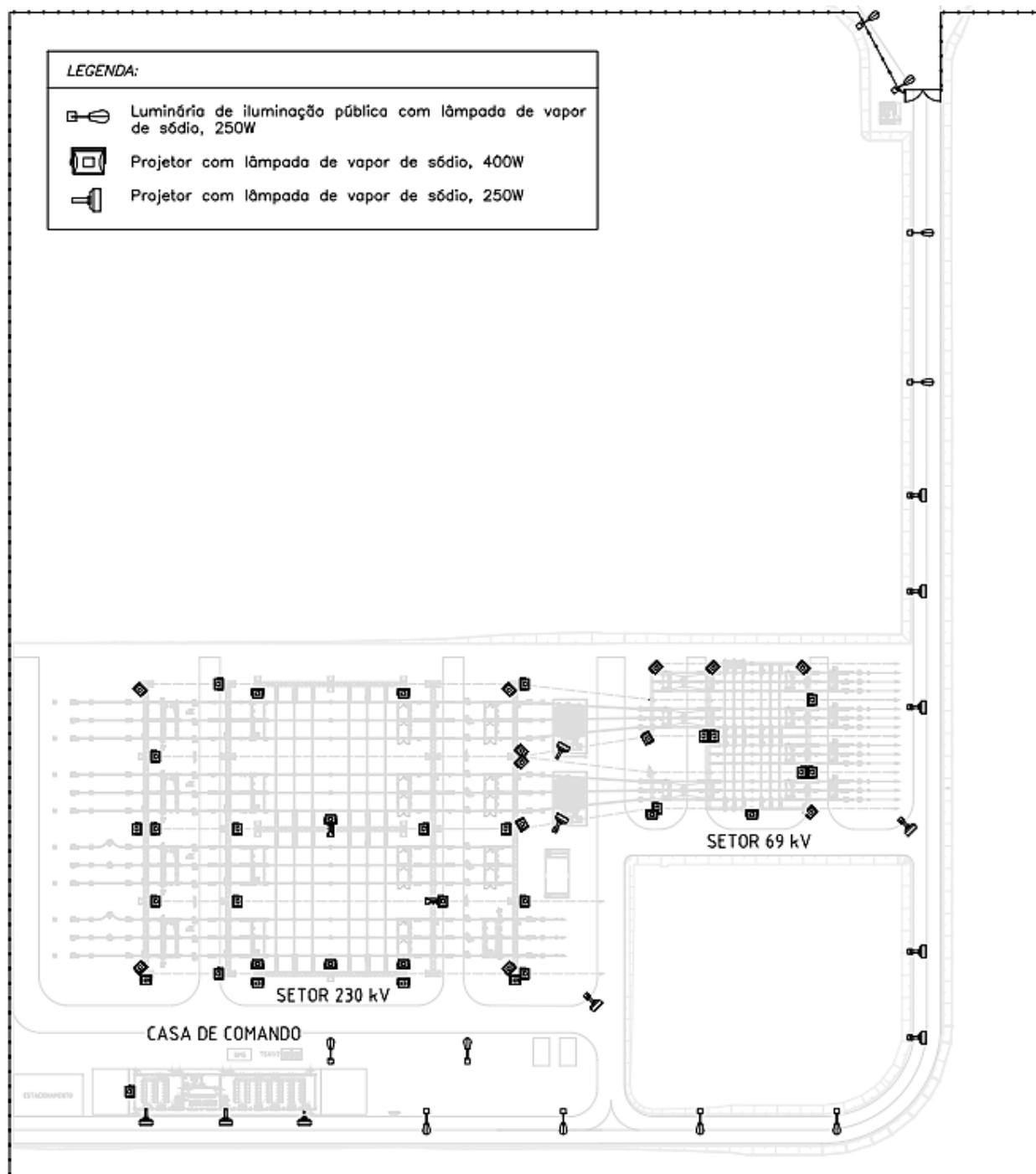
3 METODOLOGIA

Esta seção detalha a metodologia utilizada para avaliar o consumo energético nos serviços auxiliares de uma subestação e as possíveis alterações visando a economia de energia elétrica. Inicialmente, realiza-se o diagnóstico da situação atual a partir de dados coletados. Em seguida, simula-se o sistema de iluminação para obter os níveis de iluminação atuais. Após, analisa-se os dados e identifica-se equipamentos que podem ser substituídos por tecnologias mais eficientes. Na sequência, equipamentos mais eficientes e que suprem a mesma demanda são selecionados. Por fim, as mudanças são aplicadas em simulações e análises, e, assim, os dois cenários são comparados em termos de consumo energético para constatar as consequências dessa mudança. Após os novos sistemas consolidados, faz-se uma análise financeira comparando os dois cenários.

3.1 Subestação

Para uma análise realista e aplicável, foi obtido acesso ao projeto de uma subestação 230/69kV situada no Rio Grande do Sul. Os serviços auxiliares da SE são alimentados através de conjuntos bateria-retificador, do terciário do transformador de força e de fonte externa proveniente da distribuidora local. A SE possui 68 projetores de pátio, que são estrategicamente posicionados de modo a iluminar arruamentos, equipamentos, estruturas e edificações. A Figura 3.1 apresenta o projeto de iluminação de pátio da subestação em questão.

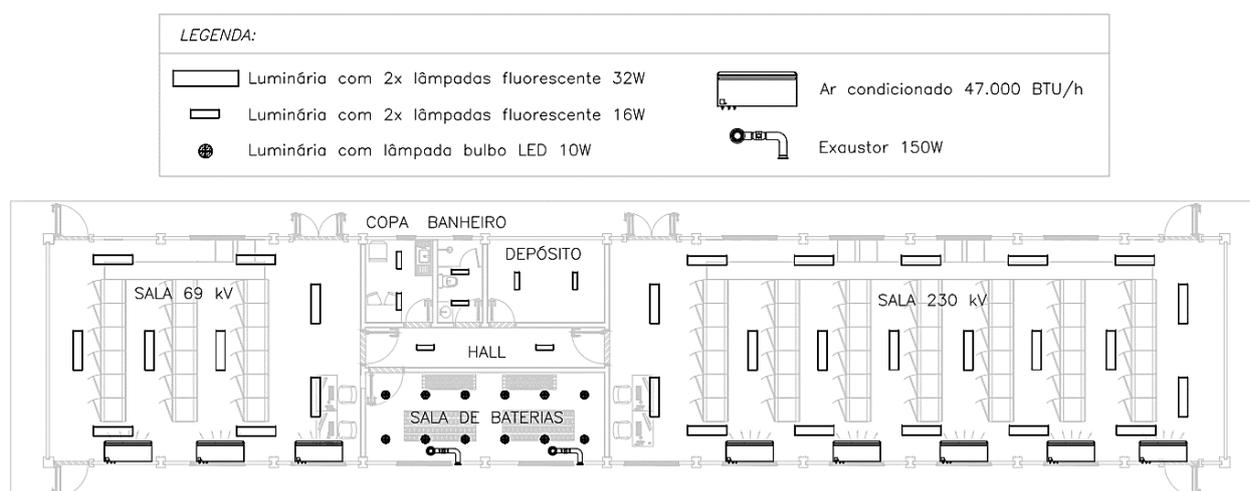
Figura 3.1 - Projeto de iluminação de pátio da SE.



Fonte: Autor.

Além disso, pode-se analisar a casa de comando presente na subestação. A Casa de Comando (ou Controle) é o local onde são instalados os painéis de proteção, controle e supervisão, quadros de distribuição de serviços auxiliares CA e CC, bancos de baterias e carregadores, painéis de interface, de teleproteção e equipamentos de telecomunicações. Ou seja, é o local que concentra o controle e alimentação dos sistemas auxiliares necessários na SE. A Figura 3.2 apresenta a planta de iluminação e climatização da casa de comando presente na subestação.

Figura 3.2 - Projeto de iluminação e climatização da casa de comando.



Fonte: Autor.

De posse desses projetos é possível levantar os dados necessários para a avaliação de economia de energia elétrica.

3.2 Diagnóstico da situação atual

Em primeiro lugar, é estabelecido um diagnóstico da situação atual. Deve-se identificar todos os equipamentos consumidores de EE presentes nos serviços auxiliares da SE. Os sistemas passíveis de análise são: iluminação, climatização e exaustão.

3.2.1 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação está presente em duas áreas dentro de uma subestação: no pátio e na Casa de Comando. A iluminação de pátio é instalada de modo a iluminar todo o pátio, com foco em arruamentos, equipamentos e estruturas. Os projetores podem ser instalados nas mais diversas alturas, dependendo da região a ser iluminada. De maneira geral, as concessionárias adotam um nível de iluminamento nas áreas dos transformadores de força, seccionadores e disjuntores de 20 lx, 10 lx nos acessos às edificações e no entorno das mesmas, e 5 lx nas circulações secundárias e demais áreas, visto que não existe uma normativa que especifique valores a serem adotados para essa aplicação.

O sistema utilizado na Casa de Comando deve seguir os critérios especificados na NBR ISO 8995:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho, que define cargas mínimas para cada cômodo. Além disso, deve-se observar os padrões da transmissora. Por exemplo, o nível de iluminamento da Sala de Comando pode variar de 300 a 500 lx, dependendo do agente local. O sistema de iluminação da Casa de Comando deve ser instalado de forma a respeitar os níveis de iluminamento em mesas, painéis, baterias, equipamentos e outras superfícies de trabalho. Deve ser previsto um sistema de iluminação normal em corrente alternada e de emergência em corrente contínua, além de arandelas nas paredes externas para iluminação do entorno da casa.

3.2.2 Sistema de Climatização

O sistema de climatização é utilizado na Casa de Comando e é composto por condicionadores de ar, em geral do tipo *Split*. O sistema é instalado na Sala de Controle ou Sala de Painéis. Para o

dimensionamento deve ser considerado a ocupação total da Sala de Controle, incluindo a previsão de instalação dos painéis futuros.

3.2.3 Sistema de Exaustão

O sistema de exaustão está presente na Sala de Baterias na Casa de Comando e é necessário caso a instalação utilize baterias chumbo-ácido de tipo ventiladas. Esse tipo de bateria possui tampas de exaustão expostas na parte superior do vaso, cuja função é permitir a fuga de gases formados quando a bateria está carregando. Durante seu tempo em operação, a bateria ventilada tem parte da sua água reduzida devido à evaporação. Portanto, a válvula de liberação de pressão permite que os gases hidrogênio e oxigênio produzidos durante sua operação normal sejam liberados na atmosfera para evitar a ruptura do invólucro da célula.

Por ser um local sujeito à formação de uma atmosfera explosiva, pela presença de gases combustíveis, deve ter características específicas, por exemplo: utilizar equipamentos a prova de explosão, como luminárias blindadas, interruptor de iluminação e pontos de tomadas situados fora da sala, ar emitido deve ser transportado para a parte externa do edifício. Pela necessidade de transportar o ar potencialmente explosivo para o ambiente externo são utilizados dois exaustores redundantes à prova de explosão. Os exaustores devem estar localizados na parte alta da parede e devem ser dimensionados em número de trocas de ar por hora, compatível com as emissões do sistema de baterias instalado na pior situação de recarga (CEEE-GT, 2019).

3.3 Simulação do sistema de iluminação

Para verificar os atuais níveis de iluminamento da Casa de Comando e do pátio da subestação, utiliza-se o *software* DIALux evo 10.1. O DIALux é um *software* de simulação computacional para análise de projetos luminotécnicos, tanto para ambientes externos quanto internos. Para a simulação, deve-se modelar toda a subestação, incluindo equipamentos de pátio e móveis da casa, de modo a tornar a simulação o mais realista possível. Com os sólidos modelados, deve-se posicionar as luminárias nos locais desejados. Entretanto, precisa-se importar as luminárias e projetores corretos. Para isso, deve-se acessar o *site* do fabricante e realizar o *download* do arquivo IES. Esse arquivo é desenvolvido pelos fabricantes para cada luminária específica e contém todas as informações necessárias para a simulação de um projeto luminotécnico: fluxo luminoso, distribuição luminosa, eficiência luminosa, rendimento da luminária, além de outras informações relevantes. Assim, com os sólidos modelados e as luminárias e projetores posicionados, pode-se realizar a simulação. O DIALux apresenta os níveis de iluminamento através de curvas isolux nos ambientes. Considera-se um plano de trabalho de 0,8 metros. Posteriormente, o DIALux também é utilizado para simular o novo sistema de iluminação (DIALUX, 2022).

3.4 Tecnologias aplicáveis

Com a situação atual da SE mapeada, a próxima etapa consiste em identificar equipamentos e sistemas mais eficientes.

3.4.1 Iluminação

Existem diversas tecnologias disponíveis para empregar em um sistema de iluminação. As lâmpadas são divididas em incandescentes, de descarga e LED. A lâmpada é o equipamento responsável pela emissão de luz, seja qual for a natureza dessa emissão, aquecimento ou descarga elétrica.

3.4.1.1 Lâmpadas Incandescentes

O funcionamento da lâmpada incandescente se dá pela passagem de corrente elétrica por um filamento. A passagem da corrente aquece o filamento e com isso há emissão de luz. Essa tecnologia permite uma vida útil de 1.000 horas e uma eficiência luminosa (relação entre potência consumida e fluxo luminoso emitido) de até 15 lm/W.

3.4.1.2 Lâmpadas de descarga

Esse tipo de lâmpada possui internamente uma mistura gasosa de gases inertes e vapores metálicos que, a partir de uma descarga elétrica, produz luz pela radiação emitida. A mistura gasosa se encontra em um invólucro translúcido com eletrodos em suas extremidades, formando a interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação. Necessitam de reator para limitar e estabilizar a corrente elétrica para correto funcionamento da lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes tubulares emitem radiação quase totalmente ultravioleta que é convertida em luz visível pelo pó fluorescente presente no bulbo. Possuem eficiência luminosa de 40 a 100 lm/W. Já as fluorescentes compactas possuem tamanho reduzido e reator incorporado, consumindo menos energia.

Lâmpadas de vapor de mercúrio possuem eficiência de até 50 lm/W, com uma vida útil de 10.000 horas. As de vapor de sódio de alta pressão são mais eficientes (até 130 lm/W) com vida útil de até 20.000 horas.

3.4.1.3 Lâmpadas LED

LED (diodo emissor de luz) é um tipo de diodo formado por uma junção P-N que, quando atravessado por uma corrente elétrica em determinado sentido, emite luz. Essa corrente faz com que ocorra movimento dos elétrons livre e consequente liberação de fótons. Os LEDs são fabricados para liberar grandes números de fótons e, devido aos bulbos de plástico, a luz é emitida em uma direção específica. Lâmpadas LED possuem vida útil de até 70.000 horas e são altamente eficientes. Sua eficiência luminosa é em torno de 150 lm/W.

3.4.2 Climatização

O sistema de climatização pode ser dimensionado através da NBR 16401:2008 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, a qual possui três volumes. A norma apresenta os parâmetros técnicos básicos para a instalação de ar-condicionado do tipo *Split*, como dados climáticos, cálculo de carga térmica e dimensionamento de tubulações e dutos.

3.4.3 Exaustão e baterias

O sistema de exaustão depende diretamente do tipo de bateria utilizado no local. Os tipos de baterias utilizados em subestações são: baterias de tipo ventiladas e baterias de tipo regulada por válvula VRLA (IEEE, 2017).

Como citado anteriormente, as baterias de tipo ventiladas produzem gases combustíveis durante sua operação e devem ser instaladas na posição para a qual foram projetadas, pois ocorre vazamento de ácido se não for posicionada corretamente. Essa tecnologia de bateria exige um sistema de exaustão para transportar os gases para o ambiente externo. Assim, dois exaustores redundantes à prova de explosão devem ser instalados. Os exaustores devem ser dimensionados em número de trocas de ar por hora compatível com as emissões do sistema de baterias instalado na pior situação de recarga.

Já a bateria regulada por válvula é um tipo de bateria que não emite gases durante a sua operação normal e pode ser transportada e usada em quase qualquer posição sem que haja risco de vazamento de seu eletrólito. O uso de válvulas de regulação de pressão e dispositivos internos faz com que a bateria recombinde os gases gerados internamente, impedindo a emissão e eliminando o perigo de explosão em condições normais de trabalho. Devido a essa vantagem, uma sala com baterias VRLA não necessita de um sistema de exaustão. Entretanto, necessita-se de aparelhos de ar-condicionado para refrigeração do local, com opção de renovação de ar com o exterior.

3.5 Comparação dos dois cenários

Após a definição dos novos sistemas, deve-se reunir os dados da SE coletados e os novos equipamentos ou sistemas sugeridos e comparar seu consumo energético. Para calcular a energia elétrica consumida mensalmente por cada equipamento, utiliza-se a Equação 3.1.

$$E = P \cdot t \cdot N \cdot 0,001 \quad (3.1)$$

onde E é a energia consumida por um equipamento em um mês, em kWh, P é a potência do equipamento, em W, t é o tempo de utilização diário do equipamento, em h/dia, e N é o número de dias no mês. A comparação torna-se importante para evidenciar medidas e tecnologias que reduzam o consumo de EE do local, de modo que possam ser previstos em futuras ampliações ou instalações.

3.6 Análise financeira

Com os novos sistemas consolidados, o último passo é analisar financeiramente os dois cenários para verificar se as mudanças de equipamentos e tecnologias são viáveis economicamente. Para tanto,

utiliza-se o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). As tabelas SINAPI são um conjunto de dados técnicos elaborados pela Caixa Econômica Federal em conjunto com o IBGE. O objetivo delas é fornecer referência de preços e custos específicos para cada estado. O valor atribuído a um item corresponde, além do valor do próprio item, aos custos de instalação. Assim, pode-se analisar os dois cenários com dados mais precisos e alinhados à realidade da região (CAIXA, 2022).

Primeiramente é realizado o levantamento dos custos de instalação dos sistemas de cada cenário, através da tabela SINAPI. Após, estima-se o gasto acumulado para os trinta anos de concessão do empreendimento. Por fim, considera-se o subgrupo tarifário, a modalidade tarifária horária e a demanda contratada da SE para determinar o gasto total considerando consumo de energia e implementação dos sistemas. Assim, compara-se o gasto dos dois cenários para constatar se as mudanças são viáveis economicamente.

4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

A subestação utilizada para o estudo de caso foi desenvolvida de acordo com a especificação técnica “Critérios de Projetos Executivos” da CEEE-GT e, portanto, algumas particularidades devem ser destacadas. O documento exige a utilização de lâmpadas fluorescentes em casas, lâmpadas de vapor de sódio no pátio da subestação e lâmpadas de bulbo LED ou incandescentes na Sala de Baterias. Além disso, exaustores devem ser instalados em Salas de Baterias caso o local utilize baterias de tipo ventiladas. Portanto, os projetos de iluminação do pátio e de iluminação e climatização da Casa de Comando foram elaborados seguindo as diretrizes mencionadas.

4.1 Levantamento da situação atual

O sistema de iluminação atual da SE é composto por 49 luminárias na Casa de Comando e 68 projetores no pátio. O Quadro 4.1 apresenta o tipo de projetor ou luminária, de lâmpada, a quantidade, a potência e o local onde está instalada.

Quadro 4.1 – Cenário atual do sistema de iluminação da subestação.

Projetor/luminária	Lâmpada	Quantidade	Potência (W)	Local
Lumicenter CAC01-S232	2x Fluorescente tubular T8	29	2x 66	Sala 230kV e Sala 69kV
Lumicenter FHT07-S214	2x Fluorescente tubular T5	8	2x 33	Copa, banheiro, depósito e hall
Tramontina Arandela 56152011	Bulbo LED	12	10	Sala de Baterias
Beghelli Floodlight 77015	Vapor de sódio	46	445	Setores 230 e 69 kV
Beghelli Floodlight 77014	Vapor de sódio	12	280	Entorno Casa de Comando e arruamento
Beghelli Santo HS1250FGC	Vapor de sódio	10	280	Entorno Casa de Comando e arruamento
Total		117	31.106	-

Fonte: Autor.

É importante destacar que as lâmpadas de vapor de sódio e fluorescentes necessitam de reator, como mencionado anteriormente. Portanto, considerou-se um consumo de 45W para os reatores utilizados para as lâmpadas de vapor de sódio 400W, 30W para as lâmpadas de vapor de sódio 250W, 34W para as lâmpadas fluorescentes T8 e 17W para fluorescentes T5, conforme produtos comercializados pela fabricante Intral. Os valores de potência apresentados no quadro correspondem à soma da potência da lâmpada com a do reator. Diante desse levantamento, constata-se que a potência instalada total de iluminação na subestação é de 31.106 W, sendo 4.476 W para iluminação da Casa de Comando e 26.630 W para iluminação do pátio.

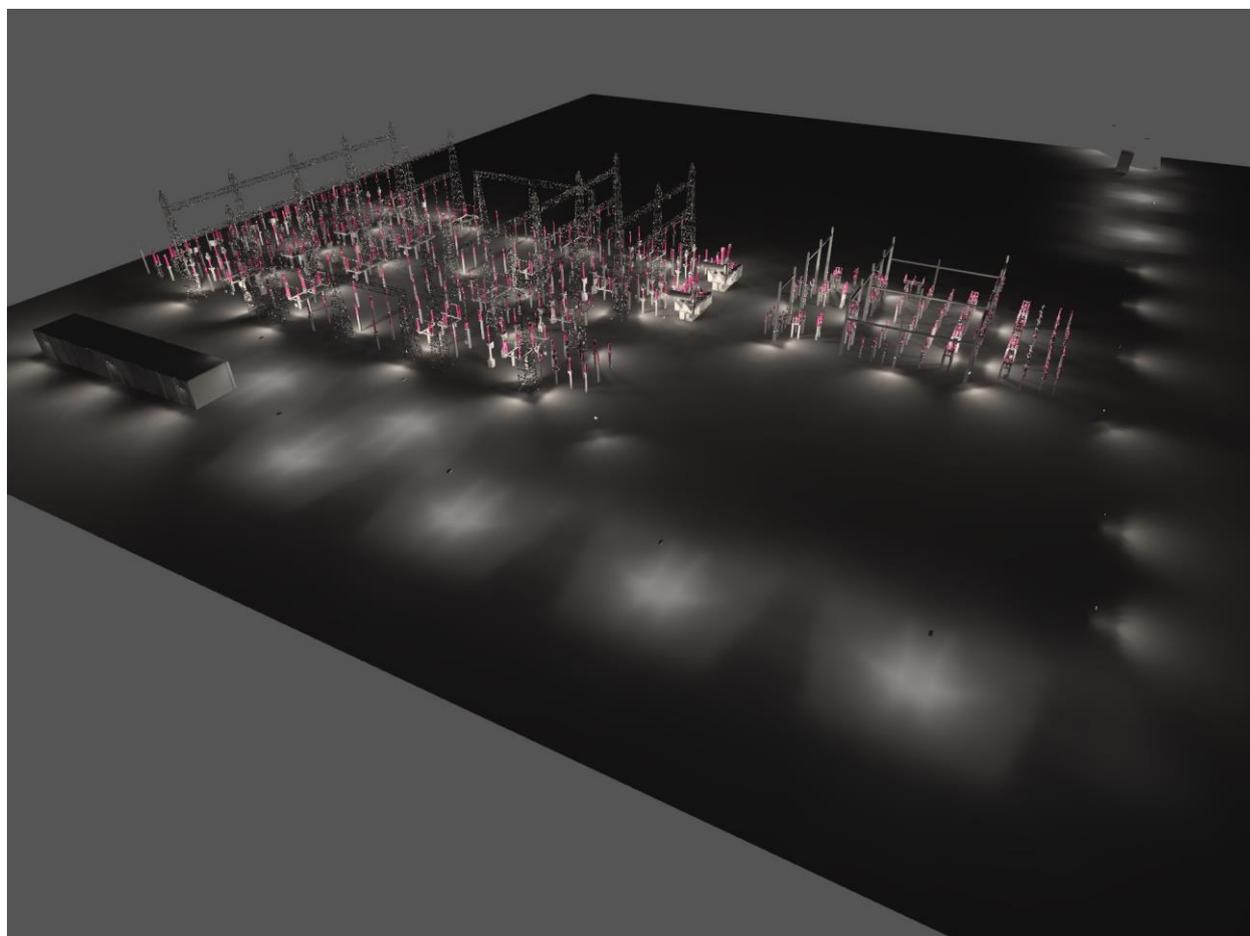
O sistema de climatização é composto por oito condicionadores de ar do tipo *Split* piso teto inverter de 47.000 BTU/h, sendo três situados na Sala 69kV e cinco na Sala 230kV. Um sistema de exaustão é utilizado na Casa de Comando em questão, visto que se utiliza baterias do tipo ventiladas. Esse sistema é composto por dois exaustores com vazão de ar nominal de 120 m³/h de 150W de potência.

Com os sistemas de iluminação, exaustão e climatização averiguados, deve-se propor melhorias visando a economia de energia elétrica.

4.2 Simulação do sistema de iluminação atual

Para verificar as mudanças a serem implementadas no sistema de iluminação se utilizou o DIALux evo 10.1. Primeiramente, modelou-se a SE com os projetores e lâmpadas atuais para obter os perfis de iluminamento gerados pela iluminação atual. As luminárias de iluminação pública Santo HS1250FGC estão instaladas em postes de oito metros de altura, os projetores instalados nas paredes externas da Casa de Comando estão a quatro metros do solo e o restante dos projetores, a dois metros. Essas luminárias possuem grau de proteção IP65, ou seja, são totalmente protegidas contra poeira e jatos de água. A Figura 4.1 apresenta a simulação do sistema de iluminação de pátio atual.

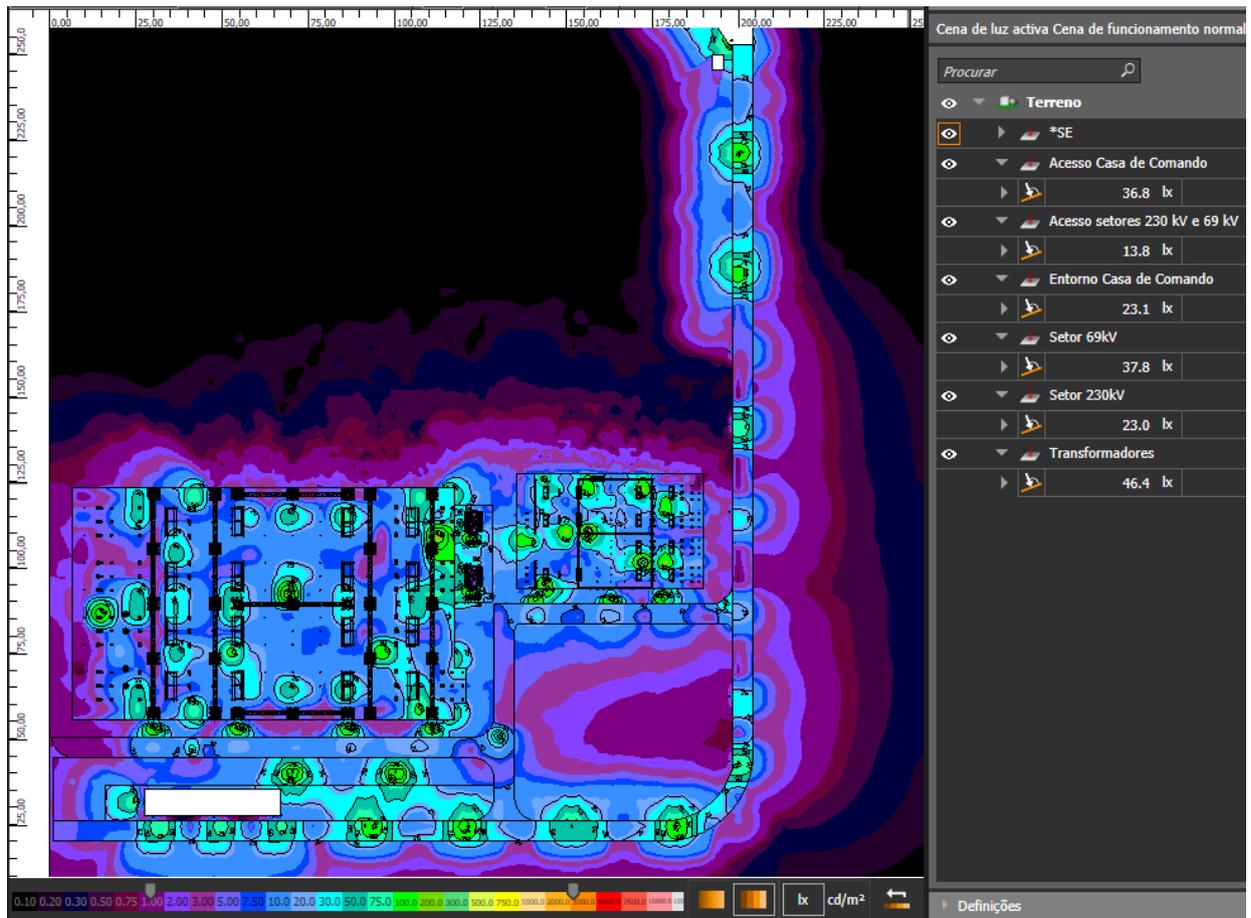
Figura 4.1 - Simulação do atual sistema de iluminação de pátio.



Fonte: Autor.

Seguindo as diretrizes da CEEE-GT, o projeto de iluminação de pátio almejou os níveis de iluminamento mínimos requeridos: 20 lx nas áreas dos transformadores de força, seccionadoras e disjuntores; 10 lx nos acessos às edificações e no entorno das mesmas, e 5 lx nas circulações secundárias e demais áreas. Os níveis de iluminamento gerados pelo sistema podem ser conferidos na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Níveis de iluminação de pátio atuais.



Fonte: Autor.

Para melhor análise dos níveis de iluminação gerados pelo sistema, criou-se seis superfícies de cálculo: Acesso Casa de Comando, que corresponde ao trecho da entrada da SE à Casa; Acesso setores 230 kV e 69 kV, que representa o trecho abaixo da região dos equipamentos; Entorno da Casa, que equivale à região do pátio próxima à Casa; Setor 69 kV, região onde os equipamentos de 69 kV estão instalados; Setor 230 kV, onde os equipamentos de 230 kV estão instalados; e Transformadores, região no entorno dos transformadores de força. Pode-se observar, assim, que o sistema atual atende aos níveis mínimos requeridos pela CEEE-GT.

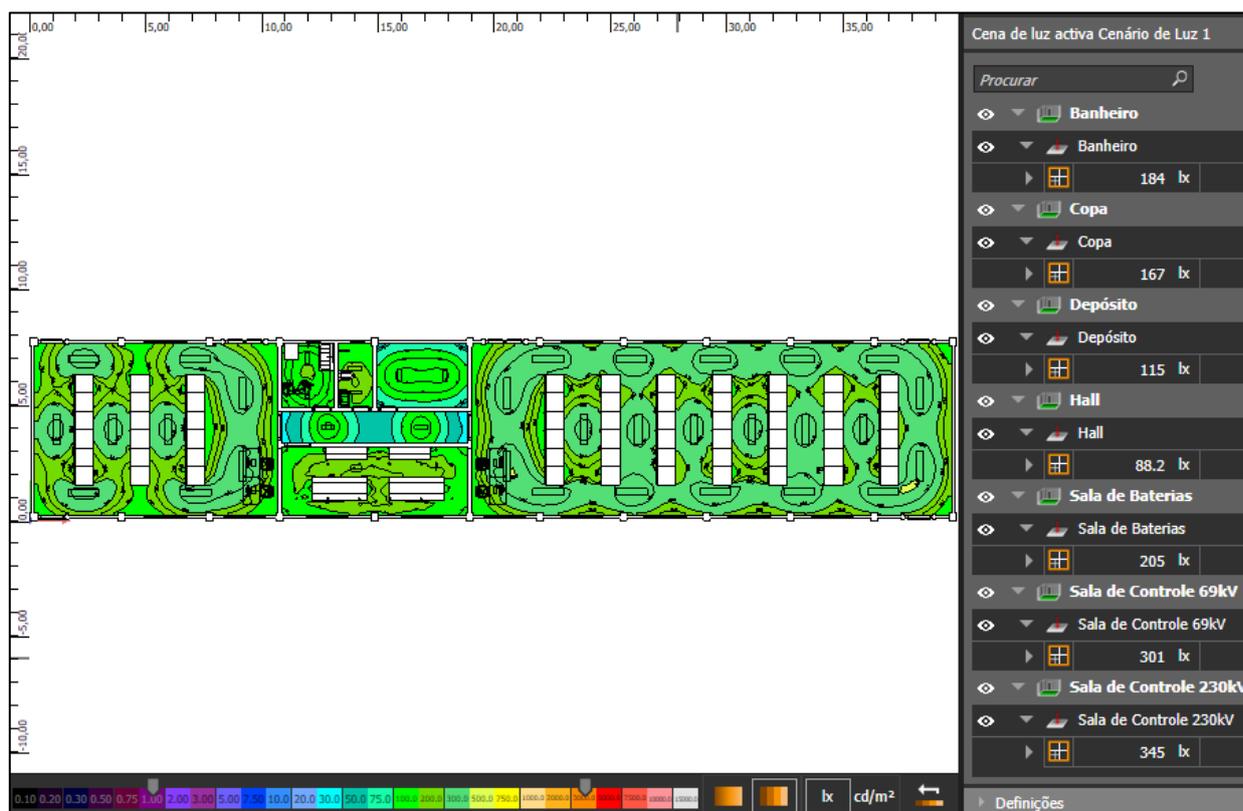
Para o projeto de iluminação da Casa de Comando, necessita-se, no mínimo, 300 lx para salas de controle, 200 lx para salas de baterias, 150 lx para sanitários e cozinhas, e 80 lx para as demais áreas. As luminárias estão instaladas no teto de cada cômodo, ou seja, a três metros do piso. A simulação do sistema de iluminação da Casa de Comando e os níveis de iluminação gerados podem ser conferidos nas Figuras 4.3 e 4.4, respectivamente.

Figura 4.3 - Simulação do atual sistema de iluminação da Casa.



Fonte: Autor.

Figura 4.4 - Níveis de iluminação da Casa atuais.



Fonte: Autor.

Para a Casa de Comando, as superfícies de cálculo correspondem aos cômodos do local: banheiro, copa, depósito, hall, sala de baterias, sala de controle 69 kV e sala de controle 230 kV. Assim como o do pátio, o sistema de iluminação da Casa de Comando atende aos critérios da CEEE-GT.

4.3 Simulação do novo sistema de iluminação

O novo sistema de iluminação deve atender aos níveis de iluminação requeridos, além de promover economia no consumo de energia em relação ao sistema atual. Portanto, deve-se selecionar projetores e luminárias que consumam menos energia e mantenham os níveis de iluminação próximos aos atuais. Para tanto, é necessário atentar ao fluxo luminoso do equipamento, visto que corresponde à luz emitida pela fonte luminosa capaz de produzir estímulo visual. Assim, seleciona-se equipamentos com menores potências, mas que geram um fluxo luminoso semelhante ao atual. Para obter o fluxo luminoso efetivamente produzido pelo conjunto projetor (ou luminária) e lâmpada, precisa-se considerar o rendimento do primeiro e o fluxo luminoso do segundo. O Quadro 4.2 apresenta os equipamentos atuais, seus fluxos luminosos e seus rendimentos.

Quadro 4.2 – Conjuntos, fluxo luminoso e rendimento atuais.

Projektor/luminária	Rendimento da luminária (%)	Lâmpada	Fluxo luminoso da lâmpada (lm)	Fluxo luminoso útil (lm)
Lumicenter CAC01-S232	72,5	Fluorescente tubular T8	5.400	3.915
Lumicenter FHT07-S214	52,6	Fluorescente tubular T5	2.400	1.262
Tramontina Arandela 56152011	100	Bulbo LED	1.018	1.018
Beghelli Floodlight 77015	67,1	Vapor de sódio	48.000	32.208
Beghelli Floodlight 77014	67,1	Vapor de sódio	28.000	18.788
Beghelli Santo HS1250FGC	67,7	Vapor de sódio	32.000	21.664

Fonte: Autor.

Observa-se, portanto, que o modelo de luminária interfere diretamente no fluxo luminoso do conjunto. Isso ocorre, pois as lâmpadas emitem luz para todos os lados e, portanto, parte do fluxo luminoso é perdido por ser projetado para a parte interna da luminária (LEDSTAR, 2020). Assim, deve-se considerar o fluxo luminoso útil para a seleção dos novos projetores e luminárias.

Para os novos componentes do sistema, optou-se por modelos com tecnologia LED, pois possuem maior eficiência luminosa e vida útil, como citado anteriormente. O Quadro 4.3 apresenta as novas luminárias e projetores selecionados com seu fluxo luminoso, comparados aos atuais. Destaca-se que os modelos escolhidos possuem LED integrado, o que elimina as perdas de fluxo luminoso, já que a luminária é desenvolvida para que o fluxo seja totalmente projetado para o ambiente (LEDSTAR, 2020). Além disso, não necessitam de reator, eliminando o consumo gerado por esse equipamento.

Quadro 4.3 – Comparação luminárias e projetores atuais e novos.

Local	Equipamentos atuais	Fluxo luminoso útil (lm)	Potência total (W)	Novos equipamentos selecionados	Fluxo luminoso (lm)	Potência total (W)
Sala 230kV e Sala 69kV	Lumicenter CAC01-S232	3.915	132	Lumicenter EAA08-S3500830	3.825	36
Copa, banheiro, depósito e hall	Lumicenter FHT07-S214	1.262	66	Lumicenter EAN04-S2000840	2.150	18
Sala de Baterias	Tramontina Arandela 56152011	1.018	10	Lumicenter EAN04-S2000840	2.150	18
Setores 230 e 69 kV	Beghelli Floodlight 77015	32.208	445	Intral Ágata LPS-102.10 4E	26.100	180
Entorno Casa de Comando e arruamento	Beghelli Floodlight 77014	18.788	280	Intral Ágata LPS-102.10 3E	19.900	137
Entorno Casa de Comando e arruamento	Beghelli Santo HS1250FGC	21.664	280	Beghelli S250EXLSD	16.900	130

Fonte: Autor.

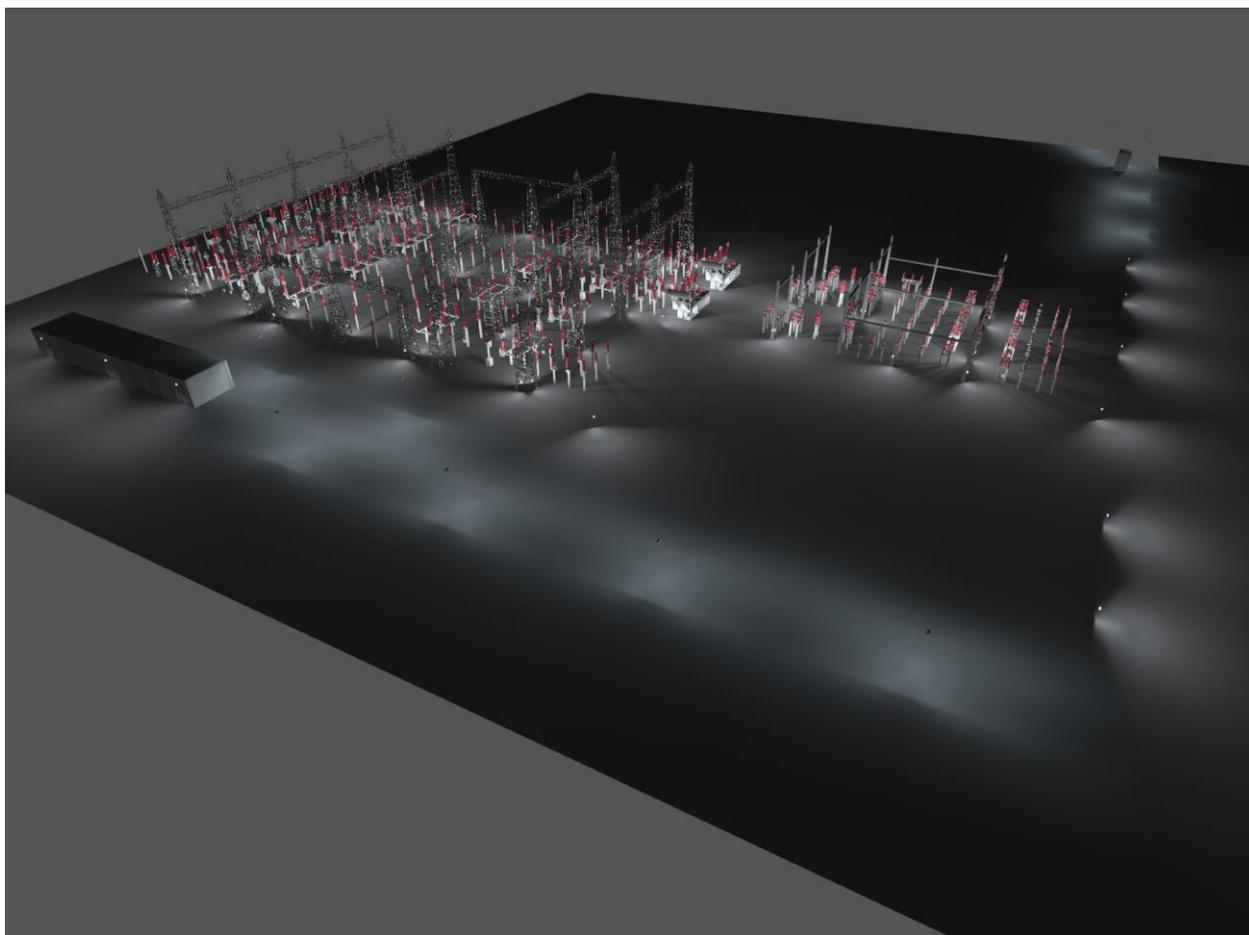
Pode-se observar que todas as novas luminárias e projetores selecionados possuem potência menor que dos equipamentos atuais. Com isso, pode-se simular o novo sistema de iluminação.

4.3.1 Iluminação de pátio

Conforme o Quadro 4.3, para a iluminação de pátio, os projetores Ágata LPS-102.10 4E e LPS-102.10 3E, da marca Intral, e o projetor S250WXLSD, da marca Beghelli, foram selecionados para substituir os projetores Floodlight 77015, Floodlight 77014 e Santo HS1250FGC, da marca Beghelli,

respectivamente. Essas luminárias possuem grau de proteção IP66, ou seja, são totalmente protegidas contra poeira e fortes jatos de água. Na simulação do novo sistema, mantém-se as posições dos projetores originais, visto que esses foram estrategicamente posicionados para iluminar, principalmente, equipamentos de manobra, transformadores de força, arruamento e áreas no entorno da Casa de Comando. A Figura 4.5 apresenta a simulação do sistema de iluminação de pátio com os novos projetores.

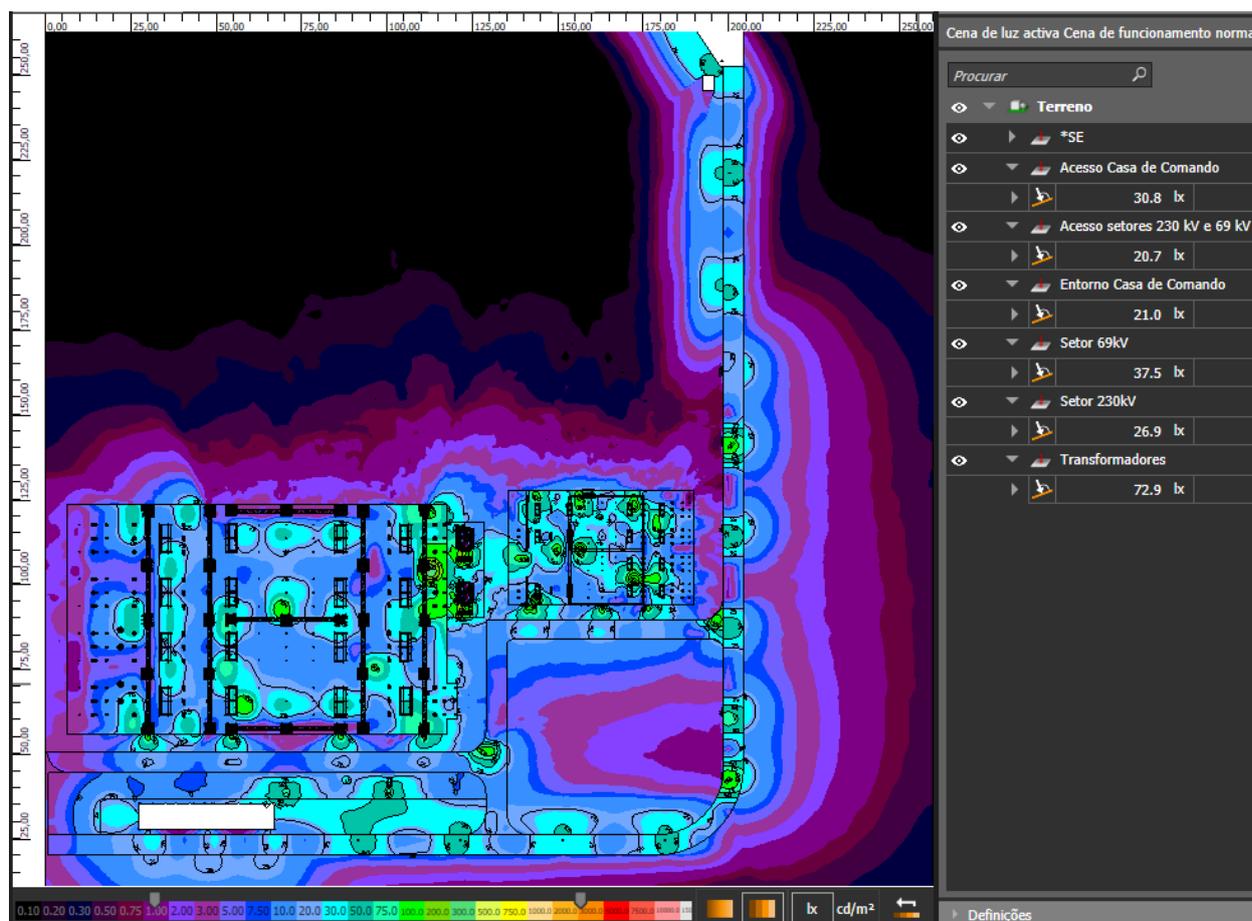
Figura 4.5 - Simulação do novo sistema de iluminação de pátio.



Fonte: Autor.

Para constatar se os projetores selecionados satisfazem os níveis de iluminamento médio mínimos requeridos, deve-se analisar os resultados da simulação. Os níveis de iluminamento gerados pelo novo sistema podem ser conferidos na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Níveis de iluminamento de pátio do novo sistema.



Fonte: Autor.

Através da figura, observa-se que a distribuição luminosa é mais homogênea que do sistema atual, com menos pontos de iluminância acima de 100 lx e abaixo de 5 lx, além de alcançar maiores distâncias. O Quadro 4.4 apresenta uma comparação do nível de iluminamento obtido para cada superfície de cálculo com o sistema atual e o novo.

Quadro 4.4 – Níveis de iluminamento com sistema de pátio atual e novo.

Superfície de cálculo no pátio	Iluminamento médio (lx)		
	Sistema atual	Sistema novo	Mínimo
Acesso Casa de Comando	36,8	30,8	10,0
Acesso setores 230 kV e 69 kV	13,8	20,7	5,0
Entorno da Casa	23,1	21,0	10,0
Setor 69 kV	37,8	37,5	20,0
Setor 230 kV	23,0	26,9	20,0
Transformadores	46,4	72,9	20,0

Fonte: Autor.

Verificando o quadro é possível constatar que o novo sistema atende aos requisitos da CEEE-GT para os quais o sistema atual foi projetado. Além disso, os níveis de iluminamento aumentaram em todos os casos, exceto no setor 69 kV, onde houve um pequeno decréscimo.

4.3.2 Iluminação da Casa de Comando

Para o sistema de iluminação da Casa, a luminária EAA08-S3500830 substitui a CAC01-S232, enquanto a EAN04-S2000840 substitui a FHT07-S214 e a 56152011. Assim como no pátio, o objetivo da simulação é substituir as luminárias mantendo os níveis de iluminamento próximos aos atuais. A Figura 4.7 apresenta a simulação do sistema de iluminação da Casa de Comando com os novos projetores.

Figura 4.7 - Simulação do novo sistema de iluminação da Casa de Comando.

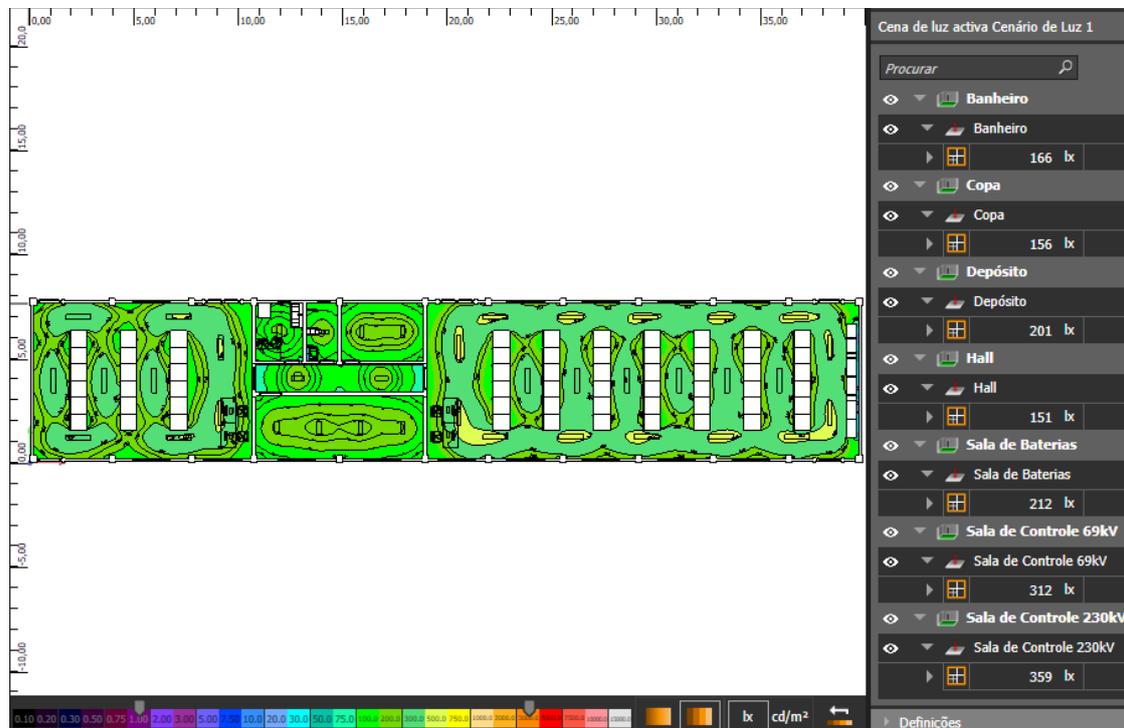


Fonte: Autor.

Analisando a figura, alguns fatos devem ser observados. Para a copa e o banheiro, apenas uma luminária foi necessária em cada cômodo, enquanto o sistema atual dispõe de duas. A iluminação da Sala de Baterias é realizada por quatro luminárias EAN04-S2000840, conforme informado anteriormente. Essa mudança é possível pela substituição das baterias de tipo ventiladas por baterias VRLA, eliminando a necessidade de arandelas blindadas. Essa modificação é detalhada nas seções a seguir.

Para constatar se os projetores selecionados e as novas quantidades satisfazem os níveis de iluminamento médio mínimos requeridos, deve-se analisar os resultados da simulação. A Figura 4.8 exibe os níveis de iluminamento gerados pelo novo sistema.

Figura 4.8 - Níveis de iluminamento do novo sistema da Casa.



Fonte: Autor.

Através da figura, observa-se que, tanto para a copa quanto para o banheiro, apenas uma luminária atende aos requisitos mínimos de iluminamento. O mesmo pode ser constatado para as quatro luminárias na Sala de Baterias. O Quadro 4.5 apresenta uma comparação do nível de iluminamento obtido para cada superfície de cálculo com o sistema atual e o novo.

Quadro 4.5 – Níveis de iluminamento com sistema da casa atual e novo.

Superfície de cálculo na casa	Iluminamento médio (lx)		
	Sistema atual	Sistema novo	Mínimo
Banheiro	184	166	150
Copa	167	156	150
Depósito	115	201	80
Hall	88	151	80
Sala de Baterias	205	212	200
Sala de Controle 69 kV	301	312	300
Sala de Controle 230 kV	345	359	300

Fonte: Autor.

Verificando o quadro é possível constatar que o novo sistema atende aos requisitos da CEEE-GT para os quais o sistema atual foi projetado. Além disso, os níveis de iluminamento aumentaram em todos os casos, exceto no banheiro e na copa, que mantiveram valores próximos aos atuais com apenas uma luminária. Destaca-se que na Sala de Baterias foi possível substituir as 12 arandelas blindadas por 4 luminárias, mantendo o nível de iluminamento próximo ao atual. Também é possível observar que o iluminamento médio do hall e do depósito atinge quase o dobro no novo cenário, mantendo o número de luminárias.

4.4 Sistema de exaustão

A Casa de Comando possui sistema de exaustão na Sala de Baterias pelo fato de a instalação utilizar baterias do tipo ventilada. Os dois exaustores funcionam diariamente, de modo a impedir a formação de uma atmosfera explosiva no cômodo. Visando a economia de energia elétrica, os exaustores podem ser removidos a partir da substituição das baterias do tipo ventiladas por baterias do tipo VRLA.

A utilização de baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA) em sistemas de controle e energia aumenta diariamente. Em muitos casos, baterias de chumbo-ácido ventiladas estão sendo substituídas por baterias VRLA, devido às suas características únicas (IEEE, 2006). Os principais diferenciais da bateria do tipo VRLA são a possibilidade de instalação em quase qualquer posição sem risco de vazamento e utilização em locais com outros equipamentos ou pessoas (POWERSAFE, 2020) (UNIPOWER, 2020). Essas características possibilitam substituir as atuais baterias ventiladas da Sala de Baterias por baterias VRLA instaladas na Sala 230 kV, como mostrado na simulação do novo sistema de iluminação da Casa de Comando.

Outra razão para situar os novos equipamentos na Sala 230kV é pelo fato de as baterias do tipo VRLA serem mais sensíveis à temperatura. Portanto, necessitam ser instaladas em um local climatizado, preferivelmente. Conforme recomendado pela NBR 15389:2006 e por diversos fabricantes, a temperatura ideal para o funcionamento da bateria é de 20° C a 25°C. Abaixo desse valor a capacidade da bateria é reduzida e, acima, há diminuição da vida útil. Além disso, esse tipo de bateria pode ser instalado em estantes abertas ou armários, o que resulta em economia de espaço físico. Assim, pode-se colocar as novas baterias na Sala 230 kV e remover o sistema de exaustão da Casa de Comando.

4.5 Sistema de climatização

O sistema de climatização atual é composto por oito ares-condicionados do tipo *Split* piso teto inverter de 47.000 BTU/h, sendo três situados na Sala 69kV e cinco na Sala 230kV. Tanto a NBR 16401:2008 quanto os Critérios de Projetos Executivos da CEEE-GT recomendam a utilização de ares-condicionados tipo *Split*. Sendo assim, deve-se verificar se o sistema atual suporta a adição da carga térmica das baterias na Sala 230 kV.

O sistema atual foi dimensionado considerando uma carga térmica total de 59,1 kW (Anexo A), o que corresponde a 201.658 BTU/h. Porém, o sistema instalado corresponde a um total de 235.000 BTU/h, que equivale a 68,9 kW. Para adicionar as baterias, utiliza-se os valores solicitados pela CEEE-GT: para

um banco de baterias 125 Vcc se considera uma carga térmica de 840 W e, para um banco de 48 Vcc, 672 W (CEEE-GT, 2019). É importante destacar que cada banco deve ser duplicado para manter a continuidade de alimentação, como citado anteriormente. Assim, adicionando-se as baterias ao dimensionamento do sistema a carga térmica total é de 62,1 kW, valor inferior aos 68,9 kW atualmente instalados. Assim, pode-se constatar que o sistema da Sala 230 kV suporta a adição das baterias, não sendo necessário modificações no sistema atual.

4.6 Comparação dos dois cenários

Após a definição dos novos sistemas, deve-se analisar a economia de energia elétrica obtida pelas alterações propostas. Para tanto, deve-se considerar apenas os sistemas de iluminação e exaustão, visto que o sistema de climatização se manteve inalterado. Conforme apurado, a potência instalada total atual do sistema de iluminação é de 31.106 W e do sistema de exaustão é de 300 W, totalizando 31.406 W. O Quadro 4.6 apresenta um resumo dos equipamentos consumidores dos sistemas atuais.

Quadro 4.6 – Resumo dos equipamentos consumidores atuais.

Equipamento	Quantidade	Potência total (W)
Lumicenter CAC01-S232	29	132
Lumicenter FHT07-S214	8	66
Tramontina Arandela 56152011	12	10
Beghelli Floodlight 77015	46	445
Beghelli Floodlight 77014	12	280
Beghelli Santo HS1250FGC	10	280
Exaustor 120 m ³ /h	2	150
Total		31.406

Fonte: Autor.

Verificando o quadro, constata-se que o sistema de iluminação da Casa de Comando representa 14,25% da potência instalada total atual, enquanto o sistema de iluminação de pátio corresponde à 84,79% e o sistema de exaustão, 0,96%.

Os novos sistemas foram desenvolvidos visando a redução da potência instalada total e, consequentemente, o consumo de energia elétrica. O Quadro 4.7 apresenta um resumo dos equipamentos consumidores dos novos sistemas.

Quadro 4.7 – Resumo dos novos equipamentos consumidores.

Equipamento	Quantidade	Potência total (W)
Lumicenter EAA08-S3500830	29	36
Lumicenter EAN04-S2000840	10	18
Intral Ágata LPS-102.10 4E	46	180
Intral Ágata LPS-102.10 3E	12	137
Beghelli S250EXLSD	10	130
Total		12.448

Fonte: Autor.

Analisando o levantamento é possível observar que não constam exaustores no quadro, pois o sistema foi removido devido à troca das baterias do tipo ventilada por baterias do tipo VRLA. Sendo assim, o sistema de iluminação da Casa de Comando representa 9,83% e o sistema de iluminação de pátio corresponde à 90,17% da potência instalada total do novo cenário. Dessa forma, constata-se que foi possível reduzir a potência instalada do conjunto de sistemas considerados em 60,36%.

Para analisar a economia de EE obtida através das alterações nos sistemas, deve-se considerar o tempo de utilização de cada equipamento, de modo a simular a utilização real dos sistemas. Por ser uma SE com operação presencial de nível de tensão superior a 69 kV, necessita a presença de dois operadores por turno (MAMEDE FILHO, 2020). Portanto, sempre há, pelo menos, uma pessoa na Casa de Comando. A iluminação de pátio é acionada por relés fotoelétricos, ou seja, é ligada sempre que a iluminância no local é menor que 20 lx e desligada com quando maior que 80 lx. Além disso, o sistema de exaustão funciona durante duas horas a cada dia para evitar a criação de uma atmosfera explosiva, como citado anteriormente. Através da equação (3.1), calcula-se o consumo mensal dos sistemas atuais considerando um mês de trinta dias, conforme o Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Consumo mensal atual.

Equipamento	Horas diárias em funcionamento	Energia mensal consumida (kWh)
Lumicenter CAC01-S232	12	1.378,08
Lumicenter FHT07-S214	3	47,52
Tramontina Arandela 56152011	3	10,80
Beghelli Floodlight 77015	12	7.369,20
Beghelli Floodlight 77014	12	1.209,60
Beghelli Santo HS1250FGC	12	1008,00
Exaustor 120 m ³ /h	2	18,00
Total		11.041,20

Fonte: Autor.

Verifica-se, através do quadro, que a iluminação de pátio representa o maior consumo energético, cerca de 86,83%. Além disso, a iluminação da Casa de Comando representa 13,01% do consumo total, enquanto o sistema de exaustão, apenas 0,16%. Com esses resultados, percebe-se que a iluminação de pátio é o maior consumidor dentre os sistemas analisados e, portanto, possui o maior potencial de redução de consumo de energia elétrica.

A energia mensal consumida pelos novos equipamentos é mensurada utilizando a equação (3.1) e os mesmos tempos de funcionamento considerados para os sistemas atuais. O Quadro 4.9 expõe o consumo mensal dos sistemas atualizados, considerando um mês de trinta dias.

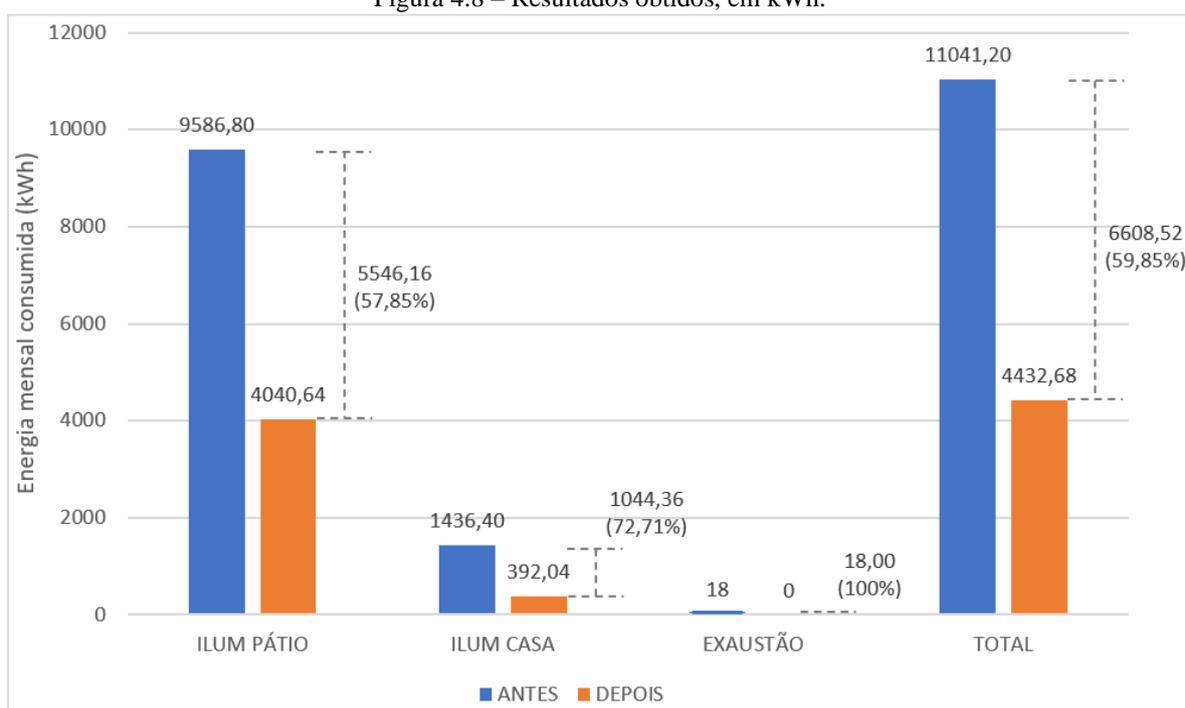
Quadro 4.9 – Consumo mensal com os novos equipamentos.

Equipamento	Horas diárias em funcionamento	Energia mensal consumida (kWh)
Lumicenter EAA08-S3500830	12	375,84
Lumicenter EAN04-S2000840	3	16,20
Intral Ágata LPS-102.10 4E	12	2.980,80
Intral Ágata LPS-102.10 3E	12	591,84
Beghelli S250EXLSD	12	468,00
Total		4.432,68

Fonte: Autor.

Através das modificações propostas nos sistemas, constata-se que a iluminação de pátio, novamente, representa o maior consumo energético, cerca de 91,16%. Já a iluminação da Casa de Comando representa 8,84% do consumo total. A Figura 4.8 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

Figura 4.8 – Resultados obtidos, em kWh.



Fonte: Autor.

A partir do gráfico é possível constatar que a maior economia percentual é obtida na iluminação da Casa de Comando, além do sistema de exaustão, que é retirado. Entretanto, as mudanças no sistema de iluminação de pátio representam uma economia de 5.546,16 kWh ao mês, confirmando o grande potencial de aplicação de eficiência energética. Com os novos projetores e luminárias, e retirando os exaustores se obtém uma economia de energia elétrica total de 6.608,52 kWh ao mês, ou seja, 59,85%. Se um ano inteiro for considerado, a economia gerada é de 80,40 MWh.

A economia gerada pela utilização de luminárias e projetores com LED integrado é notória. A alta eficiência luminosa desses equipamentos atrelada à eliminação das perdas de fluxo luminoso, já que a luminária é desenvolvida para que o fluxo seja totalmente projetado para o ambiente, permite que níveis de iluminação desejados sejam obtidos com potências menores ou com menos luminárias. Consequentemente, o consumo de EE é reduzido. Assim, pode-se desenvolver um sistema com menor consumo e potência total, maior eficiência e menores perdas de energia elétrica.

4.7 Análise financeira

A seção anterior detalha as alterações propostas para os sistemas de iluminação e exaustão, e evidencia que a utilização de baterias VRLA e luminárias LED geram grande economia de energia elétrica. Entretanto, deve-se realizar uma análise financeira para verificar se essas mudanças são viáveis economicamente. Como o sistema de iluminação é o maior consumidor entre os sistemas modificados, considera-se apenas as luminárias e projetores na análise financeira. Para tanto, utiliza-se a tabela de referência de preços e custos SINAPI para o Estado do Rio Grande do Sul referente ao mês de agosto de 2022, com valores não desonerados.

Os Apêndices A e B apresenta o levantamento realizado para a obtenção do custo total de instalação dos sistemas atuais e novos. Destaca-se que para todas as instalações é preciso considerar os custos atrelados ao serviço prestado por um eletricista e um auxiliar, além da fita isolante. Para luminárias para iluminação pública, ou seja, instaladas em postes, deve-se utilizar um guindauto hidráulico devido à altura. Por fim, contabiliza-se os custos dos equipamentos: no caso das luminárias de LED integrado, o custo é apenas do equipamento; já para os equipamentos com lâmpadas fluorescentes e de vapor de sódio, deve-se considerar a lâmpada, o reator e a luminária ou projetor. É importante ressaltar que alguns equipamentos não possuem correspondência na tabela SINAPI e, então, seus custos foram obtidos através de contato com os fabricantes.

Através do Apêndice A, verifica-se que o custo total de implementação do sistema de iluminação atual é de R\$43.916,78. O Apêndice B apresenta um custo total de instalação do novo sistema de iluminação de R\$102.366,14. Assim, constata-se que o sistema de iluminação utilizando tecnologia LED é 133,09% mais caro que o sistema com lâmpadas fluorescentes e de vapor de sódio. Ou seja, considerando apenas o investimento inicial, o sistema atual é mais vantajoso financeiramente. Porém, deve-se considerar o tempo de vida útil dos equipamentos para averiguar qual o sistema mais barato a longo prazo. O Quadro 4.10 apresenta o tempo de vida útil de cada equipamento.

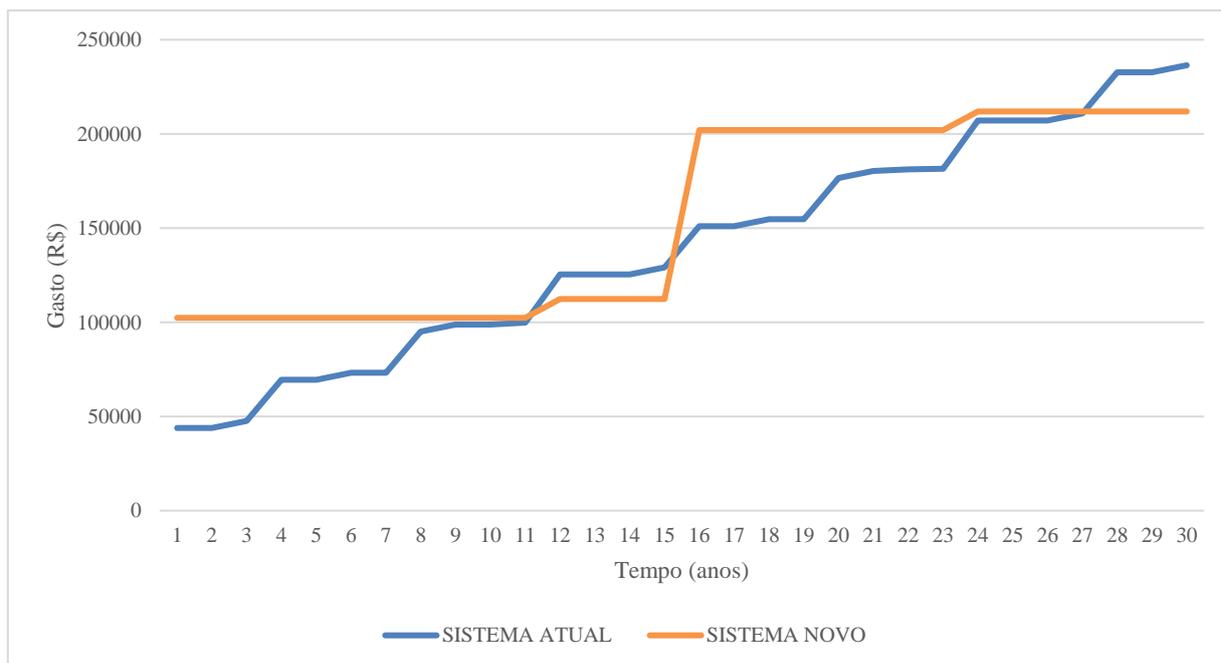
Quadro 4.10 – Tempo de vida útil dos equipamentos.

Equipamento	Tempo de vida útil (h)	Equipamento	Tempo de vida útil (h)
Lâmpadas fluorescentes	12.000	Lumicenter EAN04-S2000840	50.000
Lâmpadas de vapor de sódio	25.000	Intral Ágata LPS-102.10 4E	70.000
Lâmpadas Bulbo LED	16.000	Intral Ágata LPS-102.10 3E	70.000
Lumicenter EAA08-S3500830	50.000	Beghelli S250EXLSD	70.000

Fonte: Autor.

De posse dos gastos necessários para a instalação de cada projetor e luminária, e do tempo de vida útil de cada tecnologia, pode-se simular o gasto envolvido na renovação do sistema de iluminação durante os trinta anos de concessão do empreendimento. Para o sistema atual, deve-se considerar a troca de lâmpadas e reatores, e gastos com mão de obra. Para gastos com eletricitista, lâmpadas de vapor de sódio e seus reatores, e lâmpadas de bulbo LED, pode-se verificar os códigos da tabela SINAPI e seus valores através do Apêndice A. Para lâmpadas fluorescentes de 16 W é preciso considerar os itens 97615 e 100922 da tabela do SINAPI. Já para lâmpadas de 32W, utiliza-se os itens 97616 e 100923. A renovação do sistema novo é feita através da aquisição de novas luminárias e projetores, sendo necessário utilizar os mesmos valores presentes no Apêndice B. É importante destacar que, para a projeção dos gastos durante os trinta anos de concessão, não se considerou variações nos preços e eventuais trocas não relacionadas ao tempo de vida útil, como algum dano físico ao equipamento, por exemplo. A Figura 4.9 apresenta a projeção de gastos com os sistemas de iluminação.

Figura 4.9 – Gasto acumulado com equipamentos dos sistemas de iluminação durante trinta anos, em reais.

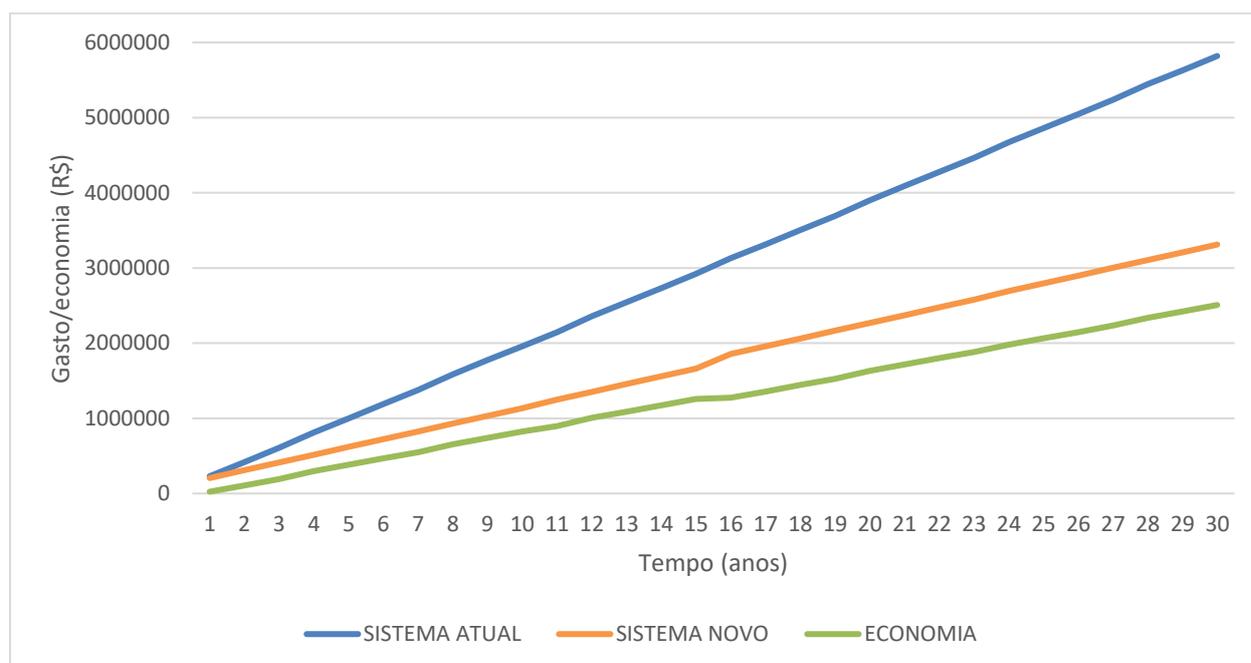


Fonte: Autor.

Através da projeção constata-se que o gasto com o sistema atual, após trinta anos, é de R\$236.441,60. Utilizando o sistema com tecnologia LED, o gasto após trinta anos é de R\$211.910,80. Ou seja, com as modificações propostas, há uma economia de 10,38%. Entretanto, deve-se, ainda, considerar os gastos com consumo energético.

A SE utilizada para o estudo pertence ao subgrupo tarifário A4, utiliza a modalidade tarifária horária verde e possui uma demanda contratada de 200 kW. Ou seja, deve pagar pelo consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia, e uma única tarifa de demanda de potência (ANEEL, 2022). Assim sendo, o custo com demanda contratada é de 23,45 R\$/kW, além de 2,294422 R\$/kWh pelo consumo em horário Ponta e 0,524063 R\$/kWh em horário Fora Ponta. Os preços de consumo de energia foram calculados considerando um valor de 17% para o ICMS, 4,35% para o PIS/COFINS (média observada para um período de 12 meses) (EQUATORIAL, 2022). É importante destacar que as bandeiras tarifárias não foram consideradas nos cálculos. A Figura 4.10 apresenta a projeção de gastos com consumo de energia e utilização dos sistemas de iluminação. Para o sistema atual, considera-se os gastos com luminárias e projetores com lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e bulbo LED, demanda contratada de 200 kW e consumo de EE conforme Quadro 4.8. Com o novo sistema, faz-se a análise com os gastos com luminárias e projetores de LED integrado, demanda contratada de 182 kW (visto que a mudança resulta em uma diminuição na potência instalada de 18,86 kW) e consumo de EE conforme Quadro 4.9.

Figura 4.10 – Gasto com energia elétrica e economia acumulados durante trinta anos, em reais.



Fonte: Autor.

Analisando a figura, nota-se que em nenhum momento a linha que representa a economia atinge valores negativos, assim como a linha representando os gastos com o sistema novo não ultrapassa o sistema atual. Ou seja, em todos os momentos o sistema atual é mais caro que o sistema novo quando se considera os gastos com consumo de EE. Isso ocorre, pois o sistema com LED integrado gera grande redução de consumo de EE.

O sistema atual possui um custo de instalação de R\$43.916,78 e gera gastos de R\$186.127,82 com EE, já no primeiro ano. Já o sistema novo possui um preço de implementação de R\$102.366,14 e gastos com EE de R\$103.344,45. Percebe-se, assim, que os equipamentos de LED são mais caros que os atuais, mas geram uma economia de 44,48% nos custos com EE. Sendo assim, considerando o primeiro ano, o sistema atualizado é 10,58% mais barato que o atual. Ao todo, as mudanças nos sistemas geram uma economia de 43,09% nos gastos totais, o que representa R\$2.508.032,13. Pode-se afirmar, assim, que

o estudo de viabilidade comprova que os custos de instalação do sistema com LED e a redução nos gastos com EE são mais vantajosos financeiramente do que manter o sistema atual.

5 CONCLUSÕES

A escassez hídrica dos últimos anos faz com que o Brasil precise gerar energia através de termoelétricas, de modo a poupar água dos reservatórios. Nesse contexto, o presente trabalho teve como foco a análise de oportunidades de aplicação de eficiência energética em subestações, buscando conservação de EE. O estudo considerou uma subestação situada no Rio Grande do Sul. A partir do levantamento da situação atual e da simulação no DIALux, propôs-se alternativas para reduzir o consumo de EE nos sistemas de iluminação, climatização e exaustão, avaliando a viabilidade técnica e econômica das mudanças.

Sendo assim, verificou-se oportunidades de redução do consumo de EE nos sistemas de iluminação e exaustão. O sistema de iluminação atual, composto por luminárias e projetores com lâmpadas fluorescentes, de bulbo LED e de vapor de sódio, foi substituído por um novo sistema composto por luminárias e projetores com LED integrado, atendendo aos critérios requeridos pela transmissora. O sistema de exaustão atual é composto por dois exaustores devido à utilização de baterias ventiladas. Assim, sugeriu-se a substituição dessas baterias por baterias VRLA, eliminando a emissão de gases e a necessidade de um sistema de exaustão. As novas baterias foram dispostas na Sala 230 kV, cujo sistema de climatização suporta essa adição de carga térmica.

As mudanças propostas permitem reduzir o consumo de energia elétrica, visto que o sistema de exaustão foi eliminado e as novas luminárias possuem uma eficiência luminosa maior. O setor com o maior consumo é o de iluminação de pátio, consumindo 9.586,80 kWh mensalmente com as luminárias de vapor de sódio. Com a atualização dos equipamentos foi possível reduzir o consumo em 57,85%. Considerando a iluminação de pátio, iluminação da casa e o sistema de exaustão, gerou-se uma economia de 59,85%, ou seja, 6.608,52 kWh ao mês. Essa redução representa 80,40 MWh ao ano. Constatou-se, também, que o sistema de iluminação atual possui um custo de instalação de R\$43.916,78 e gera gastos de R\$186.127,82 com EE, ao ano. Já o sistema novo possui um preço de implementação de R\$102.366,14 e gastos com EE de R\$103.344,45. Assim, o sistema com LED gera uma economia de 44,48% nos custos com EE. Por fim, verificou-se que as mudanças nos sistemas geram uma economia de 43,09% nos gastos totais, o que representa R\$2.508.032,13 considerando os trinta anos de concessão.

Portanto, conclui-se que há grande potencial de redução no consumo de EE em subestações antigas ou com critérios de projetos ultrapassados. No entanto, recomenda-se para trabalhos futuros a consideração das bandeiras tarifárias e custos de equipamentos e serviços mais precisos, de modo a obter uma análise mais assertiva. Apesar disso, as análises realizadas comprovam que a atualização dos sistemas é viável técnica e economicamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Redes de Energia Elétrica**. 2021. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 13 de setembro de 2022.

Acesso à Informação. Governo Federal. **Número de Subestações no Brasil**. Disponível em: <http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/_layouts/15/DetalhePedido/DetalhePedido.aspx?nup=48700000626201892>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2022. **Modalidades Tarifárias**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 02 de setembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410-2004: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5460-1992: Sistemas Elétricos de Potência**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15389-2006: Bateria chumbo-ácida estacionária regulada por válvula – Instalação e montagem**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2008: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro, 2008.

Beghelli. **Floodlight**. 2008. Disponível em: <<https://beghelli.bg/files/elplast.pdf>>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

Beghelli. **Santo HS1250FGC**. 2008. Disponível em: <<https://beghelli.bg/files/elplast.pdf>>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

Beghelli. **S250EXLSD**. 2022. Disponível em: <<https://www.beghelli.it/it/prodotti/illuminazione-beghelli/illuminazione-stradale/strada-led/S250EXLSD>>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

CAIXA. **SINAPI**. 2022. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 03 de setembro de 2022.

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Crítérios de Projetos Executivos: Especificações técnicas para elaboração de projetos executivos em subestações**. 2019.

DIALUX. **DIALUX**. 2022. Disponível em: <<https://www.dialux.com/en-GB/dialux>>. Acesso em: 06 de março de 2022.

DIAS, A. D. D. **Aspectos a considerar no dimensionamento e seleção de equipamentos e sistemas em subestações de alta tensão, buscando a eficiência energética**. 1996. Dissertação – (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

Equatorial Energia – CEEE Distribuição. 2022. **Tabela de Tarifas do Grupo A**. Disponível em: <https://ceee.equatorialenergia.com.br/distribuicao-arquivos/copy2_of_TabeladeTarifasdoGrupoA.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2022.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Application Guide for IEEE Std 1818™, IEEE Guide for the Design of LowVoltage Auxiliary Systems for Electric Power Substations**. IEEE Standards Coordinating Committee 17: 95 p. 2017

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Application Guide for IEEE Std 1188™, IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications**. IEEE Standards Coordinating Committee 17: 49 p. 2006

Intral. **Ágata Projetor G4**. 2022. Disponível em: <<https://www.intral.com.br/pt/produtos/projetores-led/agata-projetor-g4/#agata-projetor-g4>>. Acesso em: 27 de julho de 2022.

Intral. **Reatores**. 2022. Disponível em: <<https://www.intral.com.br/pt/produtos/reatores/>>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

KANSARA, V. K. **Solar & LED technology for energy efficient substation**. In: 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 2017, Cochin, Índia, IEEE, 2017, p. 1-5.

LEDSTAR. **Guia da luminária de LED**. 2020. Disponível em: <<https://www.ledstar.com.br/portfolio-item/guia-luminaria-led/>>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

Lumicenter. **Iluminação – Conceitos e Aplicações de Luminotécnica – Parte 2**. 2017. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/conceitos-basicos-de-iluminacao-pt2/>>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

Lumicenter. **Catálogo de produtos - CAC01-S232**. 2022. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/cac01-s-p2316/>>. Acesso em: julho de 2022.

Lumicenter. **Catálogo de produtos - FHT07-S214**. 2022. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/fht07-s-p2178/>>. Acesso em: julho de 2022.

Lumicenter. **Catálogo de produtos - EAA08-S3500830**. 2022. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/ea08-s-p1127/>>. Acesso em: julho de 2022.

Lumicenter. **Catálogo de produtos - EAN04-S2000840**. 2022. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/lan04-s-ean04-s-p3496/>>. Acesso em: julho de 2022.

MAMEDE FILHO, João. **Subestações de potência: tudo o que você precisa saber**. São Paulo: Gen/Exatas, 2020. Disponível em: <<https://genexatas.com.br/subestacoes-de-potencia-tudo-o-que-voceprecisa-saber/>>. Acesso em: 29 de março de 2022.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. **Plano da Operação Energética 2021 a 2025**. Brasília: ONS, 2021.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. **Procedimentos de Rede – Submódulo 2.6: Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos**. Brasília: ONS, 2022.

Powersafe. **Baterias VRLA x VENTILADAS**. 2020. Disponível em: <<https://powersafe.com.br/baterias-vrla-x-ventiladas/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

Tramontina. **Arandela Articular Blindada 56152011**. 2022. Disponível em: <<https://assets.tramontina.com.br/upload/tramon/imagens/ELT/56152011FIP001.pdf>>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

Unipower. **Bateria Selada VRLA: Entenda como ela funciona**. 2020. Disponível em: <<https://unipower.com.br/bateria-selada-vrla/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

ANEXO A – Dimensionamento do sistema de climatização Sala 230 kV

Air System Information

Air System Name	Sala Controle	Number of zones	1
Equipment Class	SPLT AHU	Floor Area	155,0 m ²
Air System Type	SZCAV	Location	Porto Alegre, Brazil

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:		Calculation Months	Jan to Dec
Zone L/s	Sum of space airflowrates	Sizing Data	Calculated
Space L/s	Individual peak space loads		

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	59,1 kW	Load occurs at	Dec 1600
Sensible coil load	55,4 kW	OA DB / WB	34,2 / 25,9 °C
Coil L/s at Dec 1600	5050 L/s	Entering DB / WB	23,4 / 16,3 °C
Max block L/s	5050 L/s	Leaving DB / WB	14,3 / 12,6 °C
Sum of peak zone L/s	5050 L/s	Coil ADP	11,2 °C
Sensible heat ratio	0,938	Bypass Factor	0,250
m ² /kW	2,6	Resulting RH	48 %
W/m ²	381,1	Design supply temp.	14,0 °C
Water flow @ 5,5 °K rise	N/A	Zone T-stat Check	1 of 1 OK
		Max zone temperature deviation	0,0 °K

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s	5050 L/s	Fan motor BHP	1,57 BHP
Standard L/s	5048 L/s	Fan motor kW	1,17 kW
Actual max L/(s-m ²)	32,58 L/(s-m ²)	Fan static	125 Pa

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	52 L/s	L/s/person	25,95 L/s/person
L/(s-m ²)	0,33 L/(s-m ²)		

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Dec 1600			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 34,2 °C / 25,9 °C			HEATING OA DB / WB 4,0 °C / 0,5 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	18 m ²	3277	-	18 m ²	-	-
Wall Transmission	169 m ²	11007	-	169 m ²	8012	-
Roof Transmission	155 m ²	5052	-	155 m ²	4423	-
Window Transmission	18 m ²	1096	-	18 m ²	1541	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Door Loads	10 m ²	1192	-	10 m ²	706	-
Floor Transmission	12 m ²	-4	-	12 m ²	20	-
Partitions	18 m ²	374	-	18 m ²	0	-
Ceiling	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	1922 W	1922	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	28800 W	28799	-	0	0	-
People	2	173	267	0	0	0
Infiltration	-	881	1780	-	1106	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 10%	0	205	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	53768	2252	-	15809	0
Zone Conditioning	-	53542	2252	-	945	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	0%	0	-	0	0	-
Return Fan Load	5050 L/s	0	-	5050 L/s	0	-
Ventilation Load	52 L/s	683	1412	52 L/s	82	0
Supply Fan Load	5050 L/s	1169	-	5050 L/s	-1169	-
Space Fan Coil Fans	-	0	-	-	0	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	-	55394	3663	-	-142	0
Central Cooling Coil	-	55394	3679	-	0	0
>> Total Conditioning	-	55394	3679	-	0	0
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

APÊNDICE A – Levantamento financeiro sistema de iluminação atual

Conjunto	Código SINAPI	Descrição resumida	Unidade	Coeficiente	Custo unitário	Custo final (R\$)
Lumicenter CAC01-S232	3799	Luminária de sobrepor p/ 2 lâmpadas fluorescentes de 36 w, aletada (lâmpadas e reator inclusos)	UN	1	170,37	170,37
	88247	Auxiliar de eletricitista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	184,38
					TOTAL (29)	5347,02
Lumicenter FHT07-S214	3811	Luminária de sobrepor p/ 2 lâmpadas fluorescentes de 18 w, aletada (lâmpadas e reator inclusos)	UN	1	120,46	120,46
	88247	Auxiliar de eletricitista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	134,47
					TOTAL (8)	1075,76
Tramontina Arandela 56152011	38194	Lâmpada LED 10 W bivolt branca E27	UN	1	8,85	8,85
	*	Tramontina Arandela 56152011	UN	1	229	229
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	88247	Auxiliar de eletricitista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	251,94
					TOTAL (12)	3023,28
Beghelli Floodlight 77015	12318	Reator p/ lâmpada vapor de sódio 400W uso externo	UN	1	192,11	192,11
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	12273	Projektor retangular fechado para lâmpada vapor de mercúrio/sódio 250 W a 500 W E40	UN	1	134,60	134,60
	3758	Lâmpada vapor de sódio ovoide 400 W (base E40)	UN	1	71,11	71,11
	88247	Auxiliar de eletricitista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	411,91
					TOTAL (46)	18947,86
Beghelli Floodlight 77014	1082	Reator p/ lâmpada vapor de sódio 250W uso externo	UN	1	305,10	305,10
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	12273	Projektor retangular fechado para lâmpada vapor de mercúrio/sódio 250 W a 500 W E40	UN	1	134,6	134,6
	3757	Lâmpada vapor de sódio ovoide 250 W (base E40)	UN	1	60,99	60,99
	88247	Auxiliar de eletricitista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	514,78
					TOTAL (12)	6177,36
Beghelli Santo HS1250FGC	1082	Reator p/ lâmpada vapor de sódio 250W uso externo	UN	1	305,10	305,10
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	13382	Luminária fechada para iluminação pública	UN	1	486,07	486,07
	3757	Lâmpada vapor de sódio ovoide 250 W (base E40)	UN	1	60,99	60,99
	5928	Guindauto hidráulico, alcance max horizontal 9,70 m	CHP	0,2388	286,03	68,30
	88247	Auxiliar de eletricitista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	934,55
					TOTAL (10)	9345,5
TOTAL SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL						43916,78

*Fornecido pelo fabricante

APÊNDICE B – Levantamento financeiro sistema de iluminação novo

Conjunto	Código SINAPI	Descrição resumida	Unidade	Coeficiente	Custo unitário	Custo final (R\$)
Lumicenter EAA08- S3500830	*	Lumicenter EAA08-S3500830	UN	1	328,99	328,99
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	88247	Auxiliar de eletricista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
						CUSTO UNIDADE
					TOTAL (29)	9949,32
Lumicenter EAN04- S2000840	*	Lumicenter EAN04-S2000840	UN	1	262,99	262,99
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	88247	Auxiliar de eletricista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
						CUSTO UNIDADE
					TOTAL (10)	2770,80
Intral Ágata LPS-102.10 4E	*	Intral Ágata LPS-102.10 4E	UN	1	1439	1439
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	88247	Auxiliar de eletricista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
						CUSTO UNIDADE
					TOTAL (46)	66842,14
Intral Ágata LPS-102.10 3E	*	Intral Ágata LPS-102.10 3E	UN	1	1119	1119
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	88247	Auxiliar de eletricista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
						CUSTO UNIDADE
					TOTAL (12)	13597,08
Beghelli S250EXLSD	*	Beghelli S250EXLSD	UN	1	838,29	838,29
	21127	Fita isolante adesiva antichama, 750 V, 19 mm x 5 m	UN	0,028	2,94	0,08
	5928	Guindauto hidráulico, alcance max horizontal 9,70 m	CHP	0,2388	286,03	68,30
	88247	Auxiliar de eletricista com encargos complementares	H	0,1727	21,73	3,75
	88264	Eletricista com encargos complementares	H	0,4144	24,78	10,26
					CUSTO UNIDADE	920,68
					TOTAL (10)	9206,8
TOTAL SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL						102366,14

*Fornecido pelo fabricante