

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Igor de Abreu Freitas

**ESTUDO DE CONFORMIDADE DA ILUMINAÇÃO DE SALAS
ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.**

Formiga

2026

IGOR DE ABREU FREITAS

**ESTUDO DE CONFORMIDADE DA ILUMINAÇÃO DE SALAS
ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de Minas
Gerais Campus Formiga, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Roger
Rodrigues

Formiga

2026

F866e Freitas, Igor de Abreu
Estudo de conformidade da iluminação de salas elétricas industriais / Igor de Abreu Freitas – Formiga : IFMG, 2026.
25 p. :il. color.

Orientador: Prof. Dr. André Roger Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Iluminação industrial. 2. Salas elétricas. 3. ABNT ISO/CIE 8995-1. 4. DIALux. 5. Conformidade Normativa. I. Rodrigues, André Roger II. Título.

CDD 621.32

Igor de Abreu Freitas

ESTUDO DE CONFORMIDADE DA ILUMINAÇÃO DE SALAS ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Avaliado em: 24 de JUNHO de 2026.

Nota: 96,7

BANCA EXAMINADORA

Prof. André Roger Rodrigues (Orientador)
Eng. Eletricista Abrão Júnio de Oliveira
Prof. Rafael Vinicius Tayette da Nóbrega
Eng. Eletricista Raul Otávio Ferreira Barreto



Documento assinado eletronicamente por **Andre Roger Rodrigues, Professor**, em 24/06/2026, às 20:12, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Vinicius Tayette da Nobrega, Professor**, em 25/06/2026, às 10:51, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Raul Otávio Ferreira Barreto, Usuário Externo**, em 26/06/2026, às 11:01, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Abrão Júnio de Oliveira, Usuário Externo**, em 26/06/2026, às 15:05, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2783515** e o código CRC **243B4CF2**.

ESTUDO DE CONFORMIDADE DA ILUMINAÇÃO DE SALAS ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

Igor de Abreu Freitas 1 (igorabreupaps@gmail.com – estudante)
André Roger Rodrigues 2 (andre.roger@ifmg.edu.br – professor orientador)

RESUMO

A iluminação inadequada em salas elétricas industriais representa risco direto à segurança dos trabalhadores e à eficiência operacional das instalações. O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo de conformidade do sistema de iluminação da sala elétrica de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de uma empresa privada, utilizando como referência a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. A metodologia adotou abordagem quali-quantitativa, combinando as respostas dos colaboradores a um formulário avaliativo da percepção visual e a análise de resultados de simulação luminotécnica computacional assistida por *software* DIALux evo. A avaliação diagnóstica do cenário atual foi realizada por simulação tridimensional do ambiente e de seus sistemas de iluminação, a qual evidenciou três não conformidades: níveis de iluminância abaixo do mínimo normativo, índice de uniformidade inferior a 0,60 e valores de ofuscamento (UGR) acima do limite permitido. A percepção dos colaboradores corroborou os resultados dos estudos técnicos computacionais, indicando insatisfação com a qualidade da iluminação existente, especialmente associada à tarefa de identificação de cabos e anilhas, a qual exigia uso de lanterna pessoal. A proposta de adequação luminotécnica com luminárias Philips Pacific LED Gen5 (Série WT490C), com estratificação de óticas *Narrow Beam* e *Wide Beam*, demonstrou o pleno atendimento aos requisitos normativos. Os resultados demonstram potencial para a melhoria das condições de trabalho na instalação estudada e servem de referência para estudos diagnósticos e projetos de *retrofit* luminotécnico em instalações similares.

Palavras-chave: Iluminação industrial. Salas elétricas. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. DIALux. Conformidade normativa.

COMPLIANCE STUDY OF LIGHTING IN INDUSTRIAL ELECTRICAL ROOMS

ABSTRACT

Inadequate lighting in industrial electrical rooms poses a direct risk to worker safety and the operational efficiency of facilities. This paper aims to conduct a compliance study of the lighting system in the electrical room of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) operated by a private company, using the ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 standard as reference. The methodology adopted a quali-quantitative approach, combining employees' responses to a visual perception assessment form with the analysis of results from computer-assisted lighting simulation using DIALux evo software. The diagnostic evaluation of the current scenario was carried out through a three-dimensional simulation of the environment and its lighting systems, which revealed three non-conformities: illuminance levels below the normative minimum, uniformity ratio lower than 0.60, and glare values (UGR) above the permissible limit. Workers' perception corroborated the results of the technical computational studies, indicating dissatisfaction with the quality of the existing lighting, particularly in tasks involving cable and tag identification, which required the use of personal flashlights. The proposed lighting retrofit using Philips Pacific LED Gen5 luminaires (WT490C Series), with stratification of Narrow Beam and Wide Beam optics, demonstrated full compliance with normative requirements. The results highlight the potential for improving working conditions in the studied facility and serve as a reference for diagnostic studies and lighting retrofit projects in similar industrial sanitation installations.

Keywords: Industrial lighting. Electrical rooms. NBR ISO/CIE 8995-1. DIALux. Normative compliance.

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um pilar fundamental para a infraestrutura moderna, sendo essencial para o avanço da indústria e a manutenção de serviços básicos. Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024), o consumo total de energia elétrica no Brasil atingiu 532 TWh em 2023, um crescimento de 4,4% em relação ao ano anterior. O Atlas de Eficiência Energética Brasil (EPE, 2024) reforça que as edificações foram responsáveis por 47% de todo o consumo elétrico do país em 2023, com os sistemas de iluminação representando uma parcela

significativa desse montante, sendo a iluminação reconhecidamente um dos principais usos finais nessas edificações. Complementarmente, o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2032 (EPE; MME, 2024) projeta a expansão da capacidade instalada do país de 237 GW para 320 GW até 2034. Esse panorama demonstra a crescente demanda energética e a urgência de políticas de eficiência nos setores produtivos, incluindo as instalações industriais.

Nesse contexto, as instalações em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) demandam infraestruturas elétricas complexas para operar equipamentos de força motriz, tais como bombas, compressores e inversores de frequência. Em virtude dos riscos inerentes à operação e manutenção desses sistemas de controle, a Norma Regulamentadora NR-10 (BRASIL, 2004) estabelece requisitos mínimos e medidas rigorosas de controle para garantir a segurança e a integridade dos trabalhadores nesses ambientes.

A iluminação de ambientes de trabalho é reconhecida como fator diretamente associado à segurança, ao conforto visual e à produtividade dos trabalhadores (ABNT, 2013). A iluminação inadequada, em salas elétricas pode comprometer a execução de tarefas visuais críticas, como leitura de instrumentos, identificação de sinalização e realização de manobras elétricas, aumentando o risco de acidentes. Segundo a ABRACOPEL (2025), o Brasil registrou em 2024 um total de 840 mortes relacionadas à eletricidade sendo 759 decorrentes de choque elétricos. Entre as vítimas fatais, 42 eram eletricitistas, profissionais com formação técnica e treinamento obrigatório em NR-10, evidenciando que o risco persiste mesmo em ambientes tecnicamente capacitados. Esse cenário é frequentemente agravado quando as tarefas são desempenhadas sob condições inadequadas de iluminação.

De forma complementar aos requisitos mínimos de segurança para ambientes industriais contidos na NR-10 (2004), a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de Ambientes de Trabalho, Parte 1: Interior (2013), define os critérios de projeto luminotécnico.

Apesar deste arcabouço normativo, ainda é comum encontrar instalações industriais em desconformidade com os padrões vigentes. A ausência de diagnósticos periódicos contribui para a perpetuação de deficiências que quando não identificadas no cotidiano operacional representam riscos reais à segurança dos trabalhadores, comprometendo a eficiência dos processos e o bom desempenho de tarefas. A NR-17 – Ergonomia (BRASIL, 2021) reforça essa perspectiva ao estabelecer que as condições de iluminação devem ser adequadas às características das tarefas realizadas, levando em consideração a natureza da atividade, a acuidade visual exigida e a segurança no ambiente de trabalho.

Nesse sentido, ferramentas de simulação computacional como o *software* DIALux (DIAL GmbH, 2024) têm sido utilizadas para estudos e projetos luminotécnicos, permitindo a

realização de diagnósticos precisos, uma vez que permite a modelagem precisa de ambientes reais, além da avaliação objetiva dos parâmetros de desempenho lumínico normativos, possibilitando a análise comparativa entre cenários existentes e as soluções propostas. A combinação de resultados computacionais com a instrumentação de pesquisas avaliativas do tipo formulário de avaliação da percepção visual aplicada aos trabalhadores, conferem robustez metodológica aos estudos de conformidade (GIL, 2017).

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar um estudo de conformidade do sistema de iluminação da sala elétrica de uma ETE privada, por diagnóstico do desempenho lumínico do atual sistema de iluminação e proposição de novos arranjos luminotécnicos. É esperado que os resultados contribuam para a melhoria das condições de iluminação do ambiente estudado, aumentando a eficiência na realização de tarefas, constituindo uma referência bibliográfica para projetos e ações de adequação luminotécnica de instalações similares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Salas elétricas industriais: definições e classificações

As salas elétricas industriais são ambientes destinados à instalação, proteção e operação de equipamentos elétricos de potência e de controle, tais como quadros de distribuição de baixa tensão (QDBT), centros de controle de motores (CCM), transformadores, inversores de frequência e sistemas de proteção. Esses espaços são fundamentais para o funcionamento de instalações industriais tais como Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

A norma NR-10 (BRASIL, 2004) é o principal instrumento normativo que rege as condições de segurança em instalações e serviços em eletricidade. Em relação à iluminação, a norma estabelece apenas que os projetos devem assegurar iluminação adequada aos trabalhadores, sem, contudo, definir parâmetros quantitativos de desempenho lumínico, lacuna que é preenchida pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, norma de referência específica para iluminação de ambientes de trabalho internos. Quanto ao nível de tensão, as salas elétricas classificam-se em salas de baixa tensão, com tensão de até 1.000 V em corrente alternada, regulamentadas pela ABNT NBR 5410 (2008), e salas de média tensão, que operam entre 1,0 kV e 36,2 kV, à frequência industrial, de modo a garantir segurança e continuidade de serviços conforme a ABNT NBR 14039 (2021) estabelece, em seu item 9.3.2.8, que:

As subestações devem ter iluminação artificial, obedecendo aos níveis de iluminamento fixados pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e iluminação natural, sempre que possível. As janelas e vidraças utilizadas para este fim devem ser fixas e protegidas por telas metálicas resistentes, com malhas de 13 mm, no máximo, e de 5 mm, no mínimo, quando sujeitas a possíveis danos. O uso de vidro aramado dispensa a tela de proteção. As subestações devem ser providas de iluminação de segurança, com autonomia mínima de 2 h. (ABNT, 2021, item 9.3.2.8).

Esse dispositivo normativo reforça a exigência de conformidade luminotécnica com a norma brasileira (ABNT, 2013)

2.2 Grandezas fotométricas e suas aplicações nos projetos luminotécnicos de salas elétricas

O projeto e a avaliação de sistemas de iluminação baseiam-se em grandezas fotométricas precisamente definidas. A correta compreensão e aferição dessas grandezas é indispensável para a interpretação dos parâmetros calculados pelo *software* DIALux.

O fluxo luminoso (Φ), expresso em lúmens (lm), representa a potência total irradiada por uma fonte de luz ponderada pela sensibilidade do olho humano. A intensidade luminosa (I) determina a quantidade de fluxo luminoso em uma determinada direção, sendo medida em candela (cd) e constituindo o principal parâmetro para desenvolvimento dos arquivos fotométricos utilizados nas simulações computacionais (MAMEDE FILHO, 2023). Derivada destas grandezas, a eficiência luminosa expressa o rendimento energético de uma fonte de luz, sendo definida como a razão entre o fluxo luminoso total emitido (lm) e a potência elétrica total consumida expressa em lúmen por watt (lm/W). Na elaboração de projetos luminotécnicos, a eficiência luminosa é um indicador importante para a seleção de tecnologias que convertem energia elétrica em luz visível com o menor desperdício térmico.

Segundo Mamede Filho (2023), a iluminância (E), expressa em lux (lx), representa o fluxo luminoso incidente por unidade de área de uma superfície no caso, um plano de trabalho que é a superfície de referência, Φ é o fluxo luminoso incidente (lm) e A é a área do plano de trabalho iluminado (m²):

$$E = \frac{\Phi}{A} . \quad (1)$$

Segundo a ABNT (2013), a uniformidade de iluminância (U_0) é a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média no plano de trabalho, devendo esta se alterar

gradualmente, conforme a Equação (2). Nesta equação, U_0 é o valor de uniformidade, $E_{mín}$ é o valor da iluminância mínima (lx) e $E_{méd}$ é o valor da iluminância média (lx):

$$U_0 = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} \quad (2)$$

A ABNT (2013) estabelece o valor de uniformidade $U_0 \geq 0,40$ como valor mínimo para ambientes de trabalhos industriais. Valores inferiores indicam distribuição irregular do fluxo luminoso, com formação de zonas de sombra que aumentam a fadiga visual e comprometem a identificação de riscos nos ambientes.

De acordo com a ABNT (2013) o Índice Limite de Ofuscamento Unificado (UGRL) é o valor máximo permitido do nível ofuscamento unificado (UGR - *Unified Glare Rating*) de projeto de iluminação e quantifica o desconforto visual causado por fontes brilhantes no campo visual. Calculado pelo método proposto pela (CIE, 1995) e calculado pelo DIALux, o UGR é dado pela Equação (3) nesta equação, a variável L_b é a luminância de fundo (cd/m^2); L é a luminância de cada luminária na direção do observador (cd/m^2); ω é o ângulo sólido de cada luminária juntamente ao olho do observador, medida em esferorradiano (sr) e p é o índice de posição de Guth para cada luminária (adimensional):

$$UGR = 8 \times \log \left[\left(\frac{0,25}{L_b} \right) \times \sum \left(\frac{L^2 \times \omega}{p^2} \right) \right] \quad (3)$$

O UGRL representa o valor limite de ofuscamento segundo a ABNT (2013) para ambientes elétricos com tarefas que requerem atenção contínua. Ultrapassar este limite representa ofuscamento desconfortável, comprometendo a leitura de instrumentos e aumentando o risco de erros operacionais e até mesmo de acidentes.

2.3 ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013: requisitos para a iluminação industrial

Esta é a norma ABNT (2013) vigente para o projeto e avaliação de sistemas de iluminação em ambientes internos de trabalho no Brasil. Para salas elétricas, a norma prescreve diferentes níveis de iluminância mantida e limites de ofuscamento conforme a criticidade da tarefa visual de cada setor. A iluminância mantida (E_M) é valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida. O Quadro 1 apresenta os valores mínimos de parâmetros lumínicos para a instalação.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	E_M (lux)	UGR_L
Vestiários, banheiros, toaletes.	200 lx	25
Salas auxiliares, por exemplo: sala das bombas, sala dos capacitores, quadro de chave de distribuição.	200 lx	25
Salas de controle.	500 lx	16

Quadro 1 – Dados sobre a circulação.

Fonte: ABNT (2013).

2.4 Tecnologia LED em iluminação industrial

Os diodos emissores de luz (LED — *Light Emitting Diode*) representam atualmente a principal tecnologia para iluminação industrial, tendo substituído progressivamente as lâmpadas de vapor de sódio, vapor metálico e fluorescentes. As luminárias LED industriais apresentam eficiência luminosa superior a 100 lm/W, podendo ultrapassar 160 lm/W nos modelos de alta performance, frente a valores de 80–120 lm/W comuns para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (MAMEDE FILHO, 2023).

Especificamente para salas elétricas em ETEs, as luminárias devem atender ao grau de proteção mínimo IP65, que assegura proteção total contra poeira e jatos de água, como preconiza a ABNT NBR IEC 60598-1 (2016). Quando há exposição a gases corrosivos, como o sulfeto de hidrogênio (H₂S), deve ser ainda avaliada a resistência à corrosão da carcaça.

Os principais parâmetros técnicos a considerar para a seleção de conjuntos lâmpadas-luminárias apropriadas para estes ambientes são: o fluxo luminoso (lm), a eficiência luminosa (lm/W), o índice geral de reprodução de cor (Ra) que não deve ser inferior a 80 em interiores (FUNDACENTRO, 2018), a temperatura de cor correlata entre 4.000 K e 6.500 K fornecendo aparência da cor entre intermediária e fria, a vida útil L70 em horas até que a emissão de luz da luminária deprecie para 70% do seu valor inicial, fator de potência.

2.5 Simulação luminotécnica com DIALux evo

O DIALux evo é um *software* de planejamento e simulação luminotécnica desenvolvido pela DIAL GmbH (DIAL GmbH, 2024), reconhecido mundialmente como o padrão da indústria para projetos de iluminação desde sua primeira versão, lançada em 1994. Atualmente, conta com mais de 750.000 usuários profissionais ao redor do mundo, disponível gratuitamente em

26 idiomas e integra produtos reais de mais de 450 fabricantes de luminárias renomados, sendo utilizado em mais de 150 países. Essa ampla adesão confere ao *software* credibilidade técnica e representatividade global, tornando-o referência consolidada entre engenheiros eletricitas, projetistas de iluminação e arquitetos para modelagem tridimensional de ambientes e avaliação de parâmetros fotométricos. A ferramenta implementa o método dos lúmens para o cálculo da iluminância média e o método ponto a ponto para a análise da distribuição espacial do fluxo luminoso, calculando e exibindo automaticamente os parâmetros em U_0 e UGR a partir dos arquivos fotométricos das luminárias e das características construtivas luminotécnicas do ambiente modelado. O *software* disponibiliza os resultados no formato de relatórios técnicos detalhados com mapas de falsa cor, que permitem a identificação visual imediata de zonas deficientes e a comparação direta entre o cenário existente e as soluções propostas. A utilização do DIALux em estudos de conformidade luminotécnica é reconhecida como prática metodologicamente adequada, pois possibilita a avaliação objetiva e reprodutível dos parâmetros normativos sem necessidade de intervenção física imediata na instalação (GIL, 2017).

3 METODOLOGIA

A pesquisa adota abordagem quali-quantitativa de caráter aplicado, com objetivo diagnóstico e propositivo. A motivação para o estudo surgiu da observação direta durante visita técnica à sala elétrica da ETE alvo deste estudo, ocasião em que foram constatadas condições de iluminação visivelmente inadequadas para execução das atividades operacionais. A partir dessa constatação, definiu-se uma metodologia estruturada em quatro etapas sequenciais e complementares: (i) caracterização física do ambiente; (ii) levantamento da percepção dos colaboradores por meio de formulário estruturado; (iii) simulação luminotécnica do cenário atual no *software* DIALux evo para diagnóstico técnico das não conformidades; e (iv) elaboração e simulação de proposta de adequação normativa.

3.1 Formulário avaliativo da percepção visual

Com o objetivo de identificar qualitativamente os problemas de iluminação percebidos pelos usuários da sala elétrica, foi elaborado e aplicado um formulário estruturado na plataforma Google Forms, disponibilizado digitalmente entre os dias 25 e 31 de março de 2026. O instrumento foi organizado em seis temas: i) identificação do cargo e tempo de uso da sala; (ii)

satisfação geral com o iluminamento, em escala de 1 a 10; (iii) adequação da iluminação para tarefas específicas, em escala Likert de cinco pontos; (iv) percepção de zonas de sombra e ofuscamento; (v) identificação de problemas na iluminação atual; e (vi) campo aberto para sugestões. Os dados foram tratados por análise de frequência relativa (GIL, 2017). Sete colaboradores participaram, dois Coordenadores de Implantação, um Coordenador de Automação, um Técnico em Automação, um Analista de Automação, um Técnico Eletricista e um Gerente de Engenharia número que corresponde à totalidade dos profissionais que utilizam regularmente o ambiente avaliado. Sendo desses, cinco (71%) utilizam o ambiente regularmente entre seis meses e dois anos, e dois (29%) há menos de seis meses, o que garantindo representatividade de diferentes níveis de familiaridade com as condições existentes.

3.2 Caracterização do ambiente

O objeto de estudo é a sala elétrica de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) privada de médio porte, localizada no estado de Minas Gerais, operando em regime contínuo de 24 horas. O ambiente abriga quadros de distribuição de baixa tensão (QDBT), Centro de Controle de Motores (CCM), sistema de supervisão e controle (SCADA) e estações de engenharia utilizadas para parametrização e monitoramento dos processos de tratamento, como mostrado na Figura 1. As zonas funcionais do ambiente, denominadas A1, A2, A3 e A4, possuem características construtivas e operacionais distintas que determinam os requisitos luminotécnicos aplicáveis. A Zona A1 representa os vestiários e banheiros, com acabamento claro e tarefas de baixa exigência visual, demandando iluminância de 200 lx para circulação segura. A Zona A2 abriga a sala de monitoramento, onde a atenção contínua às telas e a execução de tarefas visuais como leitura, escrita e digitação exigem uma iluminância mantida de 500 lx, além de um rigoroso controle de ofuscamento, com UGR menor ou igual a 16. A Zona A3 é o corredor de painéis, enquadrando-se como sala auxiliar de quadros de distribuição e exigindo 200 lx no plano horizontal, além de boa iluminância vertical para a leitura precisa de painéis de instrumentos e anilhas durante manobras. Por fim, a Zona A4 compreende as baias dos transformadores, ambientes rústicos e semiabertos que demandam 200 lx para detecção visual de vazamentos e inspeção segura dos equipamentos. As Zonas A2, A3 e A4 são acessadas diariamente pelos profissionais para realização de inspeções, leituras de instrumentos, manutenções e intervenções nos equipamentos.

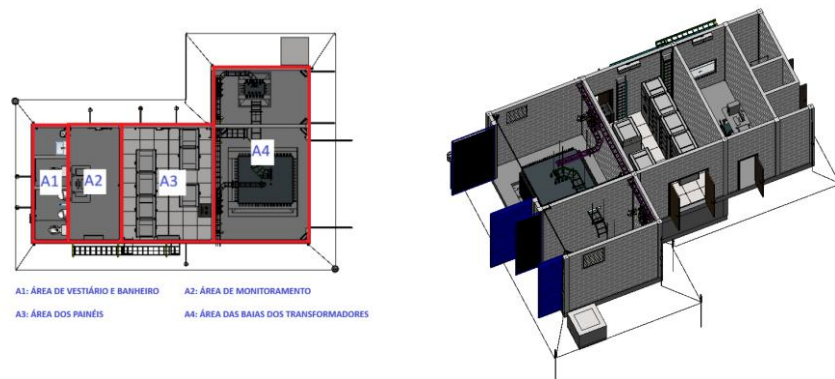


Figura 1- Planta baixa e modelagem tridimensional do ambiente projetado.

Fonte: Próprio autor, 2026.

As imagens fotográficas do ambiente não foram reproduzidas por restrições de confidencialidade impostas pela empresa. Entretanto, a modelagem tridimensional elaborada no *software* Revit foi disponibilizada pela empresa privada e utilizada como base para a simulação no *software* DIALux evo, a qual representa fielmente as dimensões e geometria da construção, a disposição dos equipamentos e as condições de refletância das superfícies internas, observadas e registradas durante uma visita técnica na etapa preliminar de projeto luminotécnico. O ambiente possui pé-direito de 4 metros, com dimensões de 15 m por 10,5 m, as superfícies internas apresentam acabamento paredes e teto em cinza-claro (refletância de 50%) e piso em concreto de tonalidade cinza-média (refletância de 20%). Os painéis elétricos (CMMs e QDBTs) apresentam acabamento com padrão industrial em chapa de aço com pintura eletrostática epóxi na cor cinza claro (padrão RAL 7032) e textura levemente rugosa, sendo utilizado um índice de refletância médio de 30% para modelagem computacional, variável determinante para o cálculo do UGR e da iluminância.

3.3 Simulação luminotécnica para diagnóstico do atual sistema de iluminação

A simulação diagnóstica do cenário luminotécnico atual foi realizada no *software* DIALux evo 13.1 por meio da modelagem tridimensional da sala elétrica, incorporando as dimensões, acabamentos e disposições dos equipamentos levantados durante a visita técnica. As luminárias existentes inseridas no modelo foram a LED TrueForce Core Industrial (Philips) modelos 40 W/3000 lm e 80 W/8960 lm, conforme ilustrado na Figura A1.a do Anexo A, e os projetores LED industriais blindados CLG-J (Conexled) modelos 60 W/9000 lm e 120 W/15000 lm, mostrados na Figura A1.b do Anexo A, estando estes fixados nas estruturas laterais da baia de transformadores a uma altura de montagem de 3,8 metros.

As especificações técnicas das luminárias estão no Quadro 2. Os arquivos fotométricos no formato *.ies fornecidos pelos fabricantes foram importados no *software*, garantindo a simulação fiel das condições reais de operação, como visto na Figura 2. O plano de trabalho foi definido a 0,85 m do piso, o qual deve corresponder ao plano de trabalho horizontal onde a tarefa visual é realizada (adotando-se 0,75 m como padrão mínimo geral) (ABNT,2013). A adoção da cota de 0,85 m para a simulação diz respeito à ergonomia das tarefas operacionais executadas de pé no piso da fábrica, como o manuseio de ferramentas e a leitura de diagramas.

Fabricante / Modelo	Eficiência luminosa	Temp. de cor	Ângulo de abertura	Vida Útil (L70) [h]	Fator de Potência
Philips TrueForce Core HB	75 lm/W	6.500 K	150	25.000	0,92
Philips TrueForce Core HB	112 lm/W	6.500 K	150	25.000	0,90
Conexled CLG-J60G	150 lm/W	5.000 K	90	100.000	> 0,98
Conexled CLG-J100G	150 lm/W	5.000 K	90	100.000	> 0,98

Quadro 2- Especificações Técnicas das Luminárias Existentes (Cenário Atual).

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos catálogos dos fabricantes (2026).

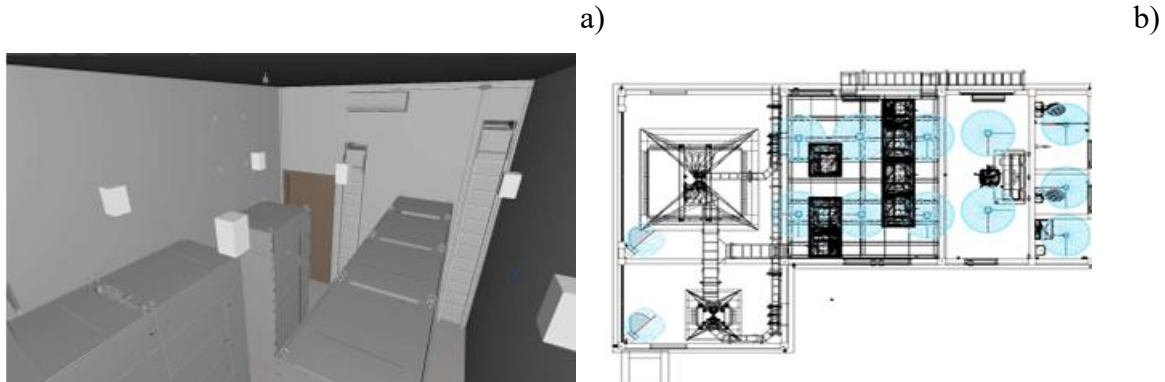


Figura 2 – (a) Vista interna do modelo tridimensional da sala elétrica no DIALux evo. (b) Posicionamento das luminárias na sala.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para avaliar a leitura de medidores e anilhas de identificação, utilizou-se superfícies de cálculo verticais nas faces frontais dos painéis elétricos. O UGR foi calculado para altura do observador definida em 1,60 m nas zonas de manobra (simulando a linha de visão do operador em pé) e em 1,20 m na sala de monitoramento (operação na postura sentada), como mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Áreas de cálculo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.4 Simulação luminotécnica para proposta de adequação

Com base nas não conformidades identificadas na simulação diagnóstica e nos problemas relatados pelos colaboradores no formulário, especialmente a necessidade de uso de lanterna pessoal (57% dos respondentes), a presença de zonas de sombra nas áreas A3 e A4 e a inadequação da iluminação para identificação de cabos e anilhas (71% avaliaram como regular ou Parcialmente Inadequada), foi elaborada uma proposta de adequação do sistema de iluminação. A proposta contempla a substituição das luminárias existentes por modelos de elevada eficácia da linha industrial Philips Pacific LED Gen5. Foram especificados equipamentos com ótica *Wide Beam* (WB) nas potências de 26 W e 31,5 W, ambos com fluxo luminoso de 4.200 lm, além de um modelo com ótica *Narrow Beam* (NB) de 55 W e fluxo de 7.200 lm. As demais especificações fotométricas e operacionais estão consolidadas no Quadro 3.

Série e Modelo	Eficiência Luminosa	Temp. de Cor	IRC	Ângulo de Abertura
WT490C 42S/840 PSD WB	162 lm/W	4.000 K	> 80	93°
WT475C 42S/840 PSD WB	133 lm/W	4.000 K	> 80	93°
WT475C 72S/840 PSD NB	131 lm/W	4.000 K	> 80	50°

Quadro 3- Especificações Técnicas das Luminárias (Cenário Proposto).

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos catálogos dos fabricantes (2026).

O aspecto físico geral da solução proposta e as curvas fotométricas das luminárias estão representadas na Figura B1 do Anexo B. Para o dimensionamento, adotou-se o rigor normativo adequado à exigência visual de cada ambiente, considerados os parâmetros de desempenho do Quadro 1. Inicialmente, os corredores de painéis CCM poderiam ser classificados sob o critério de 'quadro de chave de distribuição', que exige iluminância média de 200 lx. Contudo, em razão

da necessidade de leitura crítica de diagramas de comando, identificação de anilhas milimétricas e operação contínua de telas digitais, a área foi reclassificada e equiparada aos critérios de 'Salas de controle'. Dessa forma, estabeleceu-se a meta normativa de 500 lx para a iluminância média mantida, com uniformidade mínima de 0,80 e limite de ofuscamento (UGR) de 16, conforme a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT, 2013).

Para garantir o cumprimento desses parâmetros, a distribuição luminotécnica e a especificação das lentes foram estratificadas conforme a geometria de cada zona. A ótica *Narrow Beam* (NB) foi aplicada na sala de operação, visando concentrar o fluxo luminoso de operação e minimizar o ofuscamento. Paralelamente, a ótica *Wide Beam* (WB) foi destinada às áreas abertas e salas auxiliares, sala dos painéis, promovendo maior reflexão interna e eliminando as zonas de sombra identificadas no cenário atual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados dos estudos de casos considerando os sistemas de iluminação atualmente existentes e os sistemas de iluminação propostos, além das respostas da percepção visual dos colaboradores ao formulário avaliativo.

4.1 Resultados obtidos a partir das respostas dos colaboradores ao formulário avaliativo

O formulário de percepção visual foi respondido por sete colaboradores que atuam ou já atuaram na sala elétrica da ETE. A nota média de satisfação geral com o nível de iluminamento foi de 7,1 em escala de 1 a 10. Observou-se uma dispersão significativa entre as respostas com notas variando de 2 a 10, o que evidencia percepções divergentes influenciadas pelas zonas específicas de atuação e pela natureza das tarefas executadas. As porcentagens de respostas quanto à suficiência do sistema para a realização de atividades estão no Gráfico 1.

O sistema de iluminação é suficiente para realizar as suas atividades sem esforço visual ?
7 respostas

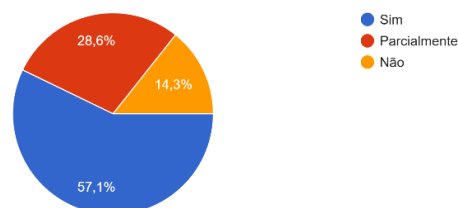


Gráfico 1 – Suficiência do sistema para a realização de atividades.

Fonte: Formulário elaborado pelo próprio autor.

A tarefa com o desempenho mais crítico foi a identificação de cabos e anilhas com numeração dos circuitos elétricos da sala elétrica, onde 71% das avaliações foram negativas ou neutras (43% Regular e 29% Parcialmente Inadequada). Este dado é tecnicamente alarmante, pois a correta identificação de componentes é requisito de segurança operacional. A dificuldade relatada correlaciona-se diretamente com a baixa iluminância vertical verificada na face dos painéis. Em contraste, a leitura de telas digitais, mostradores de medidores e de diagramas apresentou melhores índices de adequação (71% e 43% de avaliação positiva, respectivamente), indicando que a iluminação geral atende a tarefa em planos positivos horizontais ou superfícies com brilho próprio, mas há um nível de iluminamento deficiente em iluminar detalhes em profundidade dentro dos painéis.

Em relação à qualidade da luz, 43% dos colaboradores identificam a presença de zonas de sombra, com foco nas áreas A3 e A4 ao nível do chão. O indicador mais evidente da ineficiência do sistema atual é que 57% dos respondentes (quatro colaboradores) indicaram haver necessidade frequente de uso de lanterna pessoal para complementar a iluminação existente. Adicionalmente, queixas relativas à fadiga visual, cintilação (*flicker*) e dificuldade na distinção das cores dos condutores foram reportadas, cada uma, por 14% dos respondentes. A coexistência de tecnologias (71% LED e 29% fluorescente) sugere uma manutenção sem a padronização observando critérios normativos de projeto luminotécnico, o que contribui para a inconsistência nos níveis de iluminamento e baixa uniformidade, sem alteração gradual da iluminância como prevista na norma. Os resultados consolidados estão sintetizados no Gráfico 2.

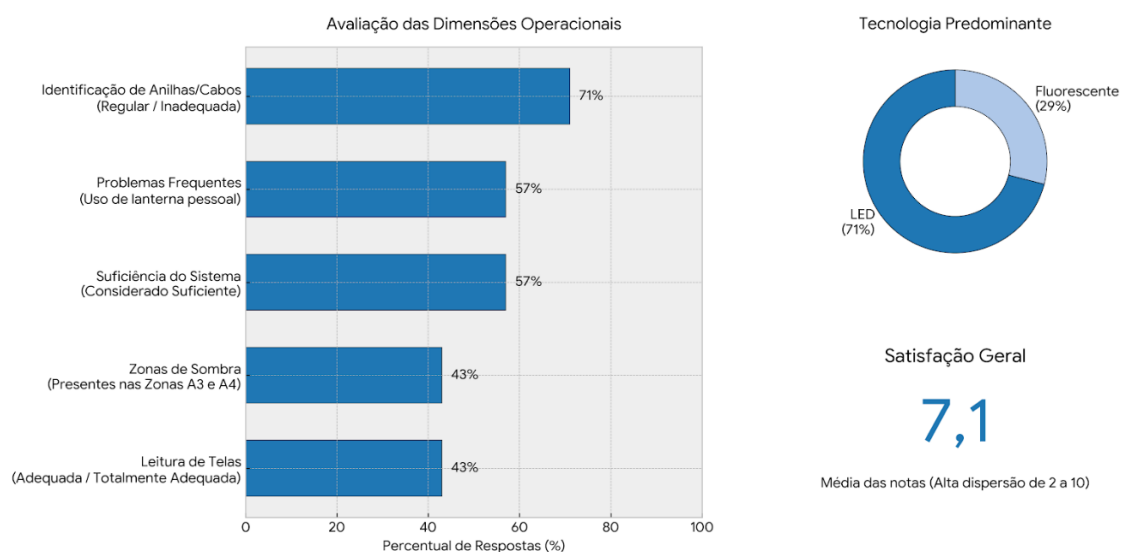


Gráfico 2 – Painel consolidado do diagnóstico do sistema de iluminação atual.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.2 Simulação e diagnóstico do cenário atual

Para validar tecnicamente não conformidades relatadas pelos colaboradores no formulário de percepção visual (Seção 4.1), o sistema de iluminação existente na sala elétrica foi modelado e simulado no *software* DIALux evo 13.1. Os resultados quantitativos obtidos na simulação do cenário atual como indicadores das falhas ergonômicas e luminotécnicas da instalação corroboram para a reprovação dos sistemas de iluminação existentes por constatação do não atendimento aos parâmetros mínimos de desempenho lumínico estipulados pela norma ABNT (2013).

A reclamação mais crítica identificada por questionário foi a dificuldade de identificar cabos e anilhas que resultava na necessidade de uso de lanterna pessoal por 57% da equipe. Esta não conformidade foi confirmada pelos resultados de cálculos luminotécnicos obtidos após simulação computacional. No plano vertical de trabalho, posicionado nas faces dos painéis CCM, a iluminância média registrou apenas 180 lx. A insuficiência luminosa neste plano de trabalho pode ser observada pela Figura 4, que evidencia a baixa incidência do fluxo luminoso na porta dos quadros elétricos. A Figura 4 demonstra fisicamente que a luz se concentra de forma pontual sob as luminárias existentes e dissipa-se rapidamente, criando regiões de escuridão no corredor que elevam o risco de acidente e fadiga visual

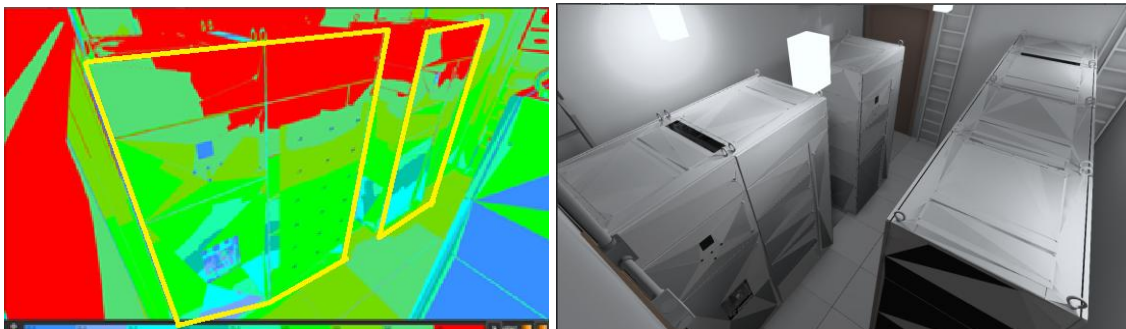


Figura 4- Representação das zonas de sombra e baixa uniformidade no piso do corredor.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Adicionalmente, os problemas de ofuscamento e reflexo em monitores relatados na sala de controle refletem a ausência de controle ótico das luminárias antigas. A simulação apontou um índice de ofuscamento unificado (UGR) de 27,8 na sala elétrica e de 28,1 na sala de monitoramento. Considerando que o limite normativo rigoroso para áreas com uso intensivo de telas é 16, os valores atestam um ofuscamento severo, responsável direto pelo desconforto visual da equipe.

As deficiências operacionais estendem-se também às áreas auxiliares do complexo. As baias dos transformadores, tiveram iluminâncias médias de apenas 155 lx e 88,7 (mínimo de 200 lx para inspeção visual segura nestes locais) com uniformidades críticas. A convergência entre a percepção subjetiva dos utilizadores e os dados matemáticos e gráficos extraídos do DIALux evidencia a obsolescência do sistema atual e fundamenta tecnicamente a necessidade do projeto de readequação. O Quadro 4 sintetiza a validação das não conformidades.

Problema Relatado no Formulário	Resultado da Simulação (DIALux - Cenário Atual)	Status Normativo
Dificuldade na leitura de anilhas e uso de lanternas.	Iluminância vertical (Porta do Painei): 180 lx (Meta: 500 lx)	Reprovado
Zonas de sombra no corredor central (A3/A4).	Uniformidade no Piso (Sala Elétrica): 0,19 (Meta: $\geq 0,60$)	Reprovado
Ofuscamento e reflexos na tela.	UGR (Sala de Monitoramento): 28,1 (Limite: ≤ 16)	Reprovado
Iluminação deficiente em áreas de inspeção.	Iluminância Horizontal (Baia Transformador): 88,7 lx (Meta: 200 lx)	Reprovado

Quadro 4- Validação do Diagnóstico: Percepção Qualitativa vs. Simulação Quantitativa.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.3 Validação da proposta de adequação e análise comparativa

A simulação computacional do cenário proposto, utilizando as luminárias Philips Pacific LED Gen5 com estratificação ótica (lentes *Narrow Beam* e *Wide Beam*), corrigiu as não conformidades presentes no cenário atual. O novo projeto atendeu aos parâmetros de desempenho da ABNT (2013) para áreas equiparadas a salas de controle com meta de 500 lx.

O principal desafio luminotécnico do ambiente, a baixa iluminância nas faces dos painéis CCM, que exigia uso de lanternas foi sanado pelo uso da ótica *Wide Beam* (WB). No plano vertical de cálculo referente à superfície das portas dos painéis, a iluminância média foi elevada do estado crítico de 180 lx para 339 lx. Essa evolução pode ser observada graficamente na Figura 5.a, que atesta uma distribuição luminosa muito mais homogênea e eficaz na altura de operação visual do que aquela registrada no cenário atual na Figura 4.

No plano horizontal, a utilização de luminárias empregadas garantiu que a iluminância média mantida no corredor principal da Sala elétrica seja de 613 lx, superando a meta normativa com margem de segurança para o fator de manutenção. Mais importante que o ganho absoluto de fluxo luminoso foi a correção do “efeito mancha”. A uniformidade de 0,19 para a atual iluminação (Figura 4) atingiu índices superiores a 0,80. A Figura 5.b ilustra a eliminação das zonas de escuridão relatadas por 43% dos colaboradores, evidenciando uma iluminância contínua e que proporciona segurança no plano de circulação.

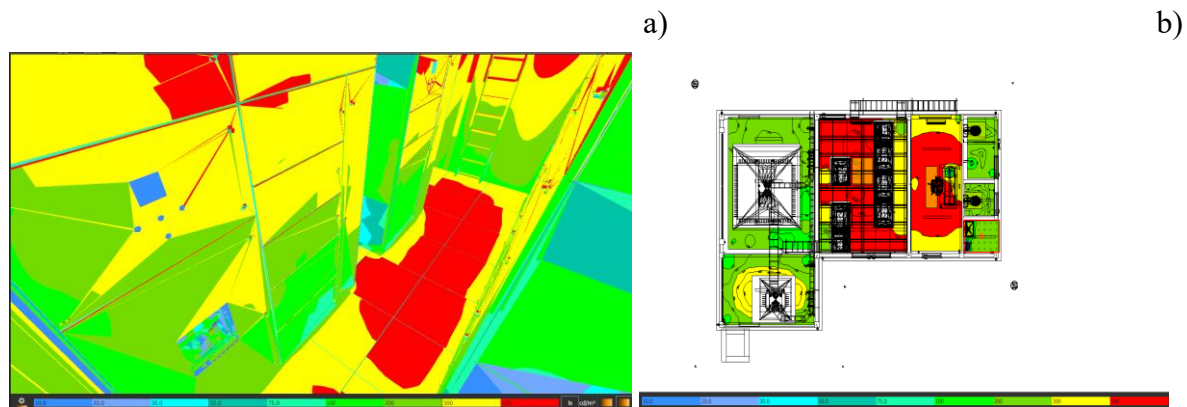


Figura 5 – Representação das zonas de sombra e baixa uniformidade: (a) no piso do corredor e (b) sala elétrica.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2026).

O principal avanço ergonômico do projeto, contudo, está na mitigação do Índice de Ofuscamento Unificado (UGR). Apesar do aumento significativo na quantidade total de luz injetada na sala, o UGR foi drasticamente reduzido. O cenário antigo submetia os operadores a um nível superior a 27. A solução luminotécnica proposta reduziu este valor para apenas 13,7 na Sala Elétrica, valor muito próximo do nível de ofuscamento desconfortável menos perceptível na escala de UGR da ABNT (2013). Este índice abaixo do UGR_L de 16, comprova que o controle ótico das lentes NB evitou a reflexão especular indesejada nas portas de aço dos painéis, mitigando o risco de fadiga visual e eliminando os reflexos nas telas digitais.

A comparação direta entre o cenário pré-adequação e o projeto proposto, sintetizada nos Quadros 5 e 6, evidencia não apenas a conformidade técnica, mas uma adequação tecnológica que moderniza a infraestrutura da ETE e a torna mais segura conforme a NR-10.

A comparação direta entre os cenários demonstra não apenas a conformidade técnica com os parâmetros de desempenho dos sistemas de iluminação estabelecido pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, mas um salto tecnológico que alinha a infraestrutura da ETE às exigências de segurança da NR-10 (BRASIL, 2004) para ambientes elétricos industriais.

Ambiente / Setor	Meta Normativa [lx]	Cenário Atual [lx]	Cenário Proposto [lx]
Sala de painéis	500	370	613
Sala de monitoramento	500	307	511
Baia Transformador 380V	200	88,7	231
Baia Transformador 220 v	200	155	290
Banheiro	200	156	247
Vestiário	200	124	218
Lavanderia	200	118	210

Quadro 5- Comparativo de iluminância média mantida: cenário atual vs solução proposta.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Ambiente / Setor	Meta Normativa	Cenário Atual	Cenário Proposto
Sala de painéis	16	27,8	13,7
Sala de monitoramento	16	28,1	14,8
Banheiro	25	> 30	< 10
Vestiário	25	> 30	24,5
Lavanderia	25	> 30	24,9

Quadro 6- Comparativo de UGR: cenário atual vs solução proposta.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou, por meio de abordagem quali-quantitativa combinando formulário de percepção visual e simulação luminotécnica computacional, que o sistema de iluminação da sala elétrica da ETE privada analisada apresenta múltiplas não conformidades em relação à ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 e a norma regulamentadora NR-10. As principais deficiências identificadas foram: iluminância vertical de apenas 180 lx nas faces dos painéis CCM, uniformidade de 0,19 no piso do corredor (mínimo de 0,80), UGR de 27,8 a 28,1 nos ambientes com telas digitais (limite de 16) e iluminância insuficiente nas baias de transformadores. Esses dados técnicos foram corroborados pela percepção dos colaboradores, especialmente pelo fato de 57% necessitarem de lanternas pessoais para execução de tarefas, evidenciando risco operacional real e sistemático.

A proposta de adequação com luminárias Philips Pacific LED Gen5 (Série WT490C), com estratificação de óticas *Narrow Beam* e *Wide Beam* conforme a geometria e exigência visual de cada zona, demonstrou conformidade plena com a norma de referência em todos os ambientes avaliados. A iluminância vertical nas faces dos painéis evoluiu para 339 lx, a horizontal atingiu 613 lx com uniformidade superior a 0,80 e o UGR foi reduzido para 13,7,

todos dentro dos limites normativos. A adoção de tecnologia LED de alta eficácia contribui, adicionalmente, para a redução do consumo energético e dos custos de manutenção da instalação.

Os resultados reforçam a importância da realização de diagnósticos luminotécnicos periódicos em salas elétricas industriais, especialmente em instalações sem histórico de revisão desde a implantação. Recomenda-se que estudos futuros incluam medição in loco com luxímetro calibrado para validação dos resultados de simulação, e que a metodologia seja replicada para demais áreas. A abordagem adotada neste artigo combinando percepção dos trabalhadores, modelagem tridimensional e simulação computacional no DIALux evo, mostra-se replicável e tecnicamente adequada para diagnósticos de conformidade luminotécnica em instalações industriais similares.

REFERÊNCIAS

ABRACOPEL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSCIENTIZAÇÃO PARA OS PERIGOS DA ELETRICIDADE. **Anuário estatístico de acidentes de origem elétrica 2025, ano base 2024**. São Paulo: ABRACOPEL, 2025. Disponível em: <https://abracopel.org/estatisticas>. Acesso em: maio 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039**: Instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60598-1**: luminárias — Parte 1: requisitos gerais e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10**: segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília: MTE, 2004.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-17: ergonomia**. Brasília: MTE, 2021.

CONEXLED. **Projeto LED Blindado Linha Guaecá CLG-J(G)**. Catálogo de produtos e especificações técnicas. 2026. Disponível em: <https://conexled.com/> Acesso em: 21 maio 2026.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **CIE 117: discomfort glare in interior lighting**. Vienna: CIE, 1995.

DIAL GmbH. **DIALux evo**: software de planejamento luminotécnico. Lüdenscheid: DIAL, 2024. Disponível em: <https://www.dialux.com>. Acesso em: abr. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Brasília: EPE/MME, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 01 jun. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: jun. 2026

FUNDACENTRO – FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **NHO 11: iluminação em ambientes internos de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

PHILIPS. **LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay)**. Folheto comercial e especificações técnicas. 2024. Disponível em: <https://www.lighting.philips.com.br/> Acesso em: 21 maio 2026.

PHILIPS. **Pacific LED Gen5 Value WT475C 42S/840 PSD WB L1200**: ficha técnica de produto. 2025. Disponível em: <https://www.signify.com/pt-br> Acesso em: 22 maio 2026.

6 ELEMENTOS PÓS TEXTUAIS

ANEXO A – Luminárias e curvas fotométricas (cenário atual).

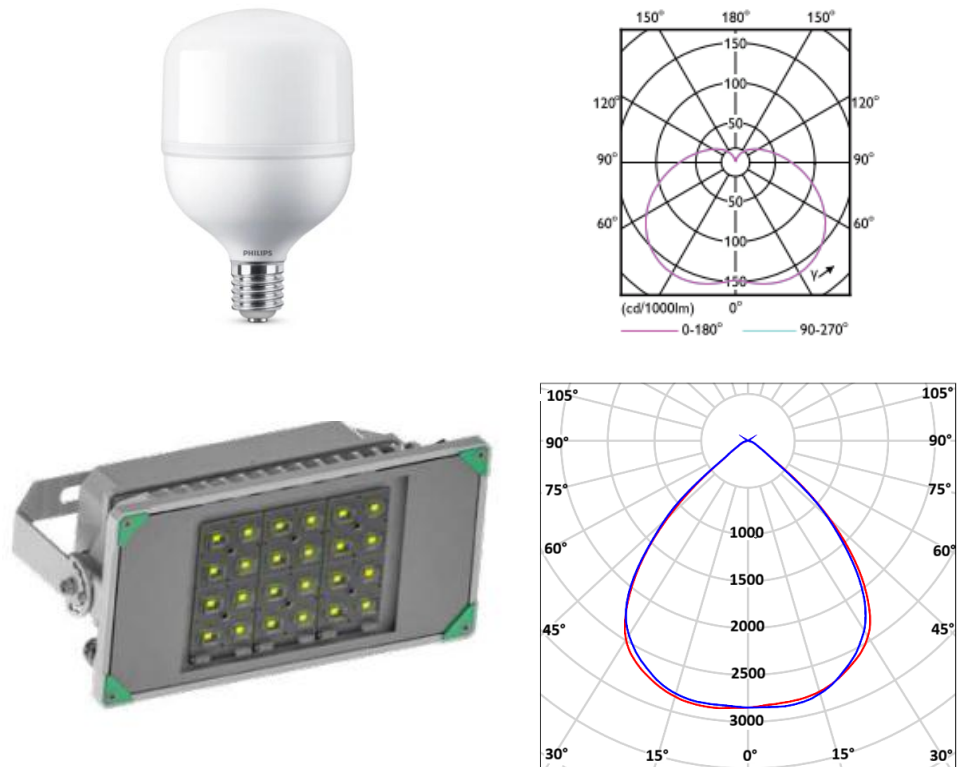


Figura A1- (a) modelo TrueForce Core – Philips. (b) modelo CLG-J - Conexled

Fonte: catálogos dos fabricantes Philips (2024) e Conexled (2026).

ANEXO B – Luminárias e curvas fotométricas (cenário proposto).

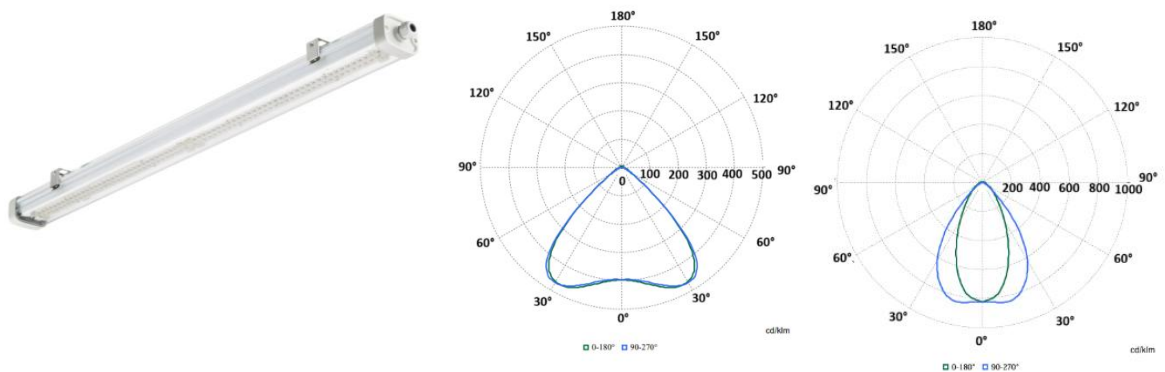


Figura B1 - Imagem da luminária Philips WT490C – WB e NB e curvas CDL de cada modelo.

Fonte: Philips (2026).