



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ELOARA FERNANDES DE BRITO

**PROPOSTA DE ESTUDO DA APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA EM
PÁTIOS DE SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO**

Recife
2025

ELOARA FERNANDES DE BRITO

**PROPOSTA DE ESTUDO DA APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA
EM PÁTIOS DE SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro(a) Eletricista.

Orientador(a): Prof. PhD. Pedro André Carvalho Rosas

Recife
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Brito, Eloara Fernandes de.

Proposta de estudo da aplicação de iluminação de emergência em pátios de subestações de alta tensão / Eloara Fernandes de Brito. - Recife, 2025.

81 p. : il., tab.

Orientador(a): Pedro André Carvalho Rosas

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Elétrica - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Iluminação de emergência. 2. Subestações elétricas. 3. Pátios de subestações. 4. Segurança. I. Rosas, Pedro André Carvalho. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ELOARA FERNANDES DE BRITO

**PROPOSTA DE ESTUDO DA APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA
EM PÁTIOS DE SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro(a) Eletricista.

Aprovado em: 10/04/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Pedro André Carvalho Rosas (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. D.Sc. Luiz Henrique Alves de Medeiros (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. M.Sc. Ericles Mauricio Barbosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado aos meus pais,
Elaine e José que com seu apoio incondicional me
permitiram chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Elaine e José, por todo apoio e carinho incondicional comigo durante toda a minha vida.

Aos meus familiares, pelo apoio direto e indireto ao longo da minha graduação.

Agradeço aos colegas e amigos que fiz ao longo da graduação e que me ajudaram tanto pessoalmente como academicamente. Em especial, aos meus amigos do Time Insolide que tornaram essa fase final mais leve, mesmo com todas as adversidades.

Agradeço aos meus companheiros da equipe eletromecânica da Interest Engenharia pelo conhecimento compartilhado, em especial a engenheira eletricista Rayane Guerra.

E por fim, aos professores da Universidade Federal de Pernambuco, principalmente ao meu orientador Pedro Rosas.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo para iluminação de emergência em pátios de subestações elétricas, que desempenham um papel crucial no sistema elétrico brasileiro. Estudos preveem um crescimento médio anual de 3,4% no consumo de eletricidade entre os anos de 2024 e 2034, o que implica uma necessidade de expansão urgente do sistema elétrico nacional. Nesse cenário, estima-se para as subestações de energia um investimento de R\$ 40,3 bilhões. A segurança em um ambiente tão essencial para o sistema é imprescindível; devido a isso, a aplicação de métodos de segurança, entre eles a iluminação de emergência, deve ser um fator importante no projeto de uma subestação de energia. Para o estudo da iluminação de emergência, conceitos essenciais de luminotécnica são abordados, como luz, fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminância e uniformidade. Esses conceitos são cruciais para a elaboração de projetos de iluminação. Normas como NBR 10898, NBR 5101 e EN 1838 apresentam os requisitos necessários para garantir uma iluminação satisfatória em situações da falha de energia. A metodologia inclui o uso do *software* DIALux Evo® para modelagem e simulação da iluminação, considerando rotas de fuga e áreas de encontro de segurança. Os resultados das simulações indicam que a proposta de iluminação de emergência é viável e atende às normas de segurança. As conclusões reafirmam a importância da iluminação de emergência em pátios de subestações, um aspecto bastante negligenciado, mas fundamental para uma operação segura das subestações de alta tensão, ressaltando que a implementação desses sistemas são uma boa prática para a segurança dos colaboradores que atuam nesses ambientes.

Palavras-chave: Iluminação de emergência; Subestações elétricas; Pátios de subestações; Segurança.

ABSTRACT

This paper presents a study for emergency lighting in electrical substation yards, which play a crucial role in the Brazilian electricity system. Studies predict an average annual growth of 3.4% in electricity consumption between the years 2024 and 2034, which implies an urgent need to expand the national electricity system. In this scenario, an investment of R\$40.3 billion is estimated for energy substations. Safety in such an essential environment for the system is essential, which is why the application of safety methods, including emergency lighting, must be an important factor in the design of a power substation. For the study of emergency lighting, essential concepts of luminotechnics are covered, such as light, luminous flux, luminous intensity, illuminance and uniformity, these concepts are crucial for the preparation of lighting projects. Standards such as NBR 10898, NBR 5101 and EN 1838 present the necessary requirements to guarantee satisfactory lighting in power failure situations. The methodology includes the use of DIALux software to model and simulate the lighting, taking into account escape routes and safety meeting areas. The results of the simulations indicate that the emergency lighting proposal is viable and meets safety standards. The conclusions reaffirm the importance of emergency lighting in substation yards, a much-neglected but fundamental aspect for the safe operation of high-voltage substations, emphasizing that the implementation of these systems is a good practice for the safety of employees working in these environments.

Keywords: Emergency lighting; Electrical substations; Substations yards; Security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Evolução da capacidade instalada existente e contratada do SIN.	14
Figura 2: Cenários de referência; SEs por nível de tensão.	16
Figura 3: Mapa de subestações.	16
Figura 4: Evolução da curva de carga diária do SIN em um dia e menor demanda. .	18
Figura 5: Resposta padrão do olho humano.	21
Figura 6: Curva de distribuição luminosa, luminária LED.	23
Figura 7: Grandezas luminotécnicas.	24
Figura 8: Faixas da temperatura de cor (K).	25
Figura 9: Ângulo de abertura de uma fonte de luz.	26
Figura 10: Reprodução de cores.	27
Figura 11: Conceitos específicos de iluminação de emergência.	29
Figura 12: Iluminamento horizontal.	35
Figura 13: Iluminamento vertical.	36
Figura 14: Tabela de referências de distâncias x lúmens.	39
Figura 15: Disposição do código IP.	41
Figura 16: Fluxograma dos elementos do código IP.	42
Figura 17: Parâmetros para determinação da classe de iluminação P.	44
Figura 18: Requisitos de iluminação para a classe de iluminação P.	45
Figura 19: Distâncias mínimas de segurança.	46
Figura 20: Etapas do projeto luminotécnico.	49
Figura 21: Malha de iluminação para projeto e medição.	54
Figura 22: Distância de segurança horizontal.	58
Figura 23: Distância de segurança vertical.	59
Figura 24: Recurso de exibição das cores falsas.	61
Figura 25: Recurso de exibição das curvas Isolux.	62
Figura 26: Recurso numérico – rota de fuga 1.	63
Figura 27: Recurso numérico – rota de fuga 1, continuação.	63
Figura 28: Recurso numérico – rota de fuga 2.	64
Figura 29: Recurso numérico – rota de fuga 3.	65
Figura 30: Recurso numérico - rota de fuga 4.	66
Figura 31: Recurso numérico – rota de fuga 5.	67

Figura 32: Recurso numérico – rota de fuga 6.	68
Figura 33: Recurso numérico – ponto de encontro.	69
Figura 34: Posição das Luminárias	69
Figura 35: Modelo de rotação de projetores.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Extensão da rede básica de transmissão em km.	15
Tabela 2: Aspectos da estrutura da subestação.	52
Tabela 3: Requisitos gerais das luminárias.	53
Tabela 4: Iluminância média mínima.	53
Tabela 5: Parâmetros definidos para classe de iluminação.	54
Tabela 6: Ambiente de estudo e dimensões.	57
Tabela 7: Definição dos pontos da malha de iluminância.	57
Tabela 8: Características das luminárias.	60
Tabela 9: Iluminância média e uniformidade.	60
Tabela 10: Altura e ângulo de montagem das luminárias.	69
Tabela 11: Fator de manutenção para luminária externa.	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DWG	<i>Drawing</i>
E_{med}	Iluminância média
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ET	Especificação Técnica
FM	Fator de Manutenção
FMFL	Fator de Manutenção de Fluxo Luminoso da Lâmpada
FML	Fator de Manutenção da Lâmpada
FMSS	Fator de Manutenção da Superfície da Sala
FSL	Fator de Sobrevivência da Lâmpada
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDF	<i>Portable Document Format</i>
SE	Subestação
SIN	Sistema Interligado Nacional
TGVP	Tempo, Vapores, Gases e Pós
V_{cc}	Tensão em Corrente Contínua
VP	Valor de Ponderação
VP_s	Valor de Ponderação Selecionado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Geral.....	19
1.1.2	Específicos	19
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	21
2.1.1	Luz.....	21
2.1.2	Fluxo Luminoso.....	22
2.1.3	Intensidade Luminosa.....	22
2.1.4	Curva de Distribuição Luminosa	22
2.1.5	Iluminância.....	23
2.1.6	Luminância	23
2.1.7	Uniformidade	24
2.1.8	Ofuscamento	24
2.1.9	Temperatura de Cor Correlata.....	25
2.1.10	Ângulo de Abertura.....	26
2.1.11	Índice de Reprodução de Cor.....	26
2.1.12	Eficiência Luminosa.....	27
2.1.13	Fator de Manutenção.....	28
2.2	ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA	29
2.2.1	Sistemas Autocontidos (Bloco Autônomo).....	31
2.2.2	Sistemas Centralizados de Baterias Recarregáveis	32
2.3	MÉTODOS DE CÁLCULO	33
2.3.1	Método Ponto a Ponto	34
2.3.1.1	<i>Iluminamento Horizontal</i>	34
2.3.1.2	<i>Iluminamento Vertical</i>	35
2.4	NORMAS E DIRETRIZES TÉCNICAS	36
2.4.1	ABNT NBR 10898 – Sistema de Iluminação de Emergência.....	37
2.4.2	EN 1838:2013 – Aplicações de Iluminação – Iluminação de Emergência	40
2.4.3	ABNT NBR IEC 60529 – Graus de Proteção Providos por Invólucros (Códigos IP)	40
2.4.4	ABNT NBR 5101 – Iluminação Viária	42
2.4.5	Especificação Técnica nº 301-CHESF-ET-PJ-EM – Projetos Eletromecânicos de Subestações.....	45
3	METODOLOGIA DO PROJETO	48
3.1	APRESENTAÇÃO DA SUBESTAÇÃO	50
3.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	50
3.3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	51
3.3.1	Considerações Gerais Para Elaboração do Projeto Luminotécnico	51

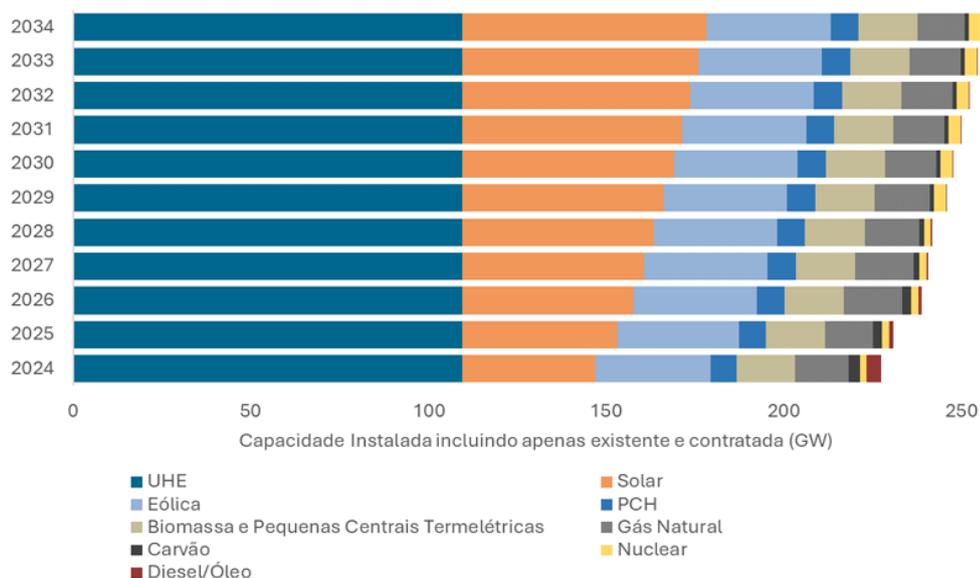
3.3.2	Número de Pontos da Grade de Cálculo	54
3.3.2.1	<i>Vias de Tráfego</i>	54
3.3.2.2	<i>Ponto de Encontro de Segurança</i>	56
3.3.3	Características e aplicação da luminária	57
3.3.4	Altura de Montagem	58
4	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	60
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICES	75
	ANEXOS	78

1 INTRODUÇÃO

A constante expansão dos sistemas energéticos é uma realidade urgente, visto que a capacidade energética de um país está intrinsecamente ligada ao seu crescimento econômico. Além disso, em decorrência da conscientização sobre os impactos ambientais, os países estão buscando fontes de energia limpa para suprir a necessidade de expansão. A matriz elétrica brasileira é predominantemente hidráulica, mas, ao longo dos anos, ela vem passando por uma diversificação, principalmente, com a inserção de fontes como eólica e solar na sua geração (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), prevê que o consumo de eletricidade tenha crescimento médio anual de 3,4% entre os anos de 2024 e 2034. Nesse período, também é prevista uma expansão do sistema elétrico, tomando como base a configuração do sistema até janeiro de 2024, decorrente de estudos, contratações em leilões regulados e entradas de novos empreendimentos pelo Ambiente de Contratação Livre (ACL), (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024). A Figura 1 apresenta a capacidade de geração do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Figura 1: Evolução da capacidade instalada existente e contratada do SIN.



Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024).

A geração no SIN é, majoritariamente, centralizada e está distante dos grandes centros de carga, sendo necessária uma malha de transmissão para escoar essa energia. A Tabela 1 mostra a extensão das linhas de transmissão no ano de 2023 e a perspectiva para 2028.

Tabela 1: Extensão da rede básica de transmissão em km.

Nível de Tensão (Kv)	Ano Base: 2023	Ano de Projeção: 2028
230	64.265	69.070
345	10.597	10.744
440	7.061	7.072
500/525	69.247	91.192
600	9.544	9.544
750	1.722	1.722
800	9.204	10.671

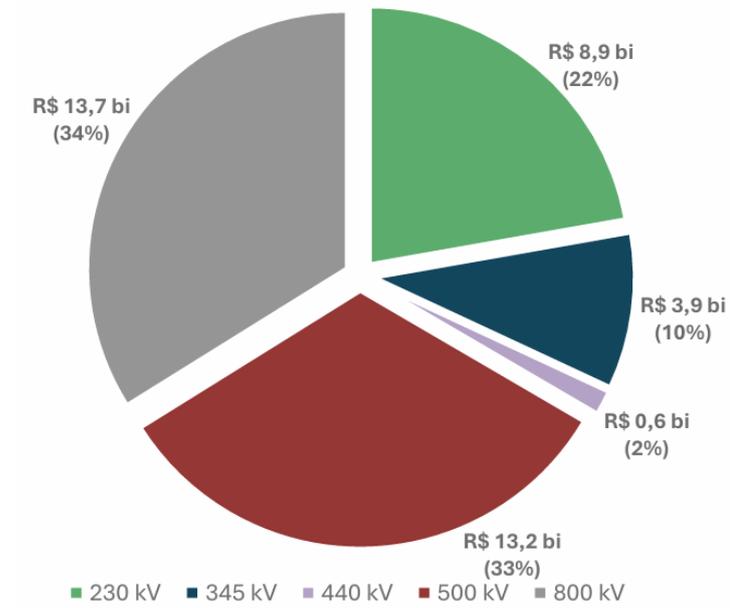
Fonte: (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2025).

Para aplicabilidade neste trabalho, o setor de transmissão será mais abordado, em especial as subestações da rede básica.

Baseando-se nos estudos da EPE de planejamento finalizados até maio de 2024 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024), têm-se cenários de expansão para prever o investimento no setor de transmissão no país. Três cenários são propostos: o otimista, o de referência e o pessimista. Cabe ressaltar que os cenários otimista e pessimista são casos extremos e pouco prováveis de acontecer, por isso, foca-se apenas no cenário de referência, elaborado com informações mais atualizadas sobre o SIN.

O cenário de referência prevê um investimento em torno de R\$ 128,6 bilhões, sendo R\$ 88,3 bilhões (69%) destinados a linhas de transmissão e R\$ 40,3 bilhões (31%) a subestações. Em relação às subestações, esse valor contempla os custos de transformadores, terrenos, edificações, casas de comando, equipamentos de compensação reativa, módulos de conexão e outros (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024). A Figura 2 apresenta o investimento em subestações por nível de tensão e a Figura 3 apresenta um mapa da localização das subestações da rede básica.

Figura 2: Cenários de referência; SEs por nível de tensão.



Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024)

Figura 3: Mapa de subestações.



Fonte: (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2025).

As subestações são parte essencial do sistema elétrico, contudo, as de distribuição não são o foco desse trabalho. Toda a abordagem é feita em relação às

subestações da rede básica que possuem duas funções no sistema elétrico (NEOENERGIA, 2024):

- Transformadora: converte a tensão de suprimento para um nível diferente. Pode ser elevadora ou abaixadora;
- Subestação de manobra ou seccionadora: responsável pela interligação entre circuitos de suprimento sob mesmo nível de tensão;

Por ser indispensável ao SIN, a construção, operação e manutenção de uma subestação deve seguir rigorosas normas técnicas a fim de garantir a operação adequada do sistema elétrico, bem como a segurança das instalações e principalmente de pessoas que atuam nesse ambiente. Um dos processos que se aplica a um ambiente de subestação é a iluminação de emergência.

Para a sua aplicação em pátios de subestações, a atuação do sistema de emergência é requerida quando a iluminação normal do pátio falhar. Para subestações externas, ela se torna essencial em intervenções realizadas no período noturno.

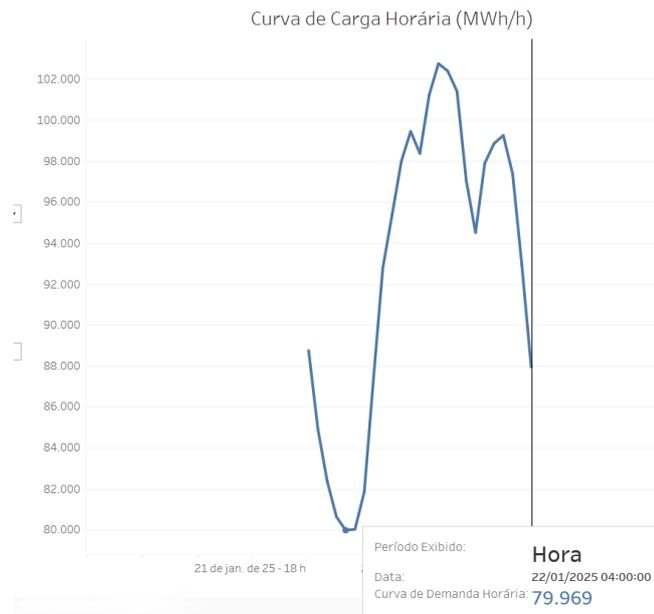
Intervenções solicitadas são permitidas pelo ONS segundo o Submódulo 4.2 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, ONS, 2023), onde analisa e considera certas condições. Entre elas podemos citar:

- Intervenções de urgência podem ser realizadas em qualquer período de carga, mas deve-se buscar o período mais favorável para o SIN.
- Intervenções solicitadas por consumidores livres que acarretem interrupções ou riscos para suas cargas poderão ser realizadas em qualquer período de carga, desde que não acarretem problemas operativos para o SIN.
- As intervenções não devem ser programadas com início ou término no período entre 17h00 e 22h00 fora do horário de verão, tomando como referência o horário oficial de Brasília.

A Figura 4 exibe a curva de carga para o dia 22/01/2025. É possível perceber os períodos de maior e menor demanda para o sistema elétrico, identificando assim que o horário mais favorável para o SIN é durante o período de 00h00 às 05h00. É evidente que intervenções urgentes ou programadas podem ocorrer no período noturno, sendo,

então, necessário que a iluminação de pátio garanta a realização segura de atividades nas subestações. E em emergências, é essencial o sistema de iluminação de emergência para garantir a evacuação de pessoas para áreas seguras.

Figura 4: Evolução da curva de carga diária do SIN em um dia e menor demanda.



Fonte: (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2025).

Segundo a Norma Regulamentadora nº 10 (BRASIL, 2019), no item 10.13.3, as empresas são responsáveis, em caso de acidentes de trabalho envolvendo serviços em eletricidade, por propor e adotar medidas preventivas e corretivas. Investir e aplicar um sistema de iluminação de emergência para pátios de subestações é uma medida preventiva. Mesmo com a automação das subestações e o tempo de permanência de pessoas neste ambiente ser reduzido, é de extrema importância que as empresas responsáveis pelo empreendimento avaliem qualquer possibilidade de risco a fim de garantir a segurança dos colaboradores. A escolha do tipo de sistema de emergência, bem como os equipamentos utilizados no projeto, devem se basear nas normas vigentes, bem como na configuração do ambiente onde esse sistema atua.

O objetivo desse trabalho é elaborar um processo de segurança já consolidado, que é a iluminação de emergência e aplicá-lo em um pátio de subestação.

Posto isso, espera-se que ao final deste trabalho, seja exposto um projeto de iluminação de emergência eficiente e viável, assim como sua aplicabilidade em pátios de manobra.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Realizar um estudo para propor sistemas de iluminação de emergência em pátios de subestações visando a garantia da segurança dos colaboradores que atuarão nesses ambientes.

1.1.2 Específicos

Para garantir o objetivo acima, fez-se necessário:

- Aplicar as recomendações de normas nacionais e estrangeiras, bem como diretrizes técnicas de agentes dos setores de transmissão de energia elétrica a pátios de subestações;
- Apresentar e verificar a metodologia de cálculo e exibir os resultados luminotécnicos através de *softwares* específicos.

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho será dividido em três capítulos principais:

Fundamentação Teórica, em que se realiza uma ampla pesquisa acerca de procedimentos, técnicas e normas para um estudo de caso da implementação de um sistema de iluminação de emergência em pátios de subestações.

Metodologia do Projeto, no qual através do acesso a documentos pertinentes do ambiente de estudo, como plantas em CAD e outros documentos em PDF, deu-se início à modelagem do cenário de estudo através do *software* DIALux evo® 12.1, que

possibilita a modelagem de ambientes e possui uma ampla base de dados de luminárias e suas características fotométricas. A seguir, são feitas inúmeras simulações para o cenário base, modificando o tipo de luminária, a localização, a direção e o ângulo de incidência do fluxo luminoso. Após cada simulação, houve a avaliação das características encontradas e verificação do atendimento dos parâmetros exigidos, definidos durante a realização das pesquisas.

E finalmente, Resultados, ao encontrar o cenário ideal, apresentação dos resultados através de parâmetros e métricas específicas de luminotécnica, além da comparação e validação com requisitos das normas vigentes abordadas e recursos gráficos oriundos do *software* de simulação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

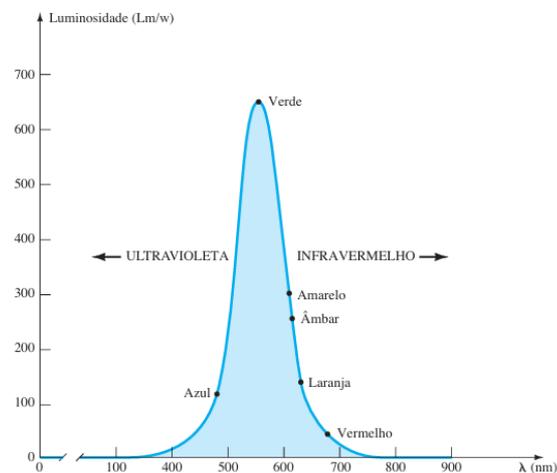
Neste capítulo, serão apresentados conceitos básicos de luminotécnica e iluminação de emergência, além de normas relevantes para a elaboração de projetos que visam a segurança de pessoas.

2.1 Conceitos Luminotécnicos

2.1.1 Luz

A luz pode ser considerada uma forma de radiação eletromagnética visível ao olho humano. Contudo, ela é apenas uma parte do que se conhece como espectro eletromagnético (CLEGG, BALL, *et al.*, 2017). As ondas eletromagnéticas podem ser divididas em diversos comprimentos de frequência e onda, e esse agrupamento é o espectro eletromagnético. O espectro visível compreende uma pequena fração dos diferentes tipos comprimento de onda e frequência (KHAN ACADEMY, 2024). O intervalo de comprimento de onda que há a resposta do olho humano é entre 350 e 800nm, tendo um pico máximo próximo de 550 nm, como ilustrado na Figura 5. (BOYLESTED e NASHELK, 2013).

Figura 5: Resposta padrão do olho humano.



Fonte: (BOYLESTED e NASHELK, 2013).

2.1.2 Fluxo Luminoso

Quantidade de luz produzida por uma lâmpada em todas as direções, capaz de produzir estímulo visual. Sua unidade é o lúmen (lm) (VIANA, 2021). Também pode ser definido como a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Contudo, não pode ser expresso em watts, já que é função da sensibilidade do olho humano, cuja a percepção varia com o espectro eletromagnético visto anteriormente (MAMEDE FILHO, 2017).

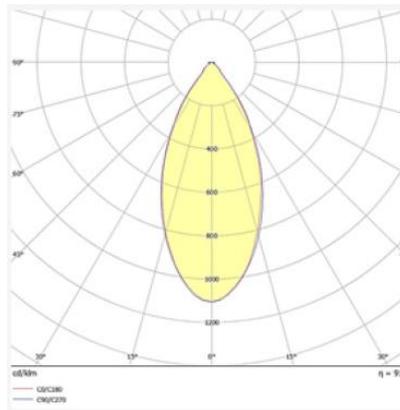
2.1.3 Intensidade Luminosa

É definida como potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite em uma direção específica. Sua unidade é candela (cd) (MAMEDE FILHO, 2017). Observa-se que as fontes de luz não emitem fluxo de luz uniformemente em todas as direções, por essa razão uma curva de distribuição luminosa é produzida para cada luminária e deve constar no catálogo técnico da mesma.

2.1.4 Curva de Distribuição Luminosa

É a representação da distribuição da intensidade luminosa nas diferentes direções. Trata-se de um diagrama polar em que a luminária é reduzida a um ponto no centro do diagrama, onde as intensidades luminosas, em função do ângulo formado com a vertical, são medidas e registradas (CREDER, 2016). A Figura 6 mostra uma curva de distribuição na forma polar.

Figura 6: Curva de distribuição luminosa, luminária LED.



Fonte : (NAVILLE, 2023).

2.1.5 Iluminância

Corresponde ao fluxo luminoso incidente em uma determinada superfície por unidade de área; sua unidade é o lux. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância é diferente para diversos pontos no ambiente, por isso, na prática, considera-se a iluminância média (MAMEDE FILHO, 2017).

Os valores recomendados de iluminância média para inúmeros ambiente, internos ou externos, são propostos em normas como, ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1 (2013) (Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior), ABNT NBR 5110 (2024) (Iluminação viária – Procedimentos) e NP EM 12464-2-201- versão portuguesa (2017) (Luz e iluminação – Iluminação nos locais de trabalho – Parte 2: Locais de trabalho no exterior).

2.1.6 Luminância

Refere-se a intensidade luminosa que atinge o observador e que pode ser proveniente da reflexão de uma superfície ou de uma fonte de luz. Ela é dada pela relação entre a intensidade na direção considerada e a área aparente da superfície de onde provém o fluxo luminoso (CRISTINA, RICARDO, *et al.*, 2011). A Figura 7 apresenta as três grandezas da luminotécnica.

Figura 7: Grandezas luminotécnicas.



Fonte: (JUNIOR, 2024)

2.1.7 Uniformidade

É a razão entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância. A área da tarefa deve ser iluminada o mais uniforme possível, não podendo ter a uniformidade menor que 0,7; além disso, seu entorno imediato não pode ter uniformidade inferior a 0,5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

2.1.8 Ofuscamento

É a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto um ofuscamento inabilitador. O ofuscamento desconfortável geralmente surge de luminárias brilhantes ou janelas, já o ofuscamento inabilitador é mais comum na iluminação exterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). É importante limitar o ofuscamento a fim de evitar erros, fadiga e acidentes.

2.1.9 Temperatura de Cor Correlata

Expressa a aparência de cor da luz emitida por uma fonte de luz. A sua unidade de medida é o Kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade da cor da luz, (CRISTINA, RICARDO, *et al.*, 2011). A Figura 8 apresenta a escala de temperatura de cor.

Figura 8: Faixas da temperatura de cor (K).



Fonte: (WETZEL S/A, 2024).

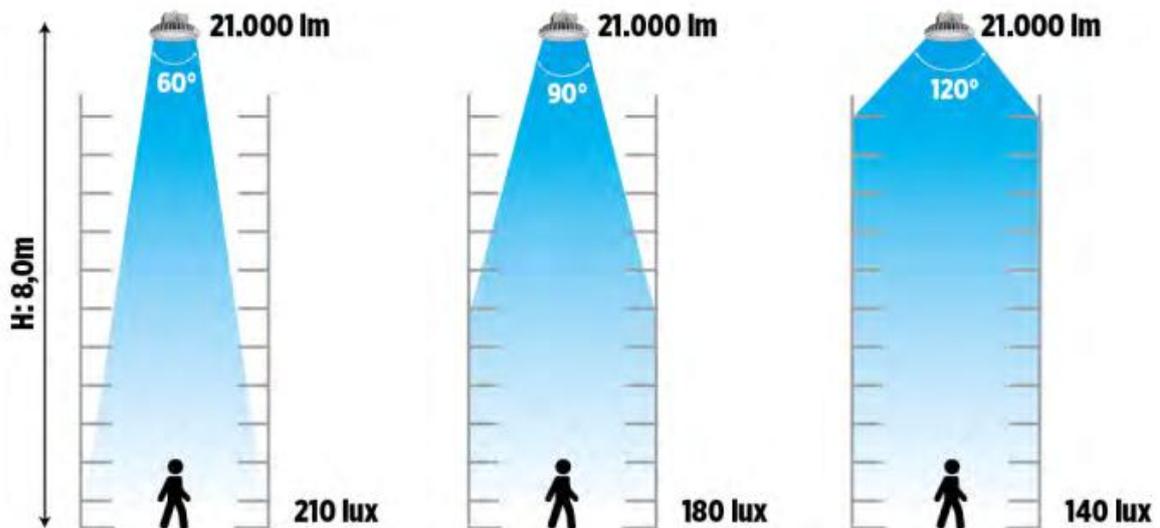
A concepção dessa faixa de temperatura de cor relaciona-se com a temperatura e a cor apresentadas quando um corpo negro é aquecido. Um corpo negro é definido como um meio ou substância que absorve toda energia incidente sobre ele. Nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida (SECO, 2012). Sendo também um emissor ideal, a escala de temperatura de cor é construída com a variação de sua tonalidade à medida que a temperatura aumenta.

Ao se aumentar gradativamente a temperatura de um corpo, ele começa a emitir luz visível: inicialmente vermelha, em seguida alaranjada, amarela, branca, azul e, em altas temperaturas chegando à região do ultravioleta do espectro eletromagnético (DIONÍSIO, 2005).

2.1.10 Ângulo de Abertura

O fecho de luz, ou ângulo de abertura (expresso em graus), é a distribuição da intensidade da luz medida a partir do seu centro (ângulo zero), onde a intensidade é máxima, até atingir 50% do nível dessa intensidade (WETZEL S/A, 2024). Ângulos mais fechados são recomendados para iluminação de realce ou de trabalho, enquanto ângulos mais abertos são usados para iluminação geral, onde é necessária uma iluminação mais uniforme (NORMO, 2024). A Figura 9 demonstra a distribuição da iluminância de acordo com o ângulo de abertura de uma fonte de luz.

Figura 9: Ângulo de abertura de uma fonte de luz.



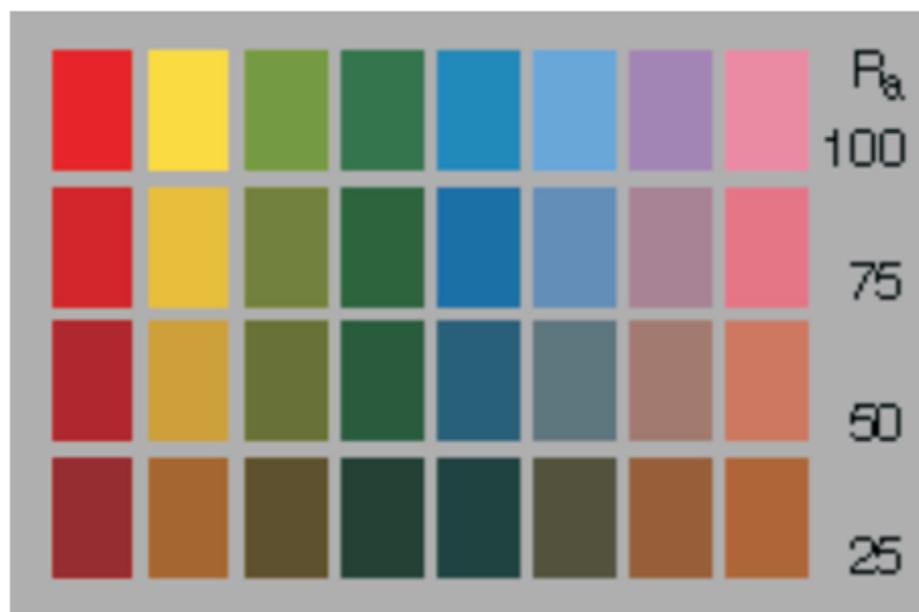
Fonte: Catálogo LED Wetzzel (2024).

2.1.11 Índice de Reprodução de Cor

Representa a capacidade de reprodução da cor de um objeto diante de uma fonte de luz. O Índice de Reprodução de Cor, IRC faz uma correspondência entre a cor real de um objeto e a que ele está apresentando quando exposto a uma fonte de luz (CRISTINA, RICARDO, *et al.*, 2011), seu símbolo é IRC ou Ra. Convencionalmente sua unidade é a porcentagem, ou seja, esse índice varia em uma escala de 0 a 100%.

Uma fonte de luz com IRC de 100% oferece máxima qualidade na reprodução de cores sendo mais próximo da luz natural, com fidelidade e precisão. Quanto mais baixo o índice, mais deficiente é a reprodução de cores. Os índices dependem da natureza da luz e são propostos de acordo com o uso no ambiente (COSTA, 2006). A Figura 10 expõe a diferença na percepção das cores com fontes de luz de diferentes IRCs.

Figura 10: Reprodução de cores.



Fonte: (CRISTINA, RICARDO, *et al.*, 2011).

2.1.12 Eficiência Luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida por unidade de tempo (potência) por uma fonte de luz. Quanto maior a eficiência luminosa de uma lâmpada e de equipamentos, menor será seu consumo de energia. Sua unidade é lúmen por watt (lm/W) (CRISTINA, RICARDO, *et al.*, 2011).

2.1.13 Fator de Manutenção

Com o aumento do tempo de serviço, o fluxo luminoso entregue por um sistema de iluminação diminui com o envelhecimento da lâmpada e o acúmulo de sujeira. A fim de garantir que um nível específico de iluminação, expresso pela iluminância mantida, seja alcançado por período razoável, um fator de manutenção adequado precisa ser aplicado, a fim de que seja levado em consideração a diminuição do fluxo luminoso no sistema, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). O fator de manutenção é a relação entre a iluminância mantida e o nível de iluminância quando o sistema de iluminação for novo.

Para determinar o fator de manutenção (FM), aplicamos a equação abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013):

$$FM = FMFL \times FSL \times FML \times FMSS \quad (2.1)$$

Onde:

FMFL (Fator de Manutenção do Fluxo Luminoso) – considera a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada;

FSL (Fator de Sobrevivência da Lâmpada) – considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada;

FML (Fator de Manutenção da Luminária) – considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias;

FMSS (Fator de Manutenção das Superfícies de Sala) – considera a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies do ambiente.

Os valores dos fatores de manutenção individuais podem ser obtidos através dos fabricantes ou em curvas de valores-padrão médios fornecidos em publicações como as da Comissão Internacional de Iluminação, abreviada com CIE do seu nome em francês, CIE 97:2005 ou CIE 154:2003.

As publicações citadas explicitam os valores para tecnologias como lâmpadas fluorescentes e vapores metálicos. Atualmente, a tendência é aplicação de LED em projetos de iluminação, tornando necessária certas considerações para determinar o fator de manutenção. Nesse contexto, a publicação ISO/CIE TS 22012 (2019) surge

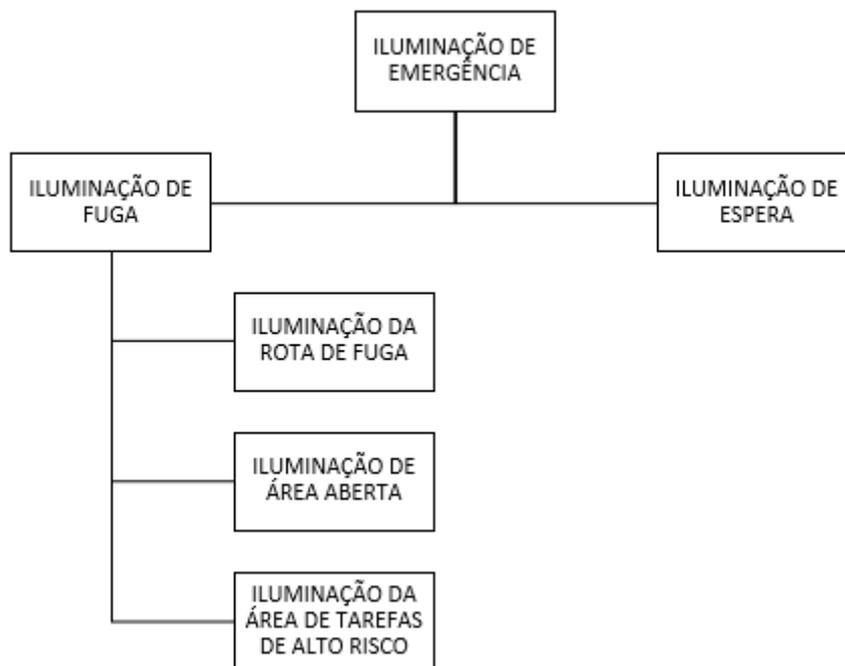
para suprir essa necessidade. Através do website da empresa Hangzhou ZGSM (HANGZHOU ZGSM TECHNOLOGY, 2023) é possível ter acesso às considerações feitas nessa publicação, podendo assim encontrar os fatores de manutenção individuais para o uso de LED. As definições, junto com as equações serão dispostas no apêndice A.

2.2 Iluminação de Emergência

O principal objetivo da iluminação de emergência é fornecer condições visuais que possam aliviar o pânico e facilitar a evacuação mais segura dos ocupantes das edificações durante a falha do fornecimento normal de energia ou iluminação, tanto em condições claras (sem fumaça) e cheias de fumaça (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023)

Segundo a norma EN 1838 (2013), o termo iluminação de emergência é considerado genérico, do qual há uma série de formas específicas, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: Conceitos específicos de iluminação de emergência.



Fonte: Adaptado de (COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO, 2013).

O objetivo da iluminação de fuga é garantir a saída segura de um local em caso de falha do fornecimento normal. Os conceitos dentro desta categoria serão explanados a seguir (COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO, 2013):

- O objetivo da iluminação de rotas de fuga é auxiliar os ocupantes a saírem com segurança de um local, fornecendo condições visuais adequadas e orientação nas rotas de fuga e em locais especiais. Além disso deve garantir que os equipamentos de segurança e combate a incêndio possam ser facilmente localizados e utilizados. Por sua vez, rotas de fuga são caminhos contínuos sem obstáculos, devidamente protegidos e sinalizados, a serem percorridos pelo usuário em caso de emergência até uma área segura da edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).
- O objetivo da iluminação de área aberta (antipânico) é reduzir a probabilidade de pânico e permitir o movimento seguro dos ocupantes em direção às rotas de fuga, fornecendo condições visuais e localização de direções apropriadas.
- O objetivo da iluminação de áreas de tarefas de alta risco é contribuir para a segurança das pessoas envolvidas em processos ou situações potencialmente perigosas e auxiliar na execução de procedimentos de desligamento adequados para a segurança de outros ocupantes do local.

Para a iluminação de esperar, seu objetivo é permitir que as atividades normais continuem quando a rede elétrica falha. Pode-se notar que a iluminação de espera se faz necessária nos ambientes em que as atividades devem prosseguir (HONEY, 2001).

Ao se projetar um sistema de iluminação de emergência, deve-se ter em mente alguns requisitos, como confiabilidade, segurança, manutenção, investimento, vida útil, aplicação, *layout* do ambiente, entre outros. Segundo a NBR 10898 (2023), podemos dividir em quatro tipos de sistemas de iluminação de emergência:

- Sistemas autocontidos (blocos autônomos);
- Sistemas centralizados com baterias recarregáveis;

- Sistemas centralizados através de UPS (Fonte de alimentação ininterrupta);
- Sistema centralizado através de grupo gerador motor.

Para a aplicabilidade neste trabalho, apenas os sistemas autocontidos e centralizados com baterias recarregáveis serão abordados. A escolha do sistema se dará com base nos requisitos citados acima que se adequam ao ambiente de um pátio de subestação.

2.2.1 Sistemas Autocontidos (Bloco Autônomo)

Um bloco autônomo é uma luminária que fornece iluminação de emergência do tipo permanente ou não permanente, na qual todos os elementos, como bateria, lâmpada, unidade de controle e dispositivos de testes e monitoramento, quando fornecido, estão contidos no interior da luminária (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

A iluminação permanente é aquela onde as lâmpadas de emergência são alimentadas pela rede elétrica padrão o tempo todo, sendo comutadas automaticamente para uma fonte de energia alternativa em caso de falha da fonte normal. Esse tipo de iluminação é requerido em locais que exigem iluminação contínua, como escadas (CORPO DE BOMBEIROS GOIÁS, 2012).

A iluminação não permanente é aquela que a luminária de emergência só atua quando da ocorrência da falha da iluminação normal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

As vantagens e desvantagens desse tipo de sistema são abordadas a seguir (HONEY, 2001).

Vantagens:

- A instalação é rápida e barata, é facilmente expandido e adaptado conforme as necessidades da construção.
- A fiação é do mesmo tipo de cabo usado para as outras áreas do ambiente.

- A falha de uma luminária não acarretará problemas para nenhuma outra.
- Necessitam uma manutenção mínima.

Desvantagens:

- As luminárias são relativamente caras, pois possuem uma bateria e um sistema de controle.
- As baterias têm vida útil limitada.

2.2.2 Sistemas Centralizados de Baterias Recarregáveis

O sistema de bateria central é um tipo de sistema em que as baterias (fonte de alimentação) para um número de luminárias são alojadas em um local distante delas. É normal que esse sistema seja projetado para ter uma duração de três horas em estado de emergência. Contudo, em certas aplicações uma hora de duração pode ser aceitável (HONEY, 2001).

O sistema centralizado deve ser composto por uma central de comando, um sistema de supervisão, um carregador e baterias recarregáveis com tensão de saída de até 30 Vcc, além de saídas com circuitos balanceados e luminárias. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023)

Uma consideração importante em relação ao nível de tensão de saída das baterias, para grandes sistemas de baterias, com muitas luminárias e alimentação demasiadamente distante da carga, é que outros níveis de tensão podem utilizados, para atender critérios como por exemplo a queda de tensão.

As vantagens e desvantagens desse tipo de sistema são abordadas a seguir (HONEY, 2001).

Vantagens:

- Um bom controle de carregamento da bateria pode ser feito porque apenas uma unidade central é utilizada;
- O custo por watt de energia é baixo;
- As baterias têm uma longa vida útil em relação a sistemas autônomos;

- Os testes e manutenção são mais fáceis de realizar do que em sistemas autônomos;
- As baterias são substituídas de forma rápida e fácil.

Desvantagens:

- Os custos de instalação são mais altos que os do sistema autônomo;
- Uma falha na bateria desabilitará todo o sistema;
- É mais complexo organizar a operação no caso de falha da rede elétrica;
- Certos tipos de bateria devem ser colocados em lugares ventilados.

2.3 Métodos de Cálculo

Para a elaboração de um projeto luminotécnico eficiente, é necessário a utilização de métodos de cálculo, sejam eles manuais ou realizados por meio de *softwares* como DIALux, Relux, AGI32, entre outros. Os métodos mais comuns são o método de lúmens e o método ponto a ponto.

O método dos lúmens geralmente é o mais utilizado, pois considera a quantidade total de fluxo luminoso necessária para determinado ambiente, baseada no tipo de atividade desenvolvida, nas refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso) e nos tipos de equipamentos (luminárias, lâmpadas e equipamentos) escolhidos. Este método considera ambientes retangulares, superfícies de reflexão difusa e um tipo único de luminária, levando em conta a sua distribuição uniforme (KAWASAKI, 2012).

O método ponto a ponto, também chamado de “método das intensidades luminosas”, é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação à distância do plano a ser iluminado. Por meio deste método, é possível determinar a iluminância em qualquer ponto das superfícies, utilizando cálculos trigonométricos que consideram as fontes luminosas existentes no ambiente. A iluminância total pelo método ponto a ponto é a soma das iluminâncias advindas de cada fonte luminosa, cujo fecho atinge o ponto considerado (KAWASAKI, 2012)

Considerando as características de cada método, o mais adequado para um projeto luminotécnico de um pátio de subestação é o método ponto a ponto, cujos aspectos serão comentados a seguir.

2.3.1 Método Ponto a Ponto

O método ponto a ponto considera que o fluxo luminoso pode atingir tanto o plano horizontal como o vertical, estabelecendo, assim, dois tipos de iluminação, que recebem o nome de acordo com o tipo de plano que iluminam.

2.3.1.1 Iluminamento Horizontal

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano horizontal e é determinado pela equação (2.2) (MAMEDE FILHO, 2017).

$$E_h = \frac{I \times \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (2.2)$$

Em que:

E_h – Iluminamento horizontal, em lux;

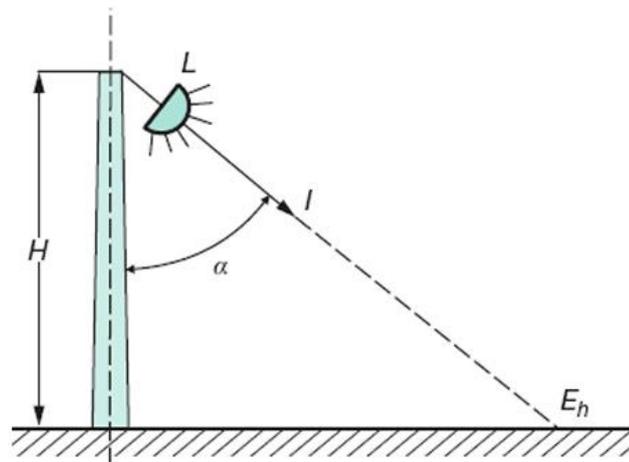
I – Intensidade do fluxo luminoso, em cd;

α – Ângulo entre dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

H – Altura vertical da luminária, em m.

A Figura 12, mostra as grandezas geométricas da equação (2.2).

Figura 12: Iluminamento horizontal.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

2.3.1.2 Iluminamento Vertical

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano vertical e é determinado pela equação (2.3) (MAMEDE FILHO, 2017).

$$E_v = \frac{I \times \text{sen}^3 \alpha}{D^2} \quad (2.3)$$

Em que:

E_v – Iluminamento vertical, em lux;

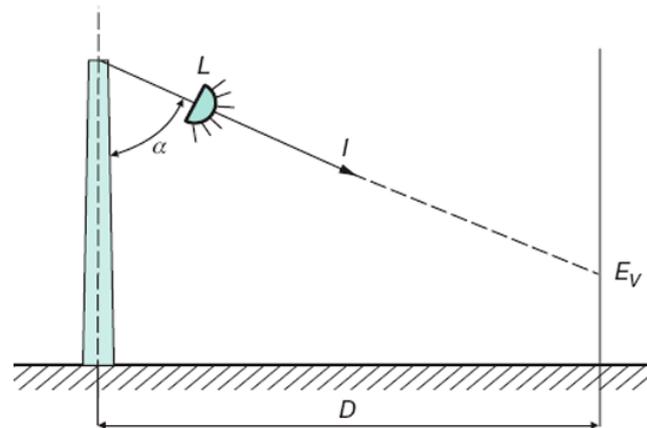
I – Intensidade do fluxo luminoso, em cd;

α – Ângulo entre dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

D – Distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical, em m.

A Figura 13, apresenta os parâmetros geométricos da equação (2.3).

Figura 13: Iluminamento vertical.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2017).

Para encontrar o iluminamento total de uma área, será somado iluminamento, seja ele horizontal ou vertical, de cada luminária no ambiente, o que torna necessário múltiplos cálculos das grandezas trigonométricas. Além disso, é preciso interpretar as curvas de distribuição que serão geradas por cada luminária e pelo conjunto. Isso resulta em um trabalho árduo; faz-se, então, fundamental o uso de *softwares* como os já mencionados. Para o estudo neste trabalho será avaliado apenas o iluminamento horizontal, visto que é essa equação que fornece o iluminamento no nível do solo.

2.4 Normas e Diretrizes Técnicas

O projeto de uma subestação está sujeito a rigorosas normas técnicas, sejam elas nacionais ou estrangeiras. O não cumprimento dessas normas pode acarretar em atrasos na construção, risco de acidentes, aumento dos custos, impedimento da conexão da subestação ao SIN, entre outros.

Atualmente, não há uma norma específica sobre iluminação de pátio nem sobre iluminação de emergência para pátios. Por isso, faz-se necessário o estudo de diversas normas para definir as características necessárias à elaboração de um projeto de iluminação de emergência para um pátio de subestação que seja satisfatório e, o mais importante, que garanta a evacuação segura da subestação em casos de emergência.

As normas consultadas são apresentadas a seguir, bem como os procedimentos, exigências e recomendações que podem ser aplicadas à iluminação de emergência de um pátio de subestação.

2.4.1 ABNT NBR 10898 – Sistema de Iluminação de Emergência

Essa norma apresenta os requisitos mínimos para elaboração de um projeto de iluminação de emergência. Apesar da norma se direcionar para a iluminação de edificações, certas definições e exigências podem ser válidas para um ambiente externo, como o pátio de subestações. O objetivo desse tópico é apresentar os requisitos que serão utilizados para a elaboração do projeto luminotécnico de emergência.

Entre as considerações gerais, podemos apontar os locais em que se deve enfatizar a colocação de luminárias ou garantir um iluminância apropriada, que são os seguintes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023):

- a) Em qualquer mudança de nível vertical;
- b) Em cada mudança de direção;
- c) Em cada interseção;
- d) Em cada posto de primeiros socorros;
- e) Em cada equipamento de combate a incêndio.

Os itens a, d e e devem ser iluminados a um mínimo de 5 lx no piso. Em locais planos a iluminação deve assegurar um nível de iluminamento mínimo de 3 lx.

Em áreas de tarefas de alto risco, a iluminância de emergência mantida no plano de referência não pode ser inferior a 10% da iluminância mantida requerida para aquela tarefa, contudo, não pode ser inferior a 15 lx.

Para iluminação de áreas de circulação aberta, que se entende como pontos de encontro de segurança, a iluminação ao nível horizontal não pode ser inferior a 1 lx ao nível do piso.

Ao se optar por blocos autônomos os seguintes requisitos que devem ser atendidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023):

- O dispositivo de comutação para ativar a iluminação de emergência na falta total ou parcial da tensão da rede local, com chaveamento do estado de supervisão para o estado de emergência, com valor da rede elétrica 60% da nominal, deve atuar em 2 s;
- A carga total da bateria deve ocorrer em no máximo 24 h, garantindo 100% da autonomia especificada pelo fabricante;
- A temperatura de cor deve ser igual ou superior a 3000 K e no máximo 6000 K;
- O fluxo luminoso deve ser igual ou superior a 300 lm.

Se a escolha for por um sistema centralizado de baterias recarregáveis os seguintes requisitos devem ser atendidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023):

- A central de baterias deve possuir carregador com recarga automática de acordo com o tipo de bateria utilizada;
- A recarga total das baterias deve ocorrer no período máximo de 24 h;
- A central de iluminação de emergência deve ativar a iluminação de emergência na falta total ou parcial da tensão da rede local, com chaveamento do estado de supervisão para o estado de emergência, com valor da rede elétrica 60% da nominal, deve atuar em 2 s. Para o retorno do estado de supervisão, a comutação deve ocorrer quando a tensão de rede elétrica da concessionária for de 85% da tensão nominal.
- O sistema centralizado de baterias recarregáveis deve prever que as condições necessárias para garantir que as baterias utilizadas alcancem a vida estimada de no mínimo 4 anos.
- Para baterias ou conjuntos de baterias superiores a 50 Ah, o local de instalação das baterias deve ser protegido e ventilado com paredes e portas a fim de evitar a penetração de fogo por no mínimo 2 h.
- As luminárias que vierem a ser utilizadas no sistema devem ter, temperatura de cor igual ou superior a 3000 K e no máximo 6000 K, além de ter o fluxo luminoso superior a 300 lm.

O invólucro das luminárias, projetores ou blocos autônomos deve suportar influências externas que comprometa a vida útil, o funcionamento e a segurança do equipamento. A norma NBR IEC 60529 (2017) caracteriza os tipos de graus proteção que esses invólucros podem ter e onde cada equipamento pode ser utilizado de acordo com esse grau. A definição e os tipos de graus de proteção serão discutidos mais à diante.

A distância entre os pontos de luz deve seguir a Figura 14, considerando o valor mínimo de 3 lx, para locais planos e sem obstáculos.

Figura 14: Tabela de referências de distâncias x lúmens.

Fluxo luminoso da luminária (lm)	Ponto de luz instalado no teto	Ponto de luz instalado na parede	Ponto de luz instalado no teto ou na parede	Ponto de luz instalado no teto ou na parede
	Altura máxima em relação ao piso (m)	Altura máxima em relação ao piso (m)	Distância máxima do ponto de luz em relação à parede do começo e/ou final do corredor (m)	Distância máxima entre os pontos de luz
300	---	1,8	3,6	7,2
	2,2	2,2	4,4	8,8
400	---	1,8	3,6	7,2
	2,2	2,2	4,4	8,8
	2,5	2,5	5,0	10,0
500	---	1,8	3,6	7,2
	2,2	2,2	4,4	8,8
	2,5	2,5	5,0	10,0
	2,8	2,8	5,6	11,2
	3,0	3,0	6,0	12,0
750	3,5	---	7,0	14,0
	3,75	---	7,5	15,0
	5	---	7,5	15,0
1 000	3,75	---	7,5	15,0
	5	---	7,5	15,0
	7	---	7,5	15,0
1 500	8	---	7,5	15,0
	9	---	7,5	15,0
	10	---	7,5	15,0
2 000	11	---	7,5	15,0
	12	---	7,5	15,0

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).

A fim de identificar as cores de segurança, o valor mínimo para o índice de reprodução de cor R_a de uma lâmpada deve ser > 40 .

2.4.2 EN 1838:2013 – Aplicações de Iluminação – Iluminação de Emergência

A EN 1838 (2013) é a norma europeia que trata de iluminação de emergência. De maneira similar à NBR 10898 (2023), ela trata principalmente de ambientes interiores; contudo, algumas definições e procedimentos podem ser empregados no pátio de uma subestação. Muitos dos conceitos dessa norma são comuns a NBR 10898 (2023), atendendo, assim aos requisitos de segurança. Entretanto uma consideração sobre rotas de fuga se mostra útil na elaboração do projeto luminotécnico.

Para rotas de fuga até dois metros de largura, as iluminâncias horizontais no piso ao longo da linha central de uma rota de fuga não devem ser menores que 1 lx. Rotas de fuga mais largas podem ser tratadas como um número de faixas de dois metros de largura (COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO, 2013).

2.4.3 ABNT NBR IEC 60529 – Graus de Proteção Providos por Invólucros (Códigos IP)

O objetivo dessa norma é estabelecer:

- a) Definições para os graus de proteção para os invólucros dos equipamentos elétricos considerando a proteção de pessoas contra o acesso às partes no interior do equipamento, proteção do interior dos equipamentos contra o ingresso de objetos sólidos estranhos e contra o ingresso de água ao interior do equipamento;
- b) Designações destes graus de proteção;
- c) Requisitos para cada designação.

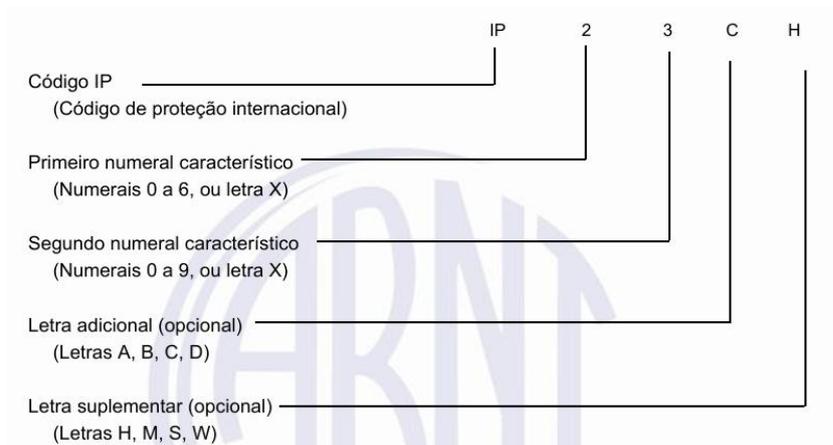
Entre as definições que a norma apresenta, duas cabem ao escopo desse trabalho, são as seguintes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017):

- Grau de proteção – nível de proteção provido por um invólucro contra acesso às partes perigosas, contra ingresso de objetos sólidos estranho ou água.

- Código IP – sistema de codificação para indicar os graus de proteção providos por um invólucro contra acesso às partes perigosas, contra ingresso de objetos sólidos estranho ou água e para dar informações adicionais com relação a cada proteção.

A Figura 15 apresenta a construção do código IP. É importante salientar que, onde não for requerido um numeral específico, deve-se substituir pela letra “X”; além disso, as letras adicionais podem ser omitidas.

Figura 15: Disposição do código IP.



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Usualmente, apenas os numerais são suficientes para especificar o equipamento e onde ele pode ser aplicado, a Figura 16 exhibe os números que são aplicados no código e o grau de proteção que eles definem.

Figura 16: Fluxograma dos elementos do código IP.

Elemento	Numeral ou letras	Significado para proteção do equipamento	Significado para proteção de pessoas
Código de letras	IP	–	–
Primeiro numeral característico	0 1 2 3 4 5 6	Contra o ingresso de objetos sólidos estranhos (não protegido) ≥ 50 mm de diâmetro ≥ 12,5 mm de diâmetro ≥ 2,5 mm de diâmetro ≥ 1 mm de diâmetro protegido contra poeira totalmente protegido contra poeira	Contra o acesso às partes perigosas com: (não protegido) dorso da mão dedo ferramenta fio fio fio
Segundo numeral característico	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Contra o ingresso de água com efeitos prejudiciais (não protegidos) gotejamento vertical gotejamento (inclinação 15°) aspersão projeções d'água jatos d'água jatos potentes imersão temporária imersão contínua jatos d'água com alta pressão e temperatura	–

Fonte: Adaptado de (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Para um ambiente externo como o pátio de uma subestação, a luminária ou o projetor estará exposta à sujeira e à chuva. Ela não ficará em contato com pessoas, devido à altura que normalmente é utilizada, além de uma subestação ser um local onde há uma restrição de entrada para o público. Sendo assim, pode-se inferir que o primeiro numeral característico é o número 6. Já o segundo, a faixa de valores entre 5 e 7 atenderia a uma situação de pluviosidade.

2.4.4 ABNT NBR 5101 – Iluminação Viária

Subestações de transmissão de alta tensão possuem dimensões amplas, sendo necessária a construção de vias para locomoção tanto de pessoas quanto de veículos. Na elaboração da rota de fuga para esse trabalho, se utilizarão as vias já existentes a fim de facilitar o deslocamento em emergências.

A utilização da norma de iluminação viária se dará para complementar a elaboração do projeto luminotécnico para um ambiente externo, já que a norma em questão se adequa bastante às características do ambiente de uma subestação. Tomando como base os requisitos básicos, os definidos na seção de iluminação de emergência, serão apresentadas aqui as características que também satisfaçam uma iluminação externa e noturna adequada.

Para a elaboração de uma iluminação satisfatória, precisa-se definir o tipo de tráfego que passará por essa via. A norma NBR 5101 (2024), divide a classificação em três tipos: M, C e P.

A classe M compreende as vias de tráfego exclusivo de veículos motorizados em circulação livre, sem a presença de pedestres.

A classe C compreende as áreas de conflito e as vias de tráfego cuja composição é principalmente motorizada. Áreas de conflito ocorrem onde há interseção entre fluxo de veículos e quando o fluxo de veículos se depara com áreas frequentadas por pedestres.

A classe P compreende as áreas de uso por pedestres, calçadas, ciclofaixas, praças, parques, pátios, etc.

Para uma situação de emergência, onde haverá evacuação de pessoas, a classe P adequa-se melhor. Aplica-se os parâmetros para encontrar as classes de iluminação P1 a P6 e, através delas, definir os níveis de iluminância. Seleciona-se, para cada parâmetro, a opção adequada e seu respectivo valor de ponderação (V_p), de acordo com a Figura 17. Em seguida, efetua-se a adição de cada V_p para encontrar a soma dos valores de ponderação selecionados (V_{ps}). De posse do V_{ps} , encontra-se a classe de iluminação pela equação (2.4) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024).

$$P = 6 - V_{ps} \quad (2.4)$$

Figura 17: Parâmetros para determinação da classe de iluminação P.

Parâmetros	Opções	Valor de ponderação V_p	V_p selecionado
Velocidade	Baixa < 30 km/h	1	
	Muito baixa (velocidade de caminhada)	0	
Volume de tráfego	Alto > 120/h	1	
	Moderado – 60/h a 120/h	0	
	Baixo ≤ 60/h	-1	
Composição do tráfego ^a	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	
	Pedestres e tráfego motorizado	1	
	Pedestres e ciclistas apenas	1	
	Pedestres apenas	0	
	Ciclistas apenas	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	
	Ausentes	0	
Luminância ambiente ^b	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Reconhecimento facial ^c	Necessário	Necessidades adicionais requeridas ^d	
	Desnecessário	Sem necessidades adicionais	
Soma dos valores de ponderação			V_{ps}

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024).

- a) É recomendado consultar o órgão de trânsito para a obtenção desse valor.
- b) Sendo baixa para zonas rurais, moderada para locais com iluminação de *outdoors* e em iluminação residencial e alta nos centros urbanos, *shoppings*, estacionamentos, etc.
- c) São vias ou locais onde há questão de segurança.
- d) Neste caso, além dos valores de iluminância horizontal, é requerido os valores de iluminância vertical.

O resultado da equação 2.4 pode apresentar três opções (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024):

1. Se for um número menor que 0, a classe de iluminação é P1;
2. Se for um número maior que 6, a classe de iluminação é P6;
3. Se não for um número inteiro, deve ser usado o próximo número inteiro inferior.

A Figura 18 exibe o valor de iluminância de acordo com os resultados da equação (2.4).

Figura 18: Requisitos de iluminação para a classe de iluminação P.

Classes de iluminação	Iluminância média horizontal E (lx) (mínimo mantido)	Iluminância mínima horizontal E (lx) (mantido)	Se necessidades adicionais para reconhecimento facial forem requeridas
			Iluminância vertical mínima E (lx) (mantido)
P1	20	4,0	6,0
P2	15	3,0	5,0
P3	10	2,0	3,0
P4	7,5	1,5	2,5
P5	5,0	1,0	1,5
P6	3,0	0,6	1,0

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024).

No que se refere a uniformidade, a definição é a mesma do Tópico 2.1.7. Contudo, têm-se dois valores de uniformidade que devem ser considerados.

Nos casos que o valor de iluminância média horizontal for maior que o valor da classe multiplicado por 1,5, a uniformidade deve ser $\geq 0,2$. Para vias exclusivas para pedestres, a uniformidade deve ser $\geq 0,3$ (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024)

2.4.5 Especificação Técnica nº 301-CHESF-ET-PJ-EM – Projetos Eletromecânicos de Subestações

As empresas transmissoras, além de seguirem as normas vigentes, possuem procedimentos internos que buscam padronizar as atividades, construção, manutenção e operação nas suas subestações. Podemos chamar esses procedimentos de Especificações Técnicas (ET).

As ETs são úteis na análise, visto que são baseadas em resultados científicos e experiências acumuladas ao longo de anos na elaboração e operação de

subestações. É importante salientar que as ETs oferecem orientações, não sendo de caráter obrigatório.

A Eletrobras CHESF é uma empresa de transmissão de energia na região Nordeste, possuindo 139 subestações espalhadas por oito estados. O estudo de suas ETs é relevante para aplicação desse trabalho.

Com relação aos sistemas de iluminação, têm-se a seguinte recomendação: as distâncias mínimas de segurança para manutenção das luminárias e projetores, distâncias estas consideradas do centro do aparelho até o ponto energizado mais próximo, atendam aos critérios definidos na Figura 19 (ELETROBRAS - COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2022).

Figura 19: Distâncias mínimas de segurança.

Distâncias Mínimas de Segurança [mm]						
Tensão nominal entre fases	500 kV	230 kV	138 kV	69 kV	34,5 kV	13,8 kV
Distância fase-terra (metal a metal)	4600	2050	1430	770	320	180
Distância fase-fase (metal a metal)	6000	2560	1570	850	320	180
Altura dos barramentos (do solo)	8700	5700	4700	3700	3000	3000
Altura dos barramentos sobre áreas de acesso de veículos	10600	8150	7500	7100	7000	7000
Distância para manutenção sobre o plano de trabalho horizontal	6350	3500	3500	3000	3000	3000
Distância para manutenção sobre o plano de trabalho vertical	5850	3000	3000	3000	3000	3000
Altura do início do corpo isolante dos equipamentos	2300					

Fonte: (ELETROBRAS - COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2022)

A Especificação Técnica classifica a iluminação do pátio de uma subestação em áreas determinadas para especificar os níveis de iluminância apropriados para cada local. São elas: área de acesso, área de equipamentos de manobra, área de equipamentos principais e área de barramentos. Para aplicação nesse trabalho, abordaremos apenas a área de acesso.

A iluminação de acesso corresponde à iluminação das vias pavimentadas de acesso às edificações e aos equipamentos do pátio e inclui também a iluminação das

áreas não pavimentadas, situadas fora das áreas energizadas, porém dentro dos limites de propriedade. No projeto de iluminação dos acessos, deve-se obter um nível de iluminamento horizontal mínimo de 15 lux no nível do solo. As luminárias devem ser posicionadas a distância máxima de 25 metros entre si (ELETROBRAS - COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO, 2022).

Apesar destes valores serem especificados para iluminação normal, podemos aplicá-los como comparação para os valores já encontrados nas normas abordadas.

3 METODOLOGIA DO PROJETO

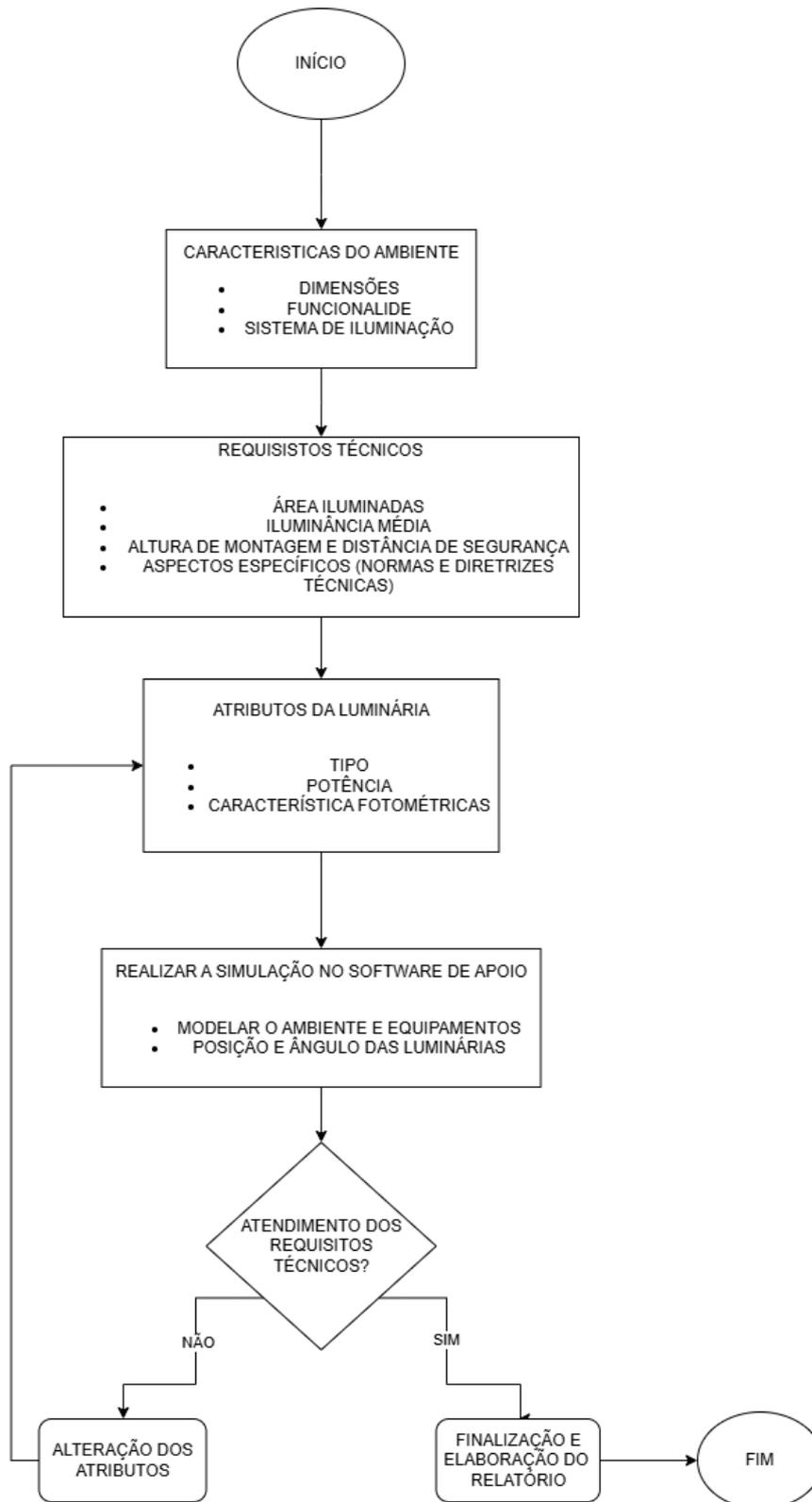
O primeiro requisito ao se elaborar um projeto luminotécnico é a informação acerca do ambiente, principalmente sua funcionalidade. Essa informação sugere, de forma preliminar, as características que se espera da iluminação.

A escolha da luminária depende do ambiente, da tarefa realizada, dos atributos das pessoas que frequentam o ambiente, do custo de investimento, bem como características da própria luminária ou lâmpada, como potência, temperatura de cor, curva de distribuição, entre outros. Normas técnicas, como a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), classificam alguns desses fatores, informando certos parâmetros luminotécnicos que o sistema de iluminação deve apresentar a fim de garantir conforto visual, desempenho e segurança.

Como mencionado anteriormente, não há uma norma de iluminação de emergência para pátio de subestações, sendo assim, duas normas principais são utilizadas para elaborar o projeto luminotécnico: Iluminação Viária (ABNT NBR 5101:2024) e Sistema de Iluminação de Emergência (ABNT NBR 10989:2023). Além dessas normas, a Especificação Técnica 301-CHESF-ET-PJ-EM (2022) de um agente do setor de transmissão também é aplicada, visto que essa ET define critérios e condições específicas para subestações.

Para o desenvolvimento desse projeto, inicialmente, escolhem-se as possíveis rotas de fuga, considerando as vias como rota de fuga principal. Em seguida, realiza-se a simulação para tipos de luminárias que atendam aos requisitos definidos nas normas e especificação técnica. A Figura 20 apresenta um fluxograma com as etapas de um projeto luminotécnico.

Figura 20: Etapas do projeto luminotécnico.



Fonte: Autora (2025).

3.1 Apresentação da Subestação

A subestação deste trabalho não será identificada, sendo tratada como uma seccionadora de 500 kV, localizada no Estado da Bahia e pertencente à rede básica, integrada ao SIN.

Entre suas características, pode-se citar que é uma subestação com arranjo tipo disjuntor e meio, conforme especifica o submódulo 2.6 do Procedimento de Rede do ONS (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2022). É do tipo convencional, de instalação ao ar livre, o que significa que os equipamentos estão sujeitos às intempéries, como chuva, poeira, vento e entre outras, resultando em uma manutenção constante.

O estudo e projeto de iluminação e tomadas do pátio de manobra foram elaborados com base nas normas técnicas vigentes e procedimentos normativos do agente de transmissão responsável. Por isso, esse trabalho atuará como um estudo de caso da proposta de um sistema de iluminação de emergência, seguindo o mesmo escopo de utilização de normas e especificações técnicas de grandes agentes de transmissão.

3.2 Simulação Computacional

Atualmente, o uso de *softwares* para a elaboração de simulações de iluminação para ambientes internos ou externos é imprescindível. Isso ocorre devido ao avanço tecnológico que esses aplicativos apresentam, sendo cada vez mais eficientes, propiciando resultados de simulação mais fidedignos à realidade.

A utilização dos *softwares* oferece precisão nos cálculos, facilidade no manuseio, amplo banco de dados de luminárias e peças do mobiliário, possibilidade de importação e exportação de dados para outros programas, além de reduzir o tempo de análise dos resultados, permitindo ao profissional mais tempo para avaliar e validar o projeto (LANCELLE).

Entre os muitos *softwares* para cálculo luminotécnico, o DIALux foi escolhido para ser aplicado nesse trabalho.

O DIALux evo é um programa computacional gratuito de cálculo luminotécnico, disponível em mais de 26 idiomas e com mais de 750 mil usuários; foi desenvolvido em 1994 pela empresa alemã DIAL GmbH e conta hoje com o banco de dados de mais de 447 fabricantes de luminárias conhecidos. Entre eles podemos citar, Max Solutions, Philips, Schneider Electric, etc.

Entre as muitas vantagens e ferramentas que o DIALux oferece, podemos mencionar (DIALUX EVO, 2025):

- Mudanças rápidas, tanto de iluminação quanto de arquitetura, oferecendo mais possibilidades de teste;
- Utilização de iluminação natural, artificial e ambas;
- Amplo catálogo de luminárias;
- Amplo catálogo de peça de mobiliário e também possibilidade de modelagem de peças;
- Geração de relatório com informações pertinentes;
- Possibilita a análise da iluminação através de métodos como cores falsas, linhas isolux, recurso numéricos e entre outros;
- Importação e exportação de dados em vários formatos, como DWG (CAD), PDF, dentre outros;
- Visualização bi e tridimensional da área de cálculo.

3.3 Desenvolvimento do projeto

3.3.1 Considerações Gerais Para Elaboração do Projeto Luminotécnico

Serão apresentadas a seguir as considerações iniciais para a elaboração do projeto luminotécnico do pátio de manobra. A Tabela 2 apresenta as informações das características do ambiente.

Tabela 2: Aspectos da estrutura da subestação.

Largura da via (m)	Distância entre estruturas (m)	Altura do pórtico tipo 1 (m)	Altura do pórtico tipo 2 (m)	Equipamento de primeiros socorros	Equipamento de combate a incêndio
6	30	37,1	26,1	Não	Não

Fonte: Autora (2025).

Da Tabela 2 podemos inferir algumas definições:

- Baseando-se no Tópico 2.4.2, é considerada uma largura de quatro metros a partir do centro da via para a rota de fuga. Já o comprimento, será toda a extensão da via.
- Para o cálculo do número de pontos da grade de medição, são aplicados os métodos apresentados na ABNT NBR 5101 (2024). O comprimento da área de cálculo é encontrado pela distância entre as luminárias. Devido à distância entre pórticos e postes existentes, encontra-se uma área de simulação no *software* de 30x4 metros. A norma de iluminação de emergência não recomenda instalação de luminárias com distâncias superior a vinte metros entre elas, contudo, como abordado acima, a configuração da subestação requer a distância de trinta metros.
- A altura de montagem da luminária é escolhida de modo a atender os requisitos do Tópico 2.4.5, Figura 19.
- Para a disposição das luminárias, foca-se nos locais abordados no Tópico 2.4.1. Identificam-se quais locais de ênfase não existem, sendo assim, a iluminação será principalmente em locais de mudança de direção, interseções e saídas.
- Para o ponto de encontro de segurança, optou-se pela área do estacionamento.

Em relação às luminárias, a Tabela 3 apresenta um resumo das características gerais.

Tabela 3: Requisitos gerais das luminárias.

Tipo	Sistema de Iluminação	Tensão de Operação	Fator de Manutenção
Projektor	Bateria Central	125 Vcc	0,89

Fonte: Autora (2025).

- Além das informações da tabela, seguiremos os requisitos do Tópico 2.4.1, quando viável.
- O fator de manutenção é estimado pela equação (2.1), e pelos fatores individuais calculados pelas equações descritas no apêndice A.

Referente a Simulação:

- O projeto luminotécnico do ambiente de estudo é feito no DIALux Evo®, sendo importada a planta da subestação para o *software*. Em seguida, dar-se a modelagem de estruturas, equipamentos e edificação. É importante ressaltar que os recursos para modelagem de estruturas e, principalmente equipamentos ainda são escassos.
- Para a simulação, é considerada a falha total do sistema de iluminação normal da subestação, ou seja, as luminárias existentes não interferem no cálculo.
- Divide-se as áreas de medição em seis devido à sua orientação, para que os pontos da grade de medição definidos anteriormente fossem válidos.
- A simulação tem como objetivo verificar o atendimento da iluminância da área de cálculo, bem como verificar a uniformidade. A Tabela 4 apresenta a iluminância média mínima definida e, calculada no caso da NBR 5101 (2024). Para o cálculo pela NBR 5101 (2024), os parâmetros da Figura 17 definidos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Iluminância média mínima.

NBR 10898 (lx)	NBR 5101 (lx)
3	3

Fonte: Autora (2025).

3 – Área relevante ou área de cálculo e/ou medição

4 – Linha de centro da faixa de trânsito

S – Espaçamento entre os postes

X – Pontos para cálculo e medição dos valores de iluminância

Para o cálculo do número (N) de pontos no eixo longitudinal temos a equação (3.1)

$$N = \frac{S}{D} \quad (3.1)$$

Onde:

D é a distância entre os pontos de medição no eixo longitudinal em metros (m), sendo $D \leq 3$.

- a) Para S maior que 30 m, o número de pontos no eixo longitudinal N deve ser igual ao menor valor inteiro, de forma que $D \leq 3$;
- b) Se o espaçamento entre os postes S for menor ou igual a 30 m, então $N = 10$ pontos;
- c) Para o cálculo da distância dos primeiros pontos de medição (no eixo longitudinal) em relação aos postes que delimitam a malha (em metros) (D_1), deve ser considerada a seguinte equação 3.2:

$$D_1 = \frac{D}{2} \quad (3.2)$$

Para o cálculo da distância entre os pontos no eixo transversal têm-se que o número de pontos no eixo transversal (coluna de pontos) à faixa de trânsito deve ser sempre igual a 3. Para o cálculo do espaçamento entre os pontos, deve ser considerada a seguinte equação 3.3 (para cada faixa):

$$d = \frac{L}{3} \quad (3.3)$$

Onde:

L é a largura da faixa de trânsito, expressa em metros (m).

O ponto central deve estar sempre na linha de centro da faixa de trânsito, ou seja, a uma distância igual a $L/2$ em relação às extremidades da faixa de trânsito.

Os pontos extremos (inferior e superior) de cada coluna de pontos, em uma mesma faixa de trânsito, devem estar afastados por uma distância igual a $d/2$, em relação à guia (meio-fio) ou linha de divisa de faixa de trânsito.

Com essas equações podemos então calcular o número de pontos da grade de medição para $S = 30$ m e $L = 4$ m, encontrando assim:

- Para o eixo longitudinal (linha de pontos)
 - $D = 3$ metros;
 - $D_1 = 1,5$ metros.
- Para o eixo transversal (coluna de pontos)
 - $d = 1,33$ metros;
 - $d/2 = 0,665$ metros.

3.3.2.2 Ponto de Encontro de Segurança

Para o ponto de encontro, foi definida a área do estacionamento com o comprimento de 17,28 m e largura de 6,55 m. Para o cálculo do número de pontos da grade de medição, segue-se o procedimento de (WENDPAP, ALMEIDA e SILVA, 2020).

O procedimento consiste em encontrar uma malha de iluminância, definindo-se o número de pontos de medição nessa grade. Para encontrar o tamanho aplica-se a Equação (3.4).

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad (3.4)$$

Onde p é o tamanho da malha em metros e d é a menor ou maior dimensão da superfície de referência em metros. O número de pontos de medição n é estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação d para p .

Para se definir o uso da maior ou menor dimensão, usa-se a relação do comprimento *versus* largura. Se o resultado for entre 0,5 e 2 utiliza-se a maior

dimensão; para outros valores, aplica-se a menor dimensão. A Tabela 6 apresenta o resultado da definição da superfície de referência.

Tabela 6: Ambiente de estudo e dimensões.

Ambiente	Comprimento C (m)	Largura L (m)	Relação C/L	Superfície de Referência
Ponto de Encontro de Segurança	17,28	6,55	2,64	Menor dimensão

Fonte: Autora (2025).

Definida a menor dimensão, introduz-se o seu valor na equação (3.4) e, em seguida encontra-se a relação de d para p , ou seja, n para comprimento e largura. A Tabela 7 exhibe o resultado do número de pontos da malha de medição.

Tabela 7: Definição dos pontos da malha de iluminância.

Tamanho da Malha (p)	Comprimento Número de Pontos	Largura Número de Pontos	Total de Medições (n)
0,7439	23	9	207

Fonte: Autora (2025)

3.3.3 Características e aplicação da luminária

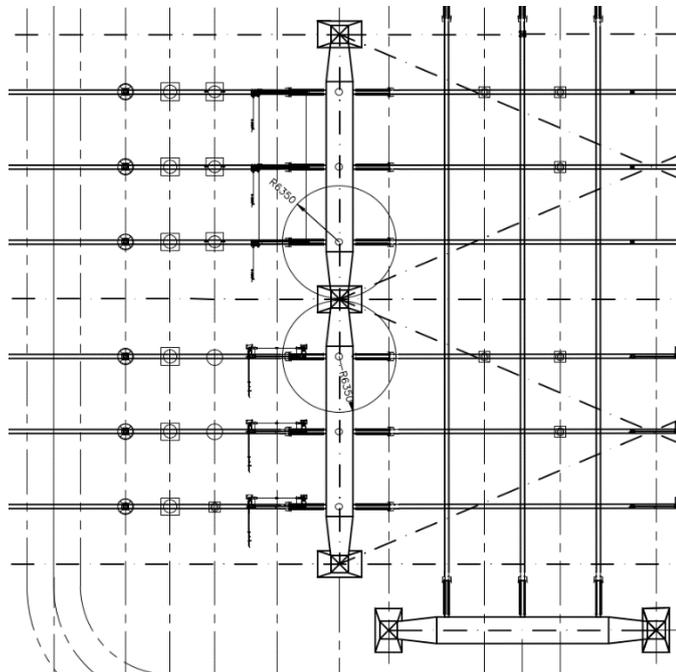
Para atender os requisitos comentados anteriormente, a luminária escolhida foi a EZL 107, projetor TGVP LED, do fabricante Naville. A luminária faz parte de uma linha de luminárias chamadas Orion, ou seja, essa luminária tem várias características de potência, fluxo luminoso, ângulo de abertura, tensão de alimentação, tipo de sistema, entre outras. Cabe ao projetista especificar as características que atendem ao projeto. A luminária atuará apenas com função de emergência, ou seja, funcionará apenas na falta de energia. As características específicas e quantidades de luminárias aplicadas serão apresentadas após o resultado da simulação.

3.3.4 Altura de Montagem

A altura de montagem da luminária deve considerar uma série de fatores, como distâncias de segurança, aplicação, fluxo luminoso, ângulo de abertura, entre outros. Pela Figura 14, percebe-se que quanto maior a altura de montagem, maior é o fluxo luminoso. Espera-se que a montagem seja em uma altura elevada devido à configuração da subestação e à distância dos pontos que se deseja iluminar. Essa altura provavelmente não atenderá aos requisitos da Figura 14, logo, a altura de montagem será considerada com base nos outros fatores citados, bem como testes no DIALux evo®.

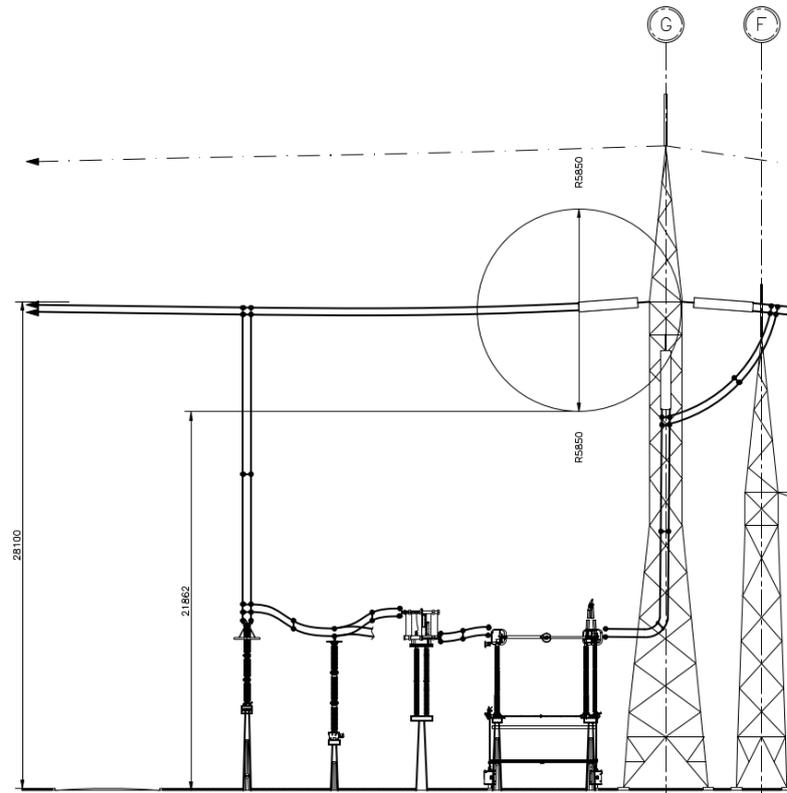
Em relação a distância de segurança para manutenção, avaliou-se o pior caso de distância entre parte energizada e o equipamento de iluminação na subestação. Os valores são definidos na Figura 19, e as Figura 22 e 23 mostram a verificação do atendimento das distâncias.

Figura 22: Distância de segurança horizontal.



Fonte: Autora (2025).

Figura 23: Distância de segurança vertical.



Fonte: Autora (2025).

Pela Figuras 22 e 23, é possível perceber que uma luminária colocada no centro da estrutura e com uma altura inferior a vinte e um metros atende às distâncias de segurança de manutenção.

4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Dada a grande dimensão do ambiente de estudo, observou-se após uma série de simulações, a necessidade de o sistema de iluminação de emergência ser composto por mais de um tipo de luminária, a fim de garantir os valores recomendados na Tabela 4 e proporcionar a melhor uniformidade possível. A Tabela 8 reúne as características das luminárias aplicadas na simulação, o Anexo A apresenta as demais características das luminárias escolhidas para o projeto.

Tabela 8: Características das luminárias

Tipo	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Grau de Proteção	Alimentação	Facho de Abertura (°)	Temperatura de Cor (K)	Quant
Projektor LED	30	4323	IP66	125Vcc	90	5000	4
Projektor LED	30	4323	IP66	125Vcc	120	5000	10
Projektor LED	80	11543	IP66	125Vcc	90	5000	15

Fonte: Autora (2025)

Como abordado anteriormente, para a realização da simulação, as rotas de fuga foram divididas em seis e uma área de encontro. A Tabela 9 expõe o resumo da iluminância e uniformidade das áreas de cálculo.

Tabela 9: Iluminância média e uniformidade.

Área de cálculo	E_{med} (lx)	Uniformidade
Rota de Fuga 1	8,63	0,30
Rota de Fuga 2	4,12	0,74
Rota de Fuga 3	8,15	0,57
Rota de Fuga 4	6,08	0,57
Rota de Fuga 5	5,10	0,40
Rota de Fuga 6	3,84	0,64
Ponto de Encontro	11,3	0,50

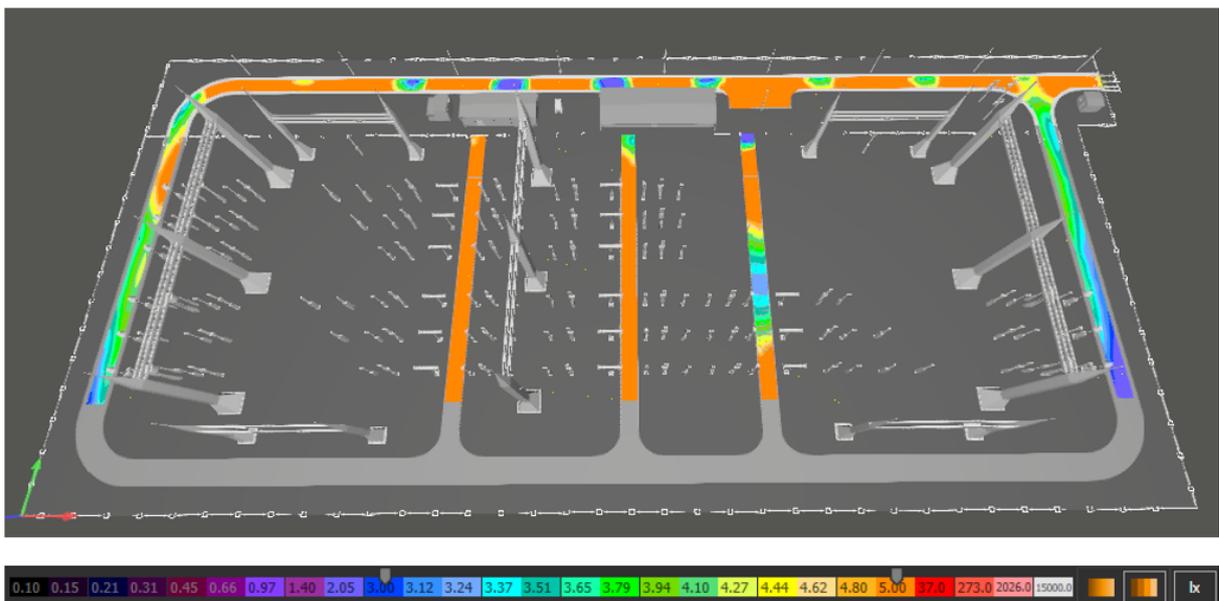
Fonte: Autora (2025).

A iluminância média atendeu aos valores mínimos encontrados na Tabela 4, enquanto a uniformidade será comparada com os valores especificados na norma de iluminação viária, visto que o valor definido no Tópico 2.1.7 se refere a uma área de tarefa, o que não condiz com a situação em análise. Considerando apenas o uso por pedestres durante a situação de emergência, todas as áreas atenderam ao requisito de uniformidade $\geq 0,3$.

Para uma melhor visualização da distribuição da iluminação, foram utilizados os parâmetros de cálculo que o DIALux oferece. A Figura 24 apresenta, as áreas de cálculo que foram definidas na subestação, utilizando o método de cores falsa. Observa-se que grande parte das áreas das rotas de fuga apresentam uma cor alaranjada apresentando uma boa uniformidade. Nas áreas onde há muita variação de cor, nota-se que essa mudança se dá gradualmente, o que evita mudanças abruptas de luminosidade.

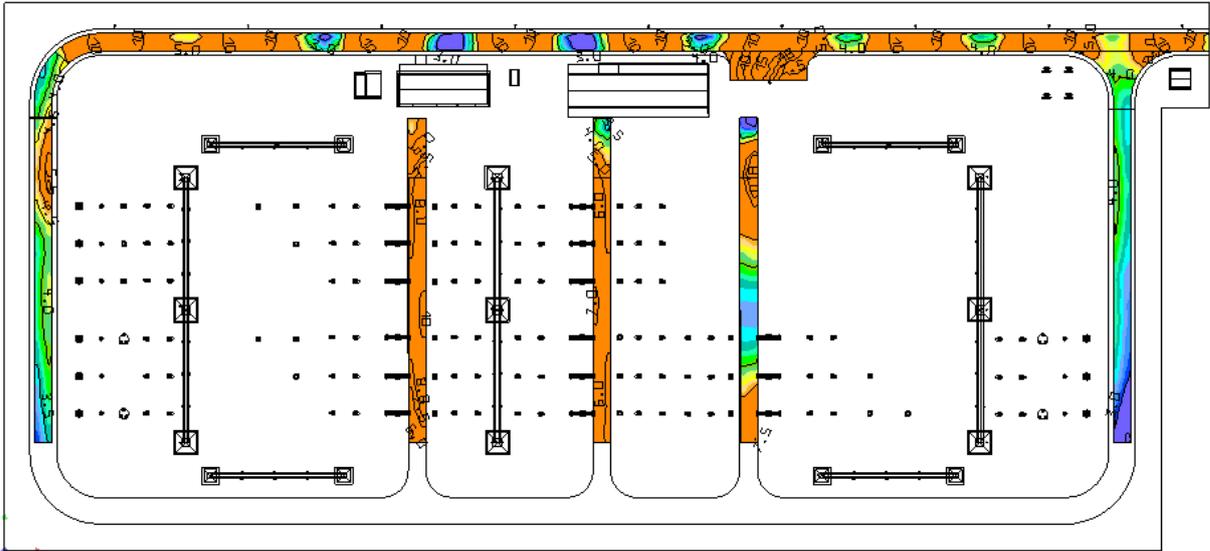
A Figura 25 apresenta as curvas Isolux das rotas de fuga 1 a 6 e do ponto de encontro. As curvas Isolux são como curvas de nível, elas mostram a iluminância em determina região.

Figura 24: Recurso de exibição das cores falsas.



Fonte: Autora (2025).

Figura 25: Recurso de exibição das curvas Isolux.



Fonte: Autora (2025).

Para gráfico de valores, que mostra a distribuição da iluminância ponto por ponto da grade de medição, facilitando assim a identificação de áreas como muita ou pouca iluminância, optou-se por apresentar as áreas de cálculos separadas, a fim de facilitar a visualização dos resultados.

As Figuras 26 e 27 apresentam a rota de fuga 1. Percebe-se áreas com iluminância um pouco baixa, isso se deve a sombra das edificações, contudo a iluminância ao redor é satisfatória, possibilitando uma boa visibilidade do ambiente.

As Figuras 28 a 32 apresentam os gráficos de valores para as rotas 2 a 6, nota-se que a uniformidade nessas rotas é melhor uma vez que não possuem pontos com valores muito baixo e a iluminância cresce ou diminui gradativamente.

A Figura 33 apresenta a área de encontro que possuem uma alta iluminância e boa uniformidade por toda a área.

Figura 26: Recurso numérico – rota de fuga 1.



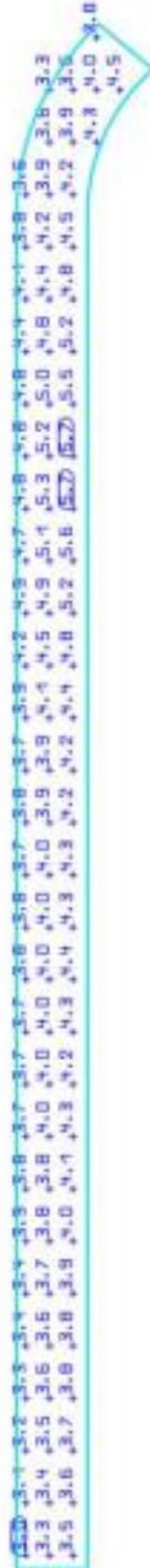
Fonte: Autora (2025).

Figura 27: Recurso numérico – rota de fuga 1, continuação.



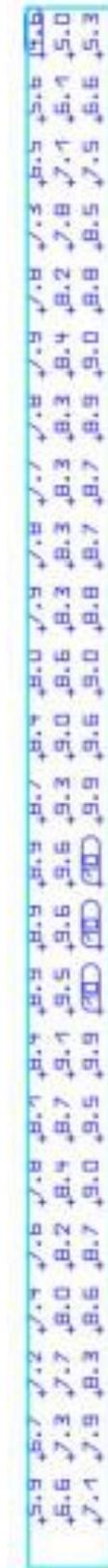
Fonte: Autora (2025).

Figura 28: Recurso numérico – rota de fuga 2.



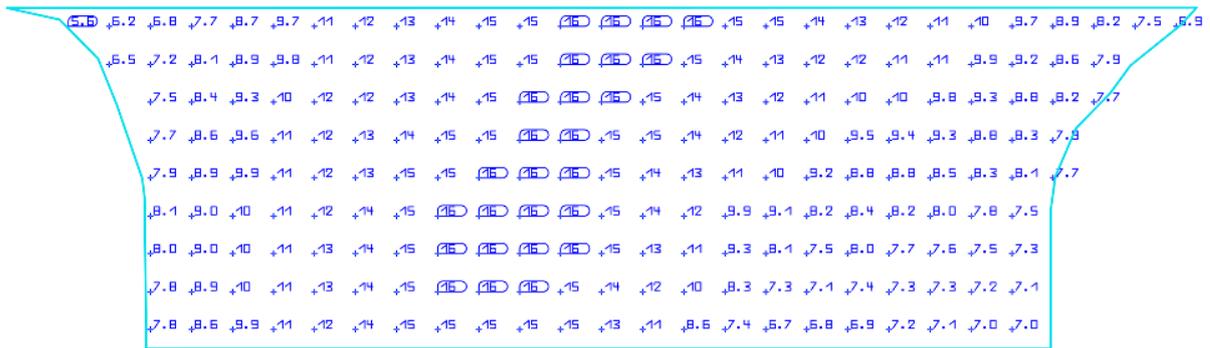
Fonte: Autora (2025).

Figura 29: Recurso numérico – rota de fuga 3.



Fonte: Autora (2025).

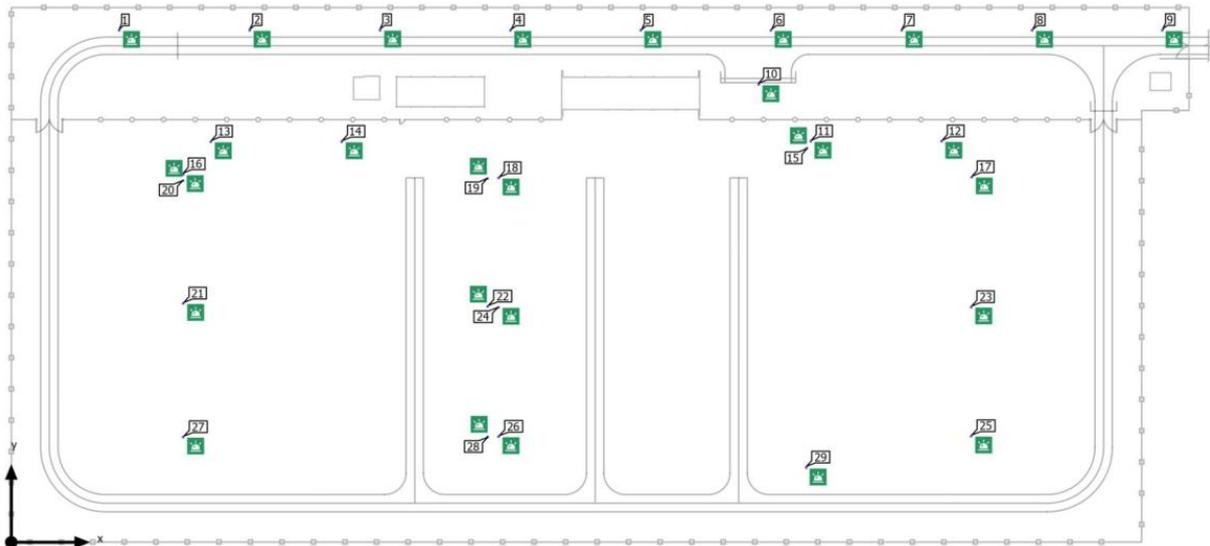
Figura 33: Recurso numérico – ponto de encontro.



Fonte: Autora (2025).

O esquema de posicionamento das luminárias é mostrado na Figura 34 e a Tabela 10 apresenta as alturas e ângulos de montagem. A Figura 35 mostra o modelo para definição dos ângulos das luminárias,

Figura 34: Posição das Luminárias



Fonte: Autora (2025).

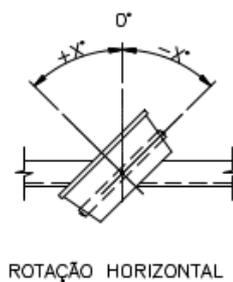
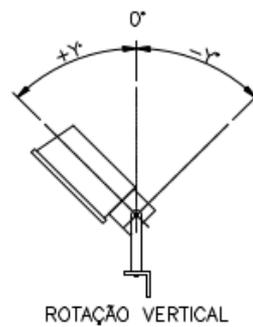
Tabela 10: Altura e ângulo de montagem das luminárias.

Luminária	Altura (m)	Y (°)	X (°)
1	8,5	+50	0
2	8,5	+50	+10
3	8,5	+50	+25
4	8,5	+50	0

5	8,5	+50	-20
6	8,5	+50	0
7	8,5	+50	0
8	8,5	+50	0
9	8,5	+45	-45
10	8,5	+25	+60
11	15,0	+35	-10
12	15,0	+35	-10
13	15,0	+35	+10
14	15,0	+35	+10
15	15,0	+30	+50
16	19,0	+30	-40
17	19,0	+30	+20
18	19,0	+40	0
19	19,0	+45	0
20	19,0	+30	0
21	19,0	+35	0
22	19,0	+45	0
23	19,0	+30	+20
24	19,0	+40	0
25	19,0	+30	10
26	19,0	+40	0
27	19,0	+30	0
28	19,0	+40	-50
29	19,0	+40	-50

Fonte: Autora (2025).

Figura 35: Modelo de rotação de projetores.



Fonte: Autora (2025).

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Expostos os dados, entende-se que a proposta de iluminação de emergência em pátios de subestações é viável e satisfatória visto que os parâmetros de iluminância média e uniformidade foram atendidos. Contudo, a falta de uma norma específica sobre o assunto resultou em algumas considerações que se baseiam na análise do projetista, uma vez que certas recomendações das normas aplicadas no projeto, necessitaram ser adaptadas. Mesmo encontrando os valores mínimos exigidos nas normas, a construção do projeto é peculiar, o que possibilita que através de outras configurações de proposta como por exemplo, o uso de luminárias de outro fabricante ou a posição e altura de montagem alteradas, encontrem-se resultados similares ou diferentes que atendam às questões de segurança.

Sugestões de trabalhos futuros:

Pontos que podem ser abordados posteriormente a fim de complementar a análise da inserção de um sistema de iluminação de emergência nos pátios incluem a viabilidade econômica da aplicação das luminárias, para inúmeros tipos de configuração de montagem por exemplo, quantidade de projetores, aumento ou diminuição da potência, utilização de projetores que atuem tanto em estado normal e de emergência, entre outros. Também pode-se abordar o dimensionamento da central de baterias, cabos, equipamentos de controle e monitoramento, bem como os requisitos de segurança do ambiente onde vier a ser instalada uma vez que esse local precisar ter equipamentos a prova de explosão e suportar a incêndios por determinado período de tempo.

A aplicação de um sistema de emergência é a garantia de comprometimento com a segurança dos colaboradores que venham a atuar nesses ambientes, sendo uma boa prática de projeto avaliar a inserção desse sistema.

REFERÊNCIAS

- AGC LIGHTING. **Um guia para entender o fator de manutenção da iluminação**, 2023. Disponível em: <<https://www.agcled.com/blog/guide-understanding-lighting-maintenance-factor.html>>. Acesso em: 09 Março 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1**, Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60529 - Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP)**, ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60598-2-22 - Luminárias parte 2-22: requisitos particulares - Luminárias para iluminação de emergência**, ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10898: Sistema de iluminação de emergência**, ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5101 - Iluminação viárias - Procedimentos**, ABNT, 2024.
- BOYLESTED, R; NASHELSK, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. Tradução de Sônia Yamamoto. 11^a. ed.
- BRASIL, Ministério D. T. E. E. **Norma Regulamentador n° 10 (NR-10)**, 2019.
- CLEGG, Brian et al. **Física - 50 Conceitos e Teorias Fundamentais Explicados de Forma Clara e Rápida**. 1. ed.
- COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **BS EN 1838: Lighting applications - emergency lighting**, 2013.
- CORPO DE BOMBEIROS GOIÁS. **Norma técnica n.18/2012 - Iluminação de emergência**, Goiás, CBMGO, 2012.
- COSTA, Gilberto J. C. D. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. 4. ed.
- CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16. ed.
- CRISTINA, Ana et al. **Manual de Iluminação**, Rio de Janeiro, Eletrobras, 2011. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/ManualdeiluminacaoeficienteProcel.pdf>>. Acesso em: 13 Janeiro 2025.
- DIALUX EVO. **DIALux é o software para o seu projeto de iluminação profissional**. Disponível em: <<https://www.dialux.com/en-GB/dialux>>. Acesso em: 1 Fevereiro 2025.
- DIONÍSIO, Paulo H. Albert Einstein e a física quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino da Física**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, 2005. p.147-164.
- ELETROBRAS - COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **301-CHESF-ET-PJ-EM-AGO2022 - Projetos eletromecânicos de subestações**, Recife: CHESF, 2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energetico Nacional 2024**, Brasília: EPE, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 6 Fevereiro 2025.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2034**, Brasília EPE, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 05 Fevereiro 2025.

GUERRA, Rayane L. D. L. **Segurança e eficiência**: Análise de viabilidade técnico-econômica na inserção da tecnologia LED em pátios de manobras de SE mediante estudo de caso aplicado a projeto luminotécnico, 2024.

HANGZHOU ZGSM TECHNOLOGY. **Maintenance factor in illumination/lighting**. Disponível em: <<https://www.zgsm-china.com/blog/maintenance-factor-in-illumination-lighting.html>>. Acesso em: 15 Fevereiro 2025.

HONEY, Gerard. **Emergency e security lighting**. 1. ed.

JUNIOR, Sidnei M. **Manual luminotécnico para arquitetos, designers e engenheiros**. 1. ed.

KAWASAKI, Juliana I. Métodos de cálculo luminotécnico. **O setor elétrico**, n. 74, p. 36-42, 2012.

KHAN ACADEMY. **O espectro eletromagnético**. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas/ondas-eletromagneticas/a/o-espectro-eletromagnetico>>. Acesso em: 15 Janeiro 2025.

LANCELE, Luis. Lume Arquitetura. **Softwares de Iluminação**. Disponível em: <https://lumearquitetura.com.br/pdf/ed56/ed_56%20Pv%20-%20Software.pdf>. Acesso em: 22 Fevereiro 2025.

MAGGI, Tiago. **Estudo e implementação de uma luminária de iluminação pública à base de LEDs**, 2013.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed.

MARCHI, Belayne Z. **Avaliação de sistemas de iluminação externa considerando a visão mesópica**, 2019.

NAVILLE. **Catálogo Técnico**. Disponível em: <<https://naville.com.br/pt/ez1107-3/>>. Acesso em: 25 Fevereiro 2025.

NEOENERGIA. **Subestações de Energia**. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/w/subestacoes-de-energia>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

NORMO. **Ângulo de Abertura**, 2024. Disponível em: <<https://www.normo.pt/blogs/glossario/angulo-de-abertura?srsId=AfmBOooCfLDsFnXtE8GUc68hUqV9afvga8Rdwo11WuYMh8aRsQFKTOC7>>. Acesso em: 16 Janeiro 2025.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Submódulo 2.6 - Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos - Requisitos**, ONS, 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Extensão da Rede Básica de Transmissão**, 2025. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 07 Fevereiro 2025.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **SIN Maps**, 2025. Disponível em: <<https://sig.ons.org.br/app/sinmaps/>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Histórico da Operação. **Curva de Carga Horária**, 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/curva_carga_horaria.aspx>. Acesso em: 18 Fevereiro 2025.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Submódulo 4.2 - Programação de Intervenção em Instalações da Rede de Operação - Procedimental**, ONS, 2023.

SECO, Laura C. **Radiação do Corpo Negro**. (Relatório de Estágio) - Universidade da Beira Interior. Covilhã. 2012.

VIANA, Augusto N. C. **Eficiência energética - fundamentos e aplicações**. 2. ed.

WENDPAP, Marcos; ALMEIDA, Robson; SILVA, Adriana. **Análise de iluminância aplicada em uma indústria de luminárias de emergência**, 2020. 40 encontro nacional de engenharia de produção.

WETZEL S/A. **Catalogo LED**, 2024. Disponível em: <<https://led.wetzel.com.br/catalogos/>>. Acesso em: 16 Janeiro 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FATOR DE MANUTENÇÃO PARA LED

O método para determinação do fator de manutenção, explicitados nas normas atuais, não podem ser aplicados a tecnologia de LED. Isso acontece devido à evolução dos equipamentos, que aumentam a vida útil da luminária, incorporam ou extinguem o uso de acessórios para o funcionamento da lâmpada.

Neste contexto, a ISO_CIE 22012 (2019) definiu um método para o cálculo do fator de manutenção para lâmpadas LEDs, e, através da publicação da Hangzhou ZGSM Technology Co. Ltd, teve-se a acesso ao método para a realização do cálculo (HANGZHOU ZGSM TECHNOLOGY, 2023).

O fator de manutenção é dado pela equação (2.1), e o objetivo é encontra os fatores da equação aplicados a tecnologia LED.

A.1 – Fator de manutenção do fluxo luminoso (FMFL)

Dado pela equação:

$$FMFL = 1 - \frac{V_e}{V_f} \times (1 - F_{FL}) \quad (A.1)$$

Onde:

V_e – Vida útil da instalação em horas;

V_f – Vida útil fornecida pelo fabricante;

F_{FL} – Fator de fluxo luminoso decrescido da vida útil, fornecido o pelo fabricante, dado percentual.

Para o sistema de estudo tem-se que:

- Horas de funcionamento do sistema anualmente: 1.095 h;
- Vida útil da instalação estimada em 10 anos ou 10.950 h;
- Vida útil mediana fornecida pelo fabricante: 100.000 h;
- Fator de fluxo luminoso fornecido pelo fabricante: L70.

De posse desse valores encontra-se um *FMFL* de 0,9671.

A.2 – Fator de sobrevivência (FSL)

É a razão entre o número de lâmpadas que ainda estão operando em um momento específico e o número inicial de lâmpadas, representa a probabilidade de uma fonte de luz continuar a funcionar em um determinado momento.

Devido ao desempenho dos LEDs, considera-se que as chances de danos que levem à substituição antecipada das luminárias baixas, portanto, define-se esse fator como 1,0.

A.3 – Fator de manutenção da luminária (FML)

É a razão entre a saída de luz de uma luminária limpa e a de uma suja. O fator de manutenção deve ser determinado com base em três principais fatores, classificação IP, condições ambientais e intervalos de limpeza.

As luminárias presentes no estudo possuem a classificação IP66, a categoria de poluição para o ambiente foi estimada tipo média e o intervalo de limpeza foi definido como anualmente. Com essas características, verifica-se o fator de manutenção pela Tabela 11 e encontra-se 0,92.

Tabela 11: Fator de manutenção para luminária externa.

Classificação IP	Categoria de poluição	Intervalo de limpeza (anos)		
		1	2	3
IP2X	Alta	0,53	0,45	0,42
	Média	0,62	0,56	0,53
	Baixa	0,82	0,79	0,78
IP5X	Alta	0,89	0,84	0,76
	Média	0,90	0,86	0,82
	Baixa	0,92	0,90	0,88
IP6X	Alta	0,91	0,88	0,83
	Média	0,92	0,80	0,87
	Baixa	0,93	0,91	0,90

Fonte: Adaptado de ZGSM Technology.

A.4 – Fator de manutenção da superfície da sala (FMSS)

Esse fator diz respeito ao depósito de sujeira nas superfícies dos ambientes onde o sistema de iluminação se encontra. Como o ambiente é externo esse fator é muito variável e difícil de se estimar; por isso esse fator não será considerado para o cálculo.

Com os fatores definidos e aplicando na equação (2.1), encontra-se um FM de 0,89.

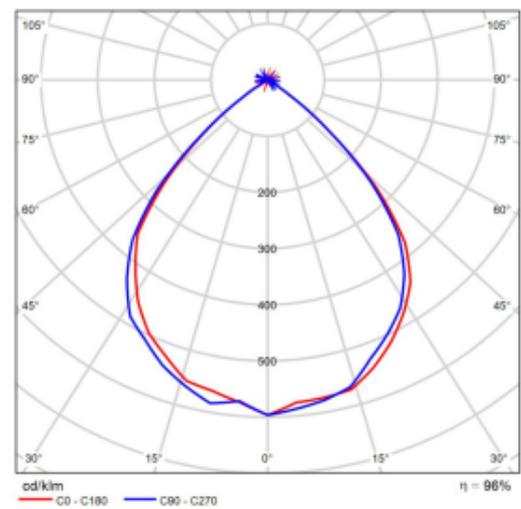
ANEXOS

ANEXO A – FOLHA DE DADOS DAS LUMINÁRIAS

NAVILLE - EZL107/30CPS - NAVILLE - PROJETOR TGVP LED 30W - FACHO 90°



Nº do artigo	LINHA ORION
P	30.0 W
P _{iluminação de emergência}	30.0 W
Φ _{Lâmpada}	4323 lm
Φ _{Luminária}	4165 lm
Φ _{iluminação de emergência}	4165 lm
η	96.35 %
Rendimento luminoso	138.9 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100
ELF	100 %

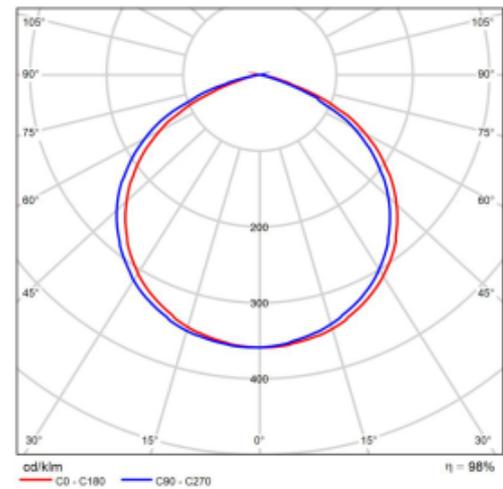


CDL polar

NAVILLE - EZL107/30PS - NAVILLE - PROJETOR TGVP LED 30W - FACHO 120°



N° do artigo	LINHA ORION
P	30.0 W
P _{iluminação de emergência}	30.0 W
Φ _{Lâmpada}	4323 lm
Φ _{Luminária}	4252 lm
Φ _{iluminação de emergência}	4252 lm
η	98.36 %
Rendimento luminoso	141.7 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100
ELF	100 %

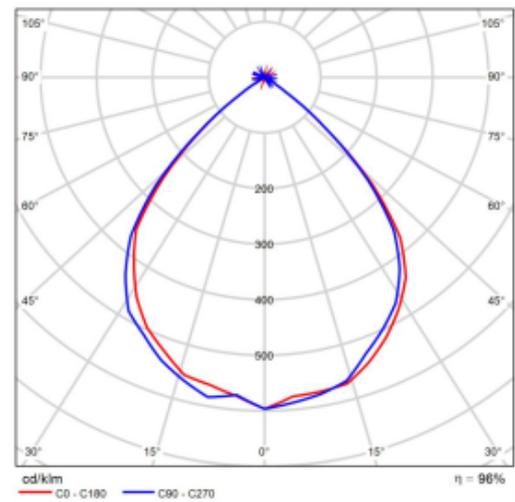


CDL polar

NAVILLE - EZL107/80CPS - NAVILLE - PROJETOR TGVP LED 80W - FACHO 90°



N° do artigo	LINHA ORION
P	80.0 W
P _{iluminação de emergência}	80.0 W
Φ _{Lâmpada}	11543 lm
Φ _{Luminária}	11123 lm
Φ _{iluminação de emergência}	11123 lm
η	96.36 %
Rendimento luminoso	139.0 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100
ELF	100 %



CDL polar