UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - HABILITAÇÃO SISTEMAS ELETRÔNICOS

Rafaela Gonçalves da Silva

Iluminação Esportiva: Contexto Atual e Estudo de Caso na FAEFID-UFJF

Juiz de Fora
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - HABILITAÇÃO SISTEMAS ELETRÔNICOS

Rafaela Gonçalves da Silva

Iluminação Esportiva: Contexto Atual e Estudo de caso na FAEFID-UFJF

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Cristiano Gomes Casagrande, Dr.Eng.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Cristiano Gomes Casagrande, Dr. Eng.
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Israel Filipe Lopes, Dr. Eng.
Universidade Federal de Juiz de Fora

Arq. Thiago Santos Rocha, Me.
Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 20 de Janeiro de 2026.

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva, Rafaela Gonçalves.
Iluminação Esportiva: Contexto Atual e Estudo de Caso na FAEFID-UFJF / Rafaela Gonçalves Silva. -- 2026.
49 p. : il.

Orientador: Cristiano Gomes Casagrande
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2026.

1. Iluminação Esportiva. 2. Eficiência Energética. 3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. I. Casagrande, Cristiano Gomes, orient. II. Título.

RESUMO

Uma boa iluminação em recintos esportivos é fundamental não apenas para a visibilidade de atletas e árbitros, mas também como um fator determinante para a segurança física e o desempenho técnico durante a prática desportiva. No cenário brasileiro, entretanto, a ausência de uma norma ABNT específica e atualizada para este setor cria um vácuo técnico, obrigando a utilização de diretrizes internacionais e resultando, muitas vezes, em sistemas obsoletos ou com manutenção inadequada.

O presente trabalho analisou criticamente o sistema de iluminação do campo de futebol da Faculdade de Educação Física e Desportos (FAEFID) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com o objetivo de evidenciar suas deficiências e discutir a lacuna normativa brasileira para iluminação desportiva. A metodologia envolveu levantamento da infraestrutura, medições no campo da iluminância em 88 pontos, e comparação com diretrizes internacionais (FIFA e CIE). A inspeção revelou que apenas 24 dos 72 refletores instalados (33,33%) estão operacionais, com a infraestrutura em avançado estado de degradação. As medições confirmaram a situação precária, indicando uma iluminância média (E_{avg}) de 61,16 lux, valor drasticamente inferior aos 200 lux exigidos pela FIFA para atividades de treinamento (Classe I). Embora a uniformidade ($U_{min/avg}$) de 0,556 tenha atendido ao mínimo (0,5), a baixa iluminância global compromete a segurança e o desempenho. A comparação com simulações DIALux reforçou a influência da depreciação do sistema real. Conclui-se que o sistema está em péssimas condições e não atende aos requisitos mínimos de segurança, reforçando a necessidade urgente de modernização para tecnologia LED e destacando a falta de uma norma ABNT voltada para ambientes esportivos.

Palavras-chave:Iluminação Esportiva; Eficiência Energética; Luminotécnica; Norma ABNT.

ABSTRACT

A good lighting in sports venues is fundamental not only for the visibility of athletes and referees, but also as a determining factor for physical safety and technical performance during sports practice. In the Brazilian scenario, however, the absence of a specific and updated ABNT standard for this sector creates a technical vacuum, forcing the use of international guidelines and often resulting in obsolete systems or inadequate maintenance.

This study critically analyzed the lighting system of the football field belonging to the Faculty of Physical Education and Sports (FAEFID) at the Federal University of Juiz de Fora (UFJF), with the objective of highlighting its deficiencies and discussing the Brazilian normative gap regarding sports lighting. The methodology involved surveying the infrastructure, *in loco* illuminance measurements at 88 points, and comparison with international guidelines (FIFA and CIE). The inspection revealed that only 24 of the 72 installed floodlights (33.33%) are operational, with the infrastructure in an advanced state of degradation. Measurements confirmed the precarious situation, indicating an average illuminance (E_{avg}) of 61.16 lux, a value drastically inferior to the 200 lux required by FIFA for training activities (Class I). Although the uniformity ($U_{min/avg}$) of 0.556 met the minimum (0.5), the low global illuminance compromises safety and performance. Comparison with DIALux simulations reinforced the influence of the real system's depreciation. It is concluded that the system is in very poor condition and does not meet minimum safety requirements, reinforcing the urgent need for modernization to LED technology and highlighting the lack of an ABNT standard aimed at sports environments.

Keywords:Sports Lighting; Energy Efficiency; Luminotechnics; ABNT Standard.

Sumário

1 INTRODUÇÃO **9**

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO 10

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE LUMINOTÉCNICA **11**

2.1 ILUMINÂNCIA (E) 11

2.2 LUMINÂNCIA (L) 11

2.3 UNIFORMIDADE (U) 12

2.4 TEMPERATURA DE COR (TC) 13

2.5 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC) 14

2.6 OFUSCAMENTO (*GLARE*) 14

2.7 TIPOS DE FONTES DE LUZ E LUMINÁRIAS PARA ILUMINAÇÃO ESPORTIVA 14

2.7.1 LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDADE (HID) . . 14

2.7.2 TECNOLOGIA LED (*LIGHT EMITTING DIODE*) 15

2.8 NORMAS E RECOMENDAÇÕES PARA ILUMINAÇÃO ESPORTIVA . . 16

2.8.1 NORMAS E RECOMENDAÇÕES INTERNACIONAIS 16

2.8.2 CENÁRIO NORMATIVO BRASILEIRO: A LACUNA NA ILUMINAÇÃO DESPORTIVA 17

2.9 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE EM ILUMINAÇÃO 18

2.9.1 CONCEITOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO 19

2.9.2 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 19

2.9.3 SUSTENTABILIDADE NA ILUMINAÇÃO ESPORTIVA 19

3 METODOLOGIA **21**

3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS 21

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO **25**

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EXISTENTE . . . 25

4.2 ACIONAMENTO DO SISTEMA 30

4.3 CONSUMO ENERGÉTICO ESTIMADO DO SISTEMA ATUAL 31

4.4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE ILUMINÂNCIA 31

4.5 ANÁLISE DOS PARÂMETROS LUMINOTÉCNICOS 35

4.6 COMPARAÇÃO COM NORMAS E RECOMENDAÇÕES 36

4.7 O FATOR DE MANUTENÇÃO (FM) 36

4.8 COMPARAÇÃO ENTRE VALORES MEDIDOS E SIMULADOS (DIALUX) 37

4.9 DISCUSSÃO DA LACUNA NORMATIVA BRASILEIRA E IMPLICAÇÕES 41

4.10 PROPOSTAS DE MELHORIA 42

5 CONCLUSÃO **46**

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO 47
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 47

REFERÊNCIAS **48**

Lista de Figuras

1 Grandezas fundamentais da luz: fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminância e luminância. 12
2 Gráfico Escala de Temperatura. 13
3 Luminária HID - Linha Projetor PL1002/PL2000 e suas aplicações. . . . 15
4 Medição de iluminância com luxímetro e fita métrica no campo da FAEFID/UFJF. 21
5 Vista do campo da FAEFID/UFJF com a fita métrica estendida durante as medições noturnas. 22
6 Luxímetro digital Politerm POL-10B utilizado. 22
7 Luxímetro digital Minipa MLM-1011 utilizado. 23
8 Fatura com a descrição do produto "PROJETOR PL 2000 MAD". 25
9 Vista aérea de uma das torres de iluminação do campo da FAEFID/UFJF, mostrando o arranjo dos refletores. 26
10 Mapa de localização dos pontos de iluminação no campo da FAEFID/UFJF. 26
11 Refletores funcionando na Torre 1. 27
12 Refletores funcionando na Torre 2. 27
13 Refletores funcionando na Torre 3. 28
14 Refletores funcionando na Torre 4. 28
15 Refletores funcionando na Torre 5. 28
16 Refletores funcionando na Torre 6. 29
17 Fiação exposta e mal isolada na infraestrutura elétrica. 29
18 Reator Philips VTE2000A361G P para lâmpada de vapor metálico de 2000W. 30
19 Sequência de acionamento e desligamento dos refletores. 30
20 Painéis de controle do sistema de iluminação do campo da FAEFID/UFJF. 31
21 Mapa de iluminância do campo da FAEFID/UFJF com valores medidos. 32
22 Mapa de calor da iluminância do campo da FAEFID/UFJF. 34
23 Ponto de medição com luxímetro e possível obstrução de tela. 35
24 Simulação no DIALux para a situação atual (24 refletores operacionais). 37
25 Mapa de cores (24 refletores operacionais). 38
26 Simulação no DIALux para a situação ideal (72 refletores operacionais) 39
27 Mapa de cores (72 refletores operacionais) 39
28 Simulação no DIALux usando LED 43
29 Mapa de Cores (72 LEDs 44

Lista de Tabelas

1 Requisitos de iluminância, uniformidade, temperatura de cor e reprodução de cor para diferentes níveis de atividade em campos de futebol, conforme diretrizes da FIFA. 17
2 Valores de iluminância medidos em cada um dos 88 pontos. 33
3 Comparação dos parâmetros luminotécnicos medidos com os requisitos normativos (FIFA e ABNT/CIE) para campo de futebol. 36
4 Comparação entre os valores de iluminância média 40
5 Comparativo técnico entre o sistema atual (24 refletores) e o cenário proposto (72 refletores de LED) 45

1 INTRODUÇÃO

A iluminação de instalações esportivas desempenha um papel essencial na segurança, no desempenho e no conforto visual de atletas, árbitros, espectadores e demais usuários. Em ambientes universitários, onde os espaços esportivos são utilizados para aulas práticas, treinamentos, competições e eventos institucionais, torna-se imprescindível dispor de um sistema de iluminação eficiente, especialmente durante atividades noturnas. A deficiência luminotécnica, além de comprometer a visibilidade, representa riscos à integridade física dos usuários e reduz significativamente a funcionalidade do espaço.

No contexto da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), destaca-se o campo de futebol pertencente à Faculdade de Educação Física e Desportos (FAEFID), inserido em um dos maiores complexos esportivos da região, inaugurado em 2009 (UFJF, 2010). Tal relevância foi reconhecida pelo Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos de 2016, que habilitou a FAEFID como local oficial de treinamento para delegações olímpicas (UFJF, 2012). Esta designação reforça a importância de garantir que as instalações da instituição estejam em conformidade com os padrões técnicos exigidos para a prática esportiva de alto rendimento.

Entretanto, o sistema atual de iluminação do campo da FAEFID apresenta condições precárias, caracterizadas por níveis de iluminância abaixo do recomendado, baixa uniformidade, ausência de controle operacional eficiente e elevado consumo energético. Esses problemas refletem a obsolescência da infraestrutura instalada, composta majoritariamente por refletores com lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID), e evidenciam a carência de um plano de modernização adequado. Soma-se a isso a lacuna normativa vigente no Brasil: a ausência de uma norma técnica nacional específica e atualizada da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) voltada à iluminação esportiva. O cancelamento da ABNT NBR 8837 sem substituição oficial dificulta a avaliação padronizada e limita a implementação de soluções compatíveis com a realidade nacional.

Cabe ressaltar que este diagnóstico delimita-se exclusivamente à área de jogo do campo de futebol, não sendo seus resultados e análises extensíveis às demais áreas do complexo desportivo, como a pista de atletismo circundante, que possui requisitos normativos e parâmetros luminotécnicos específicos.

Essa lacuna é detalhada por Rocha (2025), que confirma que, após o cancelamento da NBR 8837 em 2012, o tema foi aglutinado de forma superficial na NBR 8995-1. Segundo o autor, essa transição resultou em diretrizes insuficientes para a complexidade das arenas esportivas, gerando uma alta subjetividade na execução de projetos e na fiscalização de níveis de iluminância em território brasileiro.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar um

diagnóstico sobre o sistema de iluminação do campo de futebol da FAEFID/UFJF, comparando os dados reais obtidos em campo com os requisitos de desempenho estabelecidos por normas. Busca-se, a partir desta análise, identificar as principais deficiências do sistema atual e propor diretrizes para uma modernização tecnológica que assegure a conformidade técnica, a segurança dos usuários e a eficiência energética da instalação.

A metodologia de desenvolvimento baseia-se em uma abordagem prático-analítica. O trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica de conceitos e identificação da lacuna normativa brasileira no setor de iluminação esportiva, buscando compreender como o a ausência de normas nacionais impacta em novos projetos. Em seguida, o sistema foi avaliado em campo por meio de medições de iluminância com luxímetro e inspeções técnicas para identificar danos físicos e operacionais na infraestrutura. Em paralelo, o campo foi modelado no software DIALux evo para simular o comportamento teórico dos refletores instalados. O cruzamento desses dados — fundamentação normativa, medições reais e simulações computacionais — permitiu quantificar a perda de eficiência do sistema ao longo dos anos e fundamentar tecnicamente a necessidade de uma modernização para a tecnologia LED.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 1, Introdução, apresenta a contextualização do tema, a relevância do problema da pesquisa, o objetivo geral e as justificativas do estudo.

O Capítulo 2, Conceitos Fundamentais de Luminotécnica, aborda as grandezas fotométricas essenciais (iluminância, uniformidade, temperatura de cor, entre outras) e as tecnologias de fontes de luz empregadas na iluminação desportiva.

O Capítulo 3, Metodologia, detalha os procedimentos adotados para o levantamento de dados, incluindo a descrição do sistema de iluminação, a técnica de medição de iluminância e os critérios de comparação baseados em normas internacionais.

O Capítulo 4, Resultados e Discussão, apresenta os dados obtidos das medições, a análise crítica da situação atual do campo da FAEFID em comparação com as exigências normativas e a proposta de um novo sistema de iluminação.

O Capítulo 5, Conclusão, sintetiza os principais resultados alcançados e propõe sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE LUMINOTÉCNICA

Os princípios da luminotécnica constituem a base fundamental para o desenvolvimento de sistemas de iluminação eficientes e adequados às exigências específicas de cada ambiente. Esta seção apresenta os conceitos essenciais que orientam a análise e o projeto luminotécnico, com ênfase especial em sua aplicação em instalações esportivas, onde o desempenho visual, a segurança e a uniformidade da iluminação são fatores críticos.

2.1 ILUMINÂNCIA (E)

A iluminância é a grandeza luminotécnica que expressa a quantidade de fluxo luminoso que incide sobre uma superfície por unidade de área. Sua unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é o lux (lx), correspondente a um lúmen por metro quadrado ($\frac{lm}{m^2}$). "A iluminância quantifica a 'luz disponível' em um determinado ponto de uma superfície"(BONET, 2003, p. 15).

Em ambientes esportivos, a iluminância é um parâmetro crítico, pois níveis adequados são fundamentais para garantir a visibilidade de todos os elementos em campo, como a bola, os jogadores e as marcações, assegurando que atletas, árbitros e espectadores tenham uma percepção visual clara do jogo. Além disso, a iluminação adequada contribui diretamente para a segurança, prevenindo acidentes decorrentes de áreas mal iluminadas ou contrastes excessivos.

Essa importância é corroborada por Rocha (2025), que afirma que a iluminação influencia diretamente no desempenho dos atletas ao permitir reações rápidas e precisas diante das exigências do jogo. Segundo o autor, a iluminação inadequada compromete a acuidade visual dinâmica e o tempo de reação; em um esporte de movimento rápido como o futebol, a falta de luz de qualidade prejudica a capacidade do cérebro de processar estímulos visuais e selecionar a resposta motora correta, o que compromete a tomada de decisão e aumenta o risco de lesões por falta de visibilidade. A medição da iluminância é realizada por meio de um luxímetro, e essa é uma das principais variáveis analisadas em avaliações técnicas de sistemas de iluminação.

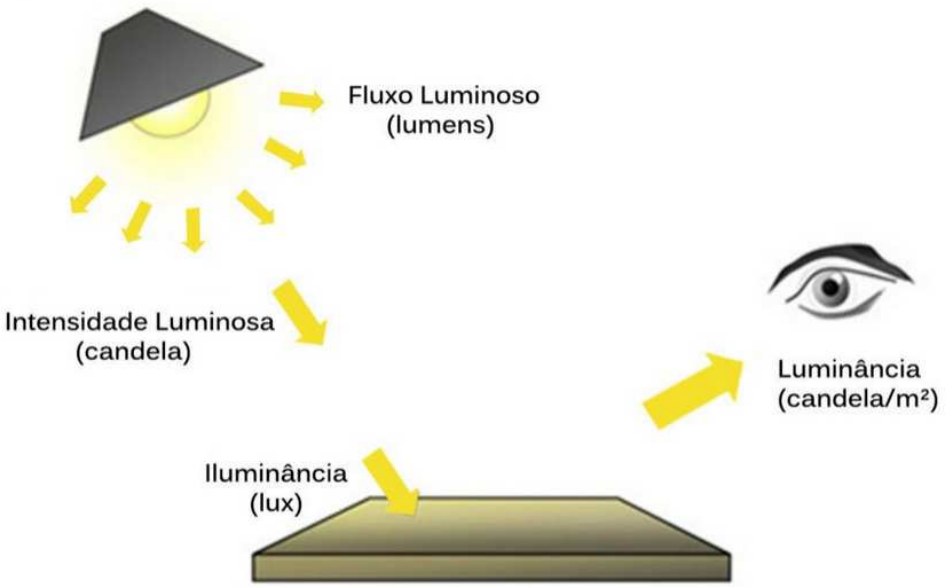
2.2 LUMINÂNCIA (L)

A luminância refere-se à intensidade luminosa emitida, refletida ou transmitida por uma superfície em determinada direção, por unidade de área aparente. Sua unidade é a candela por metro quadrado ($\frac{cd}{m^2}$). Segundo a *Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)*, "ao contrário da iluminância, que mede a luz que chega a uma superfície, a luminância mede a luz que sai da superfície e é percebida pelo olho humano como 'brilho'"(IESNA, 2011).

No contexto esportivo, a luminância influencia diretamente o conforto visual, evitando contrastes excessivos, na qualidade da imagem em transmissões televisivas, e no risco de ofuscamento, que pode comprometer a visão dos atletas.

A Figura 1 ilustra os conceitos fundamentais da luz e suas grandezas de medição.

Figura 1: Grandezas fundamentais da luz: fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminância e luminância.



Fonte: Grado Iluminação (2025).

2.3 UNIFORMIDADE (U)

A uniformidade da iluminância descreve quão homogênea é a distribuição da luz sobre uma superfície. Pode ser expressa pela razão entre a iluminância mínima (E_{min}) e a iluminância média (E_{avg}), conforme (1), ou entre a iluminância mínima (E_{min}) e a máxima (E_{max}), conforme (2).

$$U_{min/avg} = \frac{E_{min}}{E_{avg}} \tag{1}$$

$$U_{min/max} = \frac{E_{min}}{E_{max}} \tag{2}$$

Conforme a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, "a uniformidade da iluminância é fundamental para a qualidade da percepção visual em ambientes, sendo definida pela relação entre os valores mínimo e médio ou mínimo e máximo de iluminância"(ABNT, 2013, p. 6). Para ambientes de tarefa visual, como os esportivos, recomenda-se que a uniformidade mínima ($U_{min/avg}$) não seja inferior a 0,7, a fim de garantir conforto visual e desempenho adequado. Uma boa uniformidade é essencial para evitar sombras e

pontos escuros, garantindo visibilidade constante, oferecer conforto visual, evitando transições bruscas de luz, e para assegurar justiça no jogo com visibilidade igualitária para todos os atletas em qualquer ponto do campo.

2.4 TEMPERATURA DE COR (TC)

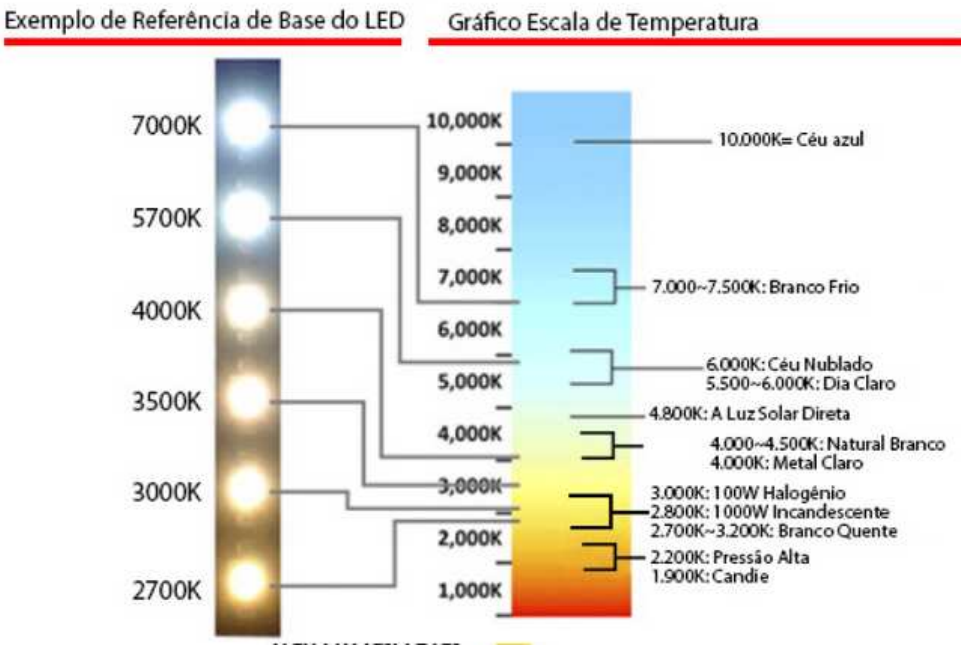
A temperatura de cor correlata (TC) descreve a tonalidade da luz emitida por uma fonte, medida em Kelvin (K). Conforme a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, a "aparência da cor"de uma lâmpada refere-se à cor aparente da luz que ela emite e pode ser descrita pela sua temperatura de cor correlata (ABNT, 2013, p8). A norma divide as lâmpadas em três grupos principais de acordo com a TC:

- Quente: abaixo de 3.300 K
- Intermediária: 3.300 K a 5.300 K
- Fria: acima de 5.300 K

Na iluminação esportiva, temperaturas mais elevadas são preferidas, pois favorecem a clareza visual, melhorando a percepção de contraste, além de contribuírem para a fidelidade das transmissões televisivas, garantindo uma reprodução mais precisa das cores exibidas nas imagens.

A Figura 2 ilustra a relação entre a temperatura de cor e a tonalidade da luz.

Figura 2: Gráfico Escala de Temperatura.



Fonte: Grado Iluminação (2025).

2.5 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é uma métrica que indica a capacidade de uma fonte de luz em reproduzir fielmente as cores dos objetos, tomando como referência a luz natural. Seu valor varia de 0 a 100, sendo 100 considerado ideal. Conforme o *Lighting Guide 4: Sports Lighting*, publicado pela *Chartered Institution of Building Services Engineers*, "uma fonte com IRC elevado proporciona uma aparência mais natural dos objetos iluminados, favorecendo a distinção de cores com maior precisão" (CIBSE, 2023). Em ambientes esportivos, essa característica é fundamental para garantir o reconhecimento adequado das cores dos uniformes, da bola e do gramado, além de aprimorar a qualidade visual geral e a experiência do público, especialmente em transmissões televisivas.

2.6 OFUSCAMENTO (*GLARE*)

O ofuscamento é uma sensação de desconforto visual provocada por fontes luminosas excessivamente intensas localizadas dentro do campo de visão. Ele pode ser classificado em dois tipos: o ofuscamento de desconforto, que causa incômodo sem comprometer significativamente a visão, e o ofuscamento de invalidez, que reduz de forma expressiva a capacidade de distinguir detalhes visuais, o que pode representar um risco em ambientes esportivos. Sendo a mitigação desse efeito essencial para garantir a segurança dos atletas, o conforto visual dos usuários e a qualidade das transmissões televisivas, especialmente em jogos noturnos ou em arenas fechadas.

2.7 TIPOS DE FONTES DE LUZ E LUMINÁRIAS PARA ILUMINAÇÃO ESPORTIVA

A escolha da fonte de luz e do tipo de luminária é um fator determinante para a qualidade, eficiência e custo de um sistema de iluminação esportiva. Esta seção aborda as principais tecnologias empregadas e suas características.

2.7.1 LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDADE (HID)

Historicamente, as lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID) foram amplamente utilizadas em grandes áreas, incluindo campos esportivos, devido ao seu alto fluxo luminoso. As mais comuns são as lâmpadas de vapor metálico e as de vapor de sódio de alta pressão. As lâmpadas de vapor metálico são conhecidas por produzirem luz branca com boa reprodução de cores, apresentando um Índice de Reprodução de Cor (IRC) de médio a alto. Para seu funcionamento, exigem reatores e ignitores, além de possuírem um tempo de acendimento e reaquecimento relativamente longo, geralmente de alguns minutos. Suas principais vantagens incluem a capacidade de

gerar um alto fluxo luminoso por ponto e o custo inicial relativamente baixo em projetos antigos.

No entanto, essas lâmpadas apresentam desvantagens consideráveis: baixa eficiência energética em comparação com tecnologias mais modernas, vida útil limitada, depreciação do fluxo luminoso com o tempo, além da presença de mercúrio, que representa um risco ambiental. Outro ponto negativo é a dificuldade de controle instantâneo e dimerização, justamente devido ao tempo prolongado de acendimento e reaquecimento. A Figura 3 ilustra os modelos de luminárias HID utilizados no sistema atual de iluminação do campo da FAEFID.

Figura 3: Luminária HID - Linha Projetor PL1002/PL2000 e suas aplicações.



Fonte: TecnoWatt (2024).

2.7.2 TECNOLOGIA LED (*LIGHT EMITTING DIODE*)

A tecnologia LED revolucionou o setor de iluminação, consolidando-se como a escolha preferencial em projetos de novas instalações e modernizações, especialmente em ambientes que demandam alto desempenho, como a iluminação esportiva. Os LEDs são dispositivos semicondutores que emitem luz ao serem percorridos por uma corrente elétrica, caracterizando-se por sua natureza direcional e facilidade de controle.

Entre suas principais vantagens, destaca-se a elevada eficiência energética, consumindo significativamente menos energia para gerar o mesmo fluxo luminoso que as lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID). Além disso, possuem uma vida útil prolongada — que pode ultrapassar 50.000 horas — reduzindo a frequência e o custo de manutenções. Outra vantagem é o acionamento instantâneo, que possibilita o uso de dimerização e a integração com sistemas de controle automatizados. Os LEDs também oferecem excelente reprodução de cores (IRC), disponíveis em diferentes temperaturas de cor, o que contribui para maior fidelidade visual nas práticas esportivas. Do ponto de vista de design, permitem soluções mais compactas, com controle preciso do feixe luminoso, e destacam-se ainda por seu menor impacto ambiental, já que não contêm mercúrio e são mais recicláveis.

A principal desvantagem reside no custo inicial de aquisição, mais elevado em relação às tecnologias convencionais. No entanto, o retorno sobre o investimento (ROI) tende a ser rápido, devido à significativa economia energética e à durabilidade do sistema. Vale ressaltar que a eficiência e longevidade dos LEDs dependem de uma adequada gestão térmica, essencial para garantir seu desempenho ao longo do tempo.

A manutenção em sistemas de iluminação baseados na tecnologia LED é significativamente distinta daquela empregada em instalações com lâmpadas de descarga (HID). Enquanto a manutenção tradicional frequentemente envolve a simples substituição de componentes (lâmpada, reator, ignitor, fotocélula) diante de um defeito, o sistema LED, sendo um conjunto óptico e eletrônico integrado, exige uma abordagem mais complexa e analítica.

Conforme apontado por Casagrande (2021), "a complexidade inerente à manutenção em sistemas de LED exige a capacitação das equipes técnicas para lidar adequadamente com essa nova tecnologia. Uma grande diferença reside no fato de que, na iluminação a LED, não há o componente avulso "lâmpada", mas sim a luminária completa, que engloba o conjunto de LEDs, o dissipador térmico e, crucialmente, o módulo de acionamento (driver)"(Casagrande, 2021, p. 167).

Em suma, a transição para o LED exige um investimento inicial na capacitação das equipes de manutenção e uma mudança no paradigma de "substituição simples"para "reparo e análise", garantindo que a alta eficiência e a longa vida útil prometidas pelos sistemas LED sejam de fato alcançadas e mantidas ao longo dos anos.

2.8 NORMAS E RECOMENDAÇÕES PARA ILUMINAÇÃO ESPORTIVA

A padronização e a conformidade com normas técnicas são essenciais para garantir a qualidade, segurança e eficiência de sistemas de iluminação, especialmente em ambientes esportivos, onde o desempenho visual é crítico. Esta seção aborda as principais diretrizes internacionais e discute o cenário normativo brasileiro para iluminação desportiva.

2.8.1 NORMAS E RECOMENDAÇÕES INTERNACIONAIS

Diversas organizações internacionais estabelecem diretrizes detalhadas para a iluminação de instalações esportivas, servindo como referência global para projetos e avaliações.

- Comissão Internacional de Iluminação (*CIE - Commission Internationale de l'Éclairage*): É a autoridade global em ciência e tecnologia de luz e iluminação. Suas publicações (CIE 8995-1, CIE 112: *Guide to Sports Lighting*) detalham os requisitos de

iluminância, uniformidade, controle de ofuscamento e temperatura de cor para diferentes esportes e níveis de competição.

- Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA): Estabelece requisitos rigorosos para a iluminação de estádios, especialmente para jogos de alto nível e transmissões televisivas, fundamentando suas diretrizes na norma europeia EN 12193 (*Light and Lighting - Sports Lighting*). Suas recomendações abrangem iluminância horizontal e vertical, uniformidade, IRC e controle de ofuscamento. As diretrizes são frequentemente mais exigentes do que as normas gerais de iluminação.
- *Chartered Institution of Building Services Engineers* (CIBSE): A CIBSE, do Reino Unido, também oferece guias detalhados para iluminação, incluindo o *Lighting Guide 4: Sports Lighting* (CIBSE, 1994). Este guia fornece informações práticas e recomendações para o projeto de iluminação de uma ampla gama de instalações esportivas, complementando as diretrizes da CIE.

A Tabela 1 apresenta os requisitos de iluminância conforme diretrizes da FIFA (FIFA, 2011).

Tabela 1: Requisitos de iluminância, uniformidade, temperatura de cor e reprodução de cor para diferentes níveis de atividade em campos de futebol, conforme diretrizes da FIFA.

Nível de atividade	$E_{h\ med.}$ (lx)	U_2	T_k (K)	R_a
Classe III (Jogos nacionais)	750	0,7	> 4.000	≥ 65
Classe II (Ligas e clubes)	500	0,6	> 4.000	≥ 65
Classe I (Treino e recreação)	200	0,5	> 4.000	≥ 65

Fonte: FIFA (2011).

2.8.2 CENÁRIO NORMATIVO BRASILEIRO: A LACUNA NA ILUMINAÇÃO DESPORTIVA

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o fórum nacional de normatização. Embora existam normas ABNT que abordam aspectos gerais de iluminação, como a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior e exterior, que menciona alguns níveis de iluminância para áreas

esportivas de forma genérica (ABNT, 2020), o cenário normativo brasileiro para iluminação desportiva apresenta uma significativa lacuna.

A ABNT NBR 8837:2020 – Iluminação de instalações esportivas, é uma norma que existiu, mas foi cancelada sem substituição, criando um vácuo regulatório que afeta diretamente a qualidade e a segurança das instalações no país.

Esta lacuna normativa impõe desafios significativos para a padronização, a avaliação e a fiscalização dos sistemas de iluminação no Brasil. A necessidade de recorrer a normas internacionais, como as da FIFA e CIE, para estabelecer parâmetros de comparação (como feito nesta análise), demonstra a carência de um referencial técnico nacional que orienta projetos e manutenções de forma consistente. Embora essas normas internacionais sejam robustas e reconhecidas, sua aplicação pode ser complexa sem uma adaptação ou tradução oficial para o contexto brasileiro, e sua acessibilidade pode ser limitada para todos os profissionais da área.

A situação do campo da FAEFID/UFJF, com níveis de iluminância muito abaixo do recomendado e um sistema em avançado estado de degradação, é um reflexo direto das consequências dessa carência normativa e da falta de um mecanismo de controle eficaz que garanta a qualidade mínima das instalações ao longo do tempo. Isso não apenas compromete a funcionalidade e a segurança do espaço, mas também impacta a eficiência energética e a sustentabilidade, uma vez que sistemas inadequados tendem a consumir mais energia para entregar um desempenho inferior.

A degradação observada no sistema, aliada à perda de funcionalidade do controle de acionamento por níveis, ressalta a importância de normas que não apenas estabeleçam requisitos de desempenho, mas também diretrizes para manutenção, inspeção e modernização de instalações existentes. Este estudo, ao evidenciar as deficiências do campo da FAEFID e conectá-las à crítica lacuna normativa brasileira, reforça a urgência de um desenvolvimento regulatório no Brasil para a iluminação desportiva, visando aprimorar a qualidade das infraestruturas e promover a segurança e o desempenho dos usuários.

2.9 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE EM ILUMINAÇÃO

A crescente preocupação com o consumo de energia e o impacto ambiental impulsionou a busca por soluções mais eficientes e sustentáveis em todos os setores, e a iluminação não é exceção. Em grandes instalações, como campos esportivos, onde os sistemas de iluminação operam por longos períodos e com altas potências, a eficiência energética torna-se um fator crítico para a gestão de custos e para a responsabilidade ambiental.

2.9.1 CONCEITOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO

Os conceitos fundamentais que regem a eficiência energética em iluminação incluem:

- Consumo de Energia: A quantidade de energia elétrica utilizada ao longo do tempo (kWh), proporcional à potência instalada e ao tempo de uso.
- Potência Instalada: A soma das potências nominais de todas as luminárias e seus equipamentos auxiliares.
- Fator de Potência: Indica a eficiência com que a energia elétrica é convertida em trabalho útil. Sistemas eficientes devem possuir alto fator de potência (próximo de 1).
- Eficácia Luminosa (lm/W): A relação entre o fluxo luminoso total emitido (em lúmens) e a potência elétrica total consumida (em watts). Quanto maior, mais eficiente é a fonte.

2.9.2 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A otimização do consumo de energia em sistemas de iluminação pode ser alcançada por meio de diversas estratégias:

- Substituição de Tecnologias Antigas por Novas e Eficientes: A modernização de sistemas obsoletos, como a substituição de lâmpadas HID por luminárias LED, é a estratégia mais impactante.
- Otimização do Projeto Luminotécnico: Garante que os níveis necessários sejam atingidos com a menor potência total possível, evitando o superdimensionamento.
- Implementação de Sistemas de Controle Inteligentes: A utilização de sensores de presença, sensores de luz natural e sistemas de dimerização permite ajustar a iluminação de acordo com a demanda real.
- Manutenção Preventiva e Corretiva: A limpeza regular das luminárias e a substituição de componentes garantem que o sistema opere com sua máxima eficiência.

2.9.3 SUSTENTABILIDADE NA ILUMINAÇÃO ESPORTIVA

A sustentabilidade em iluminação vai além da eficiência energética, abrangendo o impacto ambiental e social do ciclo de vida dos produtos.

- Redução da Pegada de Carbono: A diminuição do consumo de energia elétrica, especialmente aquela gerada a partir de fontes não renováveis, resulta na redução das emissões de gases de efeito estufa.
- Materiais e Descarte: A escolha de luminárias fabricadas com materiais recicláveis e a ausência de substâncias perigosas (como mercúrio em lâmpadas HID) são aspectos importantes. A longa vida útil dos LEDs também reduz a geração de resíduos.
- Poluição Luminosa: Projetos sustentáveis buscam minimizar a luz dispersa para fora da área de interesse (luz intrusa ou *light trespass*) e o brilho excessivo direcionado para o céu (*sky glow*), que afetam a vida selvagem, a observação astronômica e o conforto de comunidades vizinhas. A utilização de luminárias com controle óptico preciso é fundamental para isso.

A análise da iluminação do campo da FAEFID deve considerar não apenas o desempenho luminotécnico, mas também o potencial de melhoria em termos de eficiência energética e sustentabilidade, alinhando o projeto com as tendências e exigências globais.

3 METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos e as abordagens metodológicas adotadas para a realização do presente Trabalho de Conclusão de Curso. O objetivo é detalhar as etapas da pesquisa, os instrumentos utilizados e os métodos de análise, garantindo a reprodutibilidade e a validade dos resultados obtidos.

3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Com o objetivo de avaliar as condições de iluminação do campo de futebol da Faculdade de Educação Física e Desportos da Universidade Federal de Juiz de Fora (FAEFID/UFJF), foi realizada uma inspeção noturna com base em medições de iluminância. O estudo buscou documentar a situação atual do sistema de iluminação, observando aspectos como distribuição e intensidade luminosa nos diferentes pontos do campo. Além disso, foi aferido as exatas das dimensões do campo que são $70,10$ m $\times$ $95,20$ m.

As medições foram realizadas no dia 05 de fevereiro de 2024, entre 19h20 e 20h30, sob condições de céu relativamente nublado. Para garantir a cobertura completa e uniforme da área, o campo foi dividido em 88 pontos estratégicos de medição. Essa divisão foi baseada nas recomendações presentes no manual Estádios de Futebol: Recomendações e Requisitos Técnicos, da (FIFA, 2011), 5^a edição.

A marcação dos pontos foi realizada com o auxílio de uma fita métrica de 100 metros, além de plaquinhas de madeira para apoio do instrumento e marcação do ponto de medição. A Figura 4 e a Figura 5 ilustram o procedimento de medição em campo.

Figura 4: Medição de iluminância com luxímetro e fita métrica no campo da FAEFID/UFJF.



Fonte: Autora (2024).

Figura 5: Vista do campo da FAEFID/UFJF com a fita métrica estendida durante as medições noturnas.



Fonte: Autora (2024).

Foram utilizados dois modelos de luxímetros digitais: o POL-10B da marca Politerm, visto na Figura 6 e o MLM-1011 da marca Minipa,visto na Figura 7 ambos com escalas de leitura de até 100.000 lux. Os equipamentos foram operados de forma simultânea por membros da equipe, possibilitando a comparação direta entre os resultados de cada aparelho e o aumento da confiabilidade dos dados coletados.

As leituras foram realizadas com os luxímetros posicionados sobre as plaquinhas de madeira, com o sensor nivelado em relação ao solo e voltado para cima, de acordo com os procedimentos técnicos indicados para esse tipo de avaliação. Todos os valores foram registrados manualmente para posterior organização e interpretação.

Figura 6: Luxímetro digital Politerm POL-10B utilizado.



Fonte: Autora (2024).

Figura 7: Luxímetro digital Minipa MLM-1011 utilizado.



Fonte: Autora (2024).

Após a coleta dos dados brutos de iluminância, as informações foram organizadas e processadas para permitir uma análise quantitativa e qualitativa do sistema de iluminação. As etapas para a análise dos dados incluíram:

- Organização e Tabulação dos Dados: Os valores de iluminância registrados manualmente para cada um dos 88 pontos de medição foram transpostos para a Tabela 2.
- Cálculo de Parâmetros Luminotécnicos: Com base nos dados tabulados, foram calculados os principais parâmetros luminotécnicos para o campo de futebol.
- Comparação com Normas e Recomendações: Os parâmetros luminotécnicos calculados foram comparados com as exigências e recomendações estabelecidas por normas internacionais e diretrizes de boas práticas para iluminação de campos de futebol.
- Análise Qualitativa e Identificação de Deficiências: Além da análise numérica, foi realizada uma avaliação qualitativa do sistema, considerando observações visuais durante a inspeção noturna. Esta análise buscou identificar problemas como:
  - Presença de sombras e áreas escuras.
  - Ofuscamento excessivo para jogadores e espectadores.
  - Percepção da temperatura de cor e reprodução de cor.
  - Condição geral das luminárias e da infraestrutura elétrica aparente.

- Discussão da Lacuna Normativa: Os resultados da análise foram contextualizados dentro do cenário normativo brasileiro, reforçando a discussão sobre a ausência de uma norma ABNT específica e atualizada para iluminação desportiva e as implicações dessa lacuna na avaliação do sistema do campo da FAEFID/UFJF.

A integração dessas análises quantitativa e qualitativa, em conjunto com a discussão normativa, permitiu uma compreensão abrangente das condições atuais da iluminação do campo e a fundamentação das conclusões e recomendações do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os dados coletados durante a inspeção e medições no campo de futebol da FAEFID/UFJF, seguidos pela análise e discussão desses resultados em comparação com as normas e recomendações pertinentes.

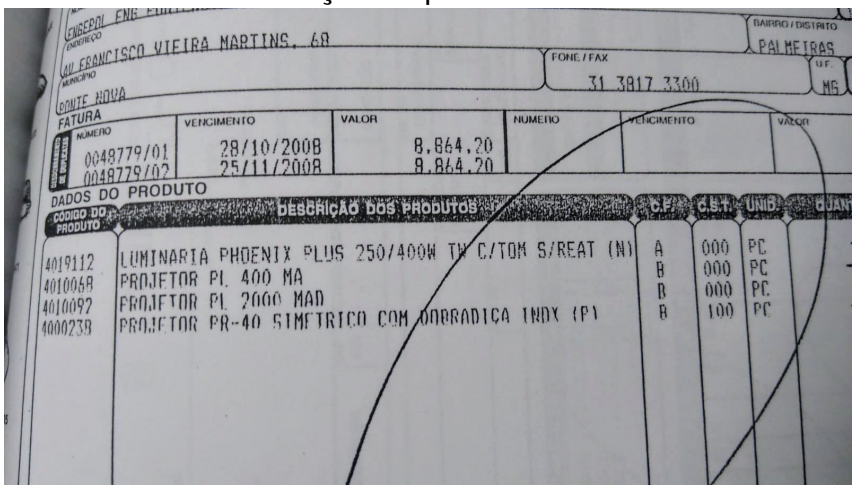
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EXISTENTE

O sistema de iluminação do campo de futebol da Faculdade de Educação Física e Desportos (FAEFID) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) é composto por seis pontos de iluminação. Desses, cinco são torres de aço galvanizado a fogo, e um ponto está localizado sobre a arquibancada. As torres, construídas pela empresa Conipost, possuem uma altura de 20 metros.

Inaugurado em 2009, o complexo esportivo da UFJF, onde o campo está inserido, teve seu sistema de iluminação instalado e mantido desde então com as lâmpadas de vapor metálico. É crucial ressaltar que, durante o levantamento documental para este estudo, não foi encontrado nenhum registro do projeto luminotécnico inicial do campo. A ausência desse documento fundamental impede a análise da conformidade do projeto original com os requisitos da época e dificulta a compreensão das especificações de desempenho esperadas para o sistema. Essa falta de documentação de base, aliada à longevidade das lâmpadas em operação, é um fator contribuinte para a atual degradação e ineficiência observadas.

O levantamento documental, observado na Figura 8 revelou que os refletores empregados são do modelo PL2000 MAD, fabricados pela TecnoWatt. Cada refletor PL2000 MAD utiliza lâmpadas de Vapor Metálico de 2000W (2kW).

Figura 8: Fatura com a descrição do produto "PROJETOR PL 2000 MAD".



Fonte: Autora (2024).

Uma inspeção detalhada do sistema revelou o seguinte:

- Número total de refletores instalados: O sistema foi projetado para operar com um total de 72 refletores (considerando 12 refletores por torre como observado na Figura 9.
- Refletores Operacionais: Durante uma visita ao campo, com o sistema ativado, foi constatado que apenas 24 dos 72 refletores estão em funcionamento. Isso representa aproximadamente $33,33\%$ do total de refletores instalados. A distribuição dos refletores operacionais por torre é conforme a Figura 10.

Figura 9: Vista aérea de uma das torres de iluminação do campo da FAEFID/UFJF, mostrando o arranjo dos refletores.



Fonte: Autora (2024).

Figura 10: Mapa de localização dos pontos de iluminação no campo da FAEFID/UFJF.



Fonte: Autora (2024).

A seguir, detalha-se a inspeção visual realizada em cada um dos seis pontos de iluminação, indicando precisamente a localização e a condição de funcionamento dos 24 refletores operacionais.

- Torre 1 (Arquibancada): 3 refletores funcionando (1 na primeira fileira, 2 na segunda). A Figura 11 ilustra os refletores operacionais na Torre 1 (Arquibancada).

Figura 11: Refletores funcionando na Torre 1.



Fonte: Autora (2024).

- Torre 2: 3 refletores funcionando (1 em cada fileira). A Figura 12 mostra a condição dos refletores na Torre 2.

Figura 12: Refletores funcionando na Torre 2.



Fonte: Autora (2024).

- Torre 3: 6 refletores funcionando (2 em cada fileira). A Figura 13 detalha os refletores operacionais na Torre 3.

Figura 13: Refletores funcionando na Torre 3.



Fonte: Autora (2024).

- Torre 4: 4 refletores funcionando (2 na primeira fileira, 2 na terceira). A Figura 14 apresenta a vista da Torre 4.

Figura 14: Refletores funcionando na Torre 4.



Fonte: Autora (2024).

- Torre 5: 5 refletores funcionando (1 na primeira fileira, 4 na terceira). A Figura 15 mostra os refletores operacionais na Torre 5.

Figura 15: Refletores funcionando na Torre 5.



Fonte: Autora (2024).

- Torre 6: 3 refletores funcionando (todos na terceira fileira). A Figura 16 ilustra a condição da Torre 6.

Figura 16: Refletores funcionando na Torre 6.



Fonte: Autora (2024).

As inspeções visuais, as imagens aéreas e as fotos da subida na torre 5 revelaram um estado de degradação significativo dos refletores e da fiação. Foram observados sinais de corrosão nos componentes metálicos, fiação exposta ou mal isolada, como pode ser visto da Figura 17, e o aspecto geral dos equipamentos indica falta de manutenção. O reator identificado na Torre 5 é um Philips VTE2000A361G P,visto na Figura 18, compatível com lâmpadas de vapor metálico de 2000W.

Figura 17: Fiação exposta e mal isolada na infraestrutura elétrica.



Fonte: Autora (2024).

Figura 18: Reator Philips VTE2000A361G P para lâmpada de vapor metálico de 2000W.



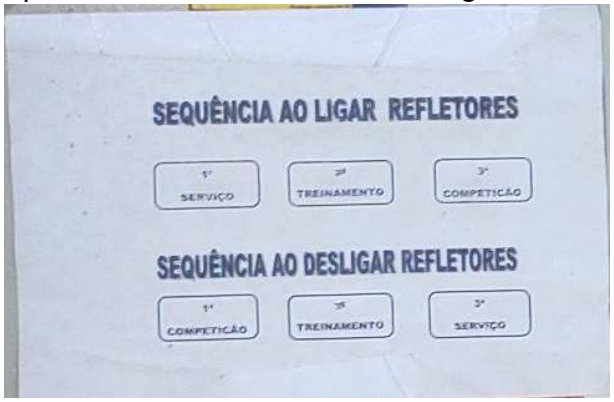
Fonte: Autora (2024).

A degradação do sistema, com apenas um terço dos refletores operacionais, resulta em uma redução drástica na capacidade de iluminação do campo, tornando-o inadequado para a realização de jogos noturnos e comprometendo a segurança e o desempenho dos usuários.

4.2 ACIONAMENTO DO SISTEMA

Teoricamente, o sistema possui uma lógica de acionamento por níveis, como observado na Figura 19 (Serviço, Treinamento, Competição), que ativaria diferentes fileiras de refletores, que são controladas pelo sistema da Figura 20. No entanto, devido ao estado degradado, a iluminação destinada aos jogos ("Competição") está sendo ativada independentemente da natureza da atividade em curso, indicando uma perda de funcionalidade e controle sobre o sistema.

Figura 19: Sequência de acionamento e desligamento dos refletores.



Fonte: Autora (2024).

Figura 20: Painéis de controle do sistema de iluminação do campo da FAEFID/UFJF.



Fonte: Autora (2024).

4.3 CONSUMO ENERGÉTICO ESTIMADO DO SISTEMA ATUAL

Considerando que cada refletor PL2000 MAD utiliza uma lâmpada de Vapor Metálico de 2000 W (2 kW) e que o sistema foi projetado para 72 refletores, a potência total instalada original seria de 72×2000 W $= 144.000$ W$(144$ kW$)$.

No entanto, com apenas 24 refletores operacionais, a potência atualmente em uso é de 24×2000 W $= 48.000$ W$(48$ kW$)$.

Para estimar o consumo energético, consideremos um cenário de uso médio. Se o campo fosse utilizado para atividades noturnas por, por exemplo, 3 horas por dia, 5 dias por semana (15 horas/semana), o consumo semanal seria:

$$\text{Consumo Semanal} = \text{Potência em uso} \times \text{Horas de uso por semana}$$
$$\text{Consumo Semanal} = 48 \text{ kW} \times 15 \text{ h/semana} = 720 \text{ kWh/semana}$$

Mensalmente (considerando 4 semanas):

$$\text{Consumo Mensal} = 720 \text{ kWh/semana} \times 4 \text{ semanas/mês} = 2.880 \text{ kWh/mês}$$

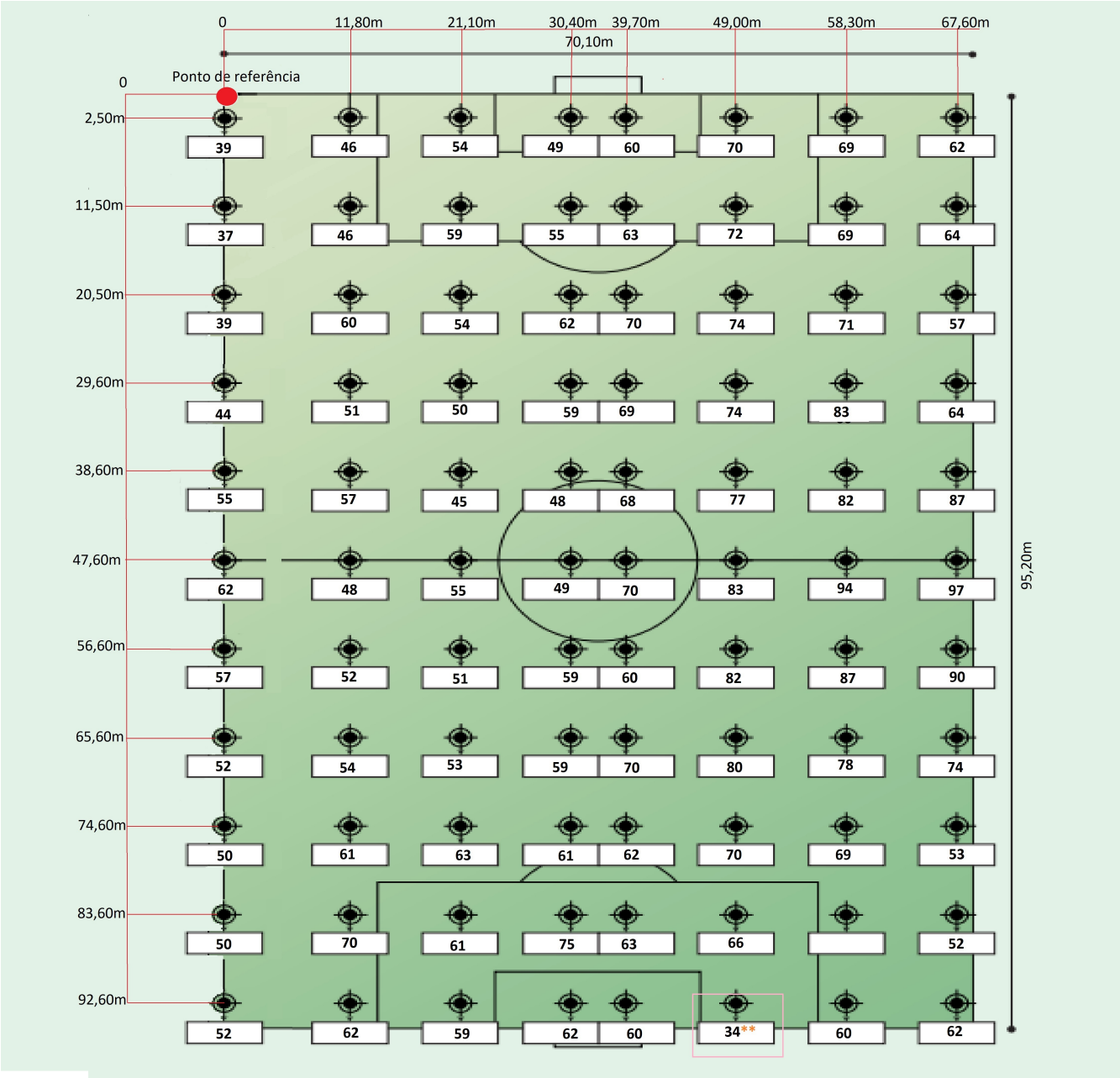
Este consumo, mesmo com apenas um terço dos refletores funcionando, representa um custo operacional significativo e um desperdício de energia, dada a baixa eficiência luminosa dos refletores antigos e a má qualidade da iluminação resultante. A impossibilidade de modular o uso da iluminação (manutenção, treino, competição) devido à degradação do sistema de controle também contribui para o consumo desnecessário quando níveis mais baixos de luz seriam suficientes.

4.4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE ILUMINÂNCIA

A avaliação da iluminação atual do campo de futebol da FAEFID/UFJF foi fundamentada em medições de iluminância realizadas em 88 pontos distribuídos uniforme-

mente ao longo do campo, conforme detalhado na Figura 21.

Figura 21: Mapa de iluminância do campo da FAEFID/UFJF com valores medidos.



Fonte: Autora (2024).

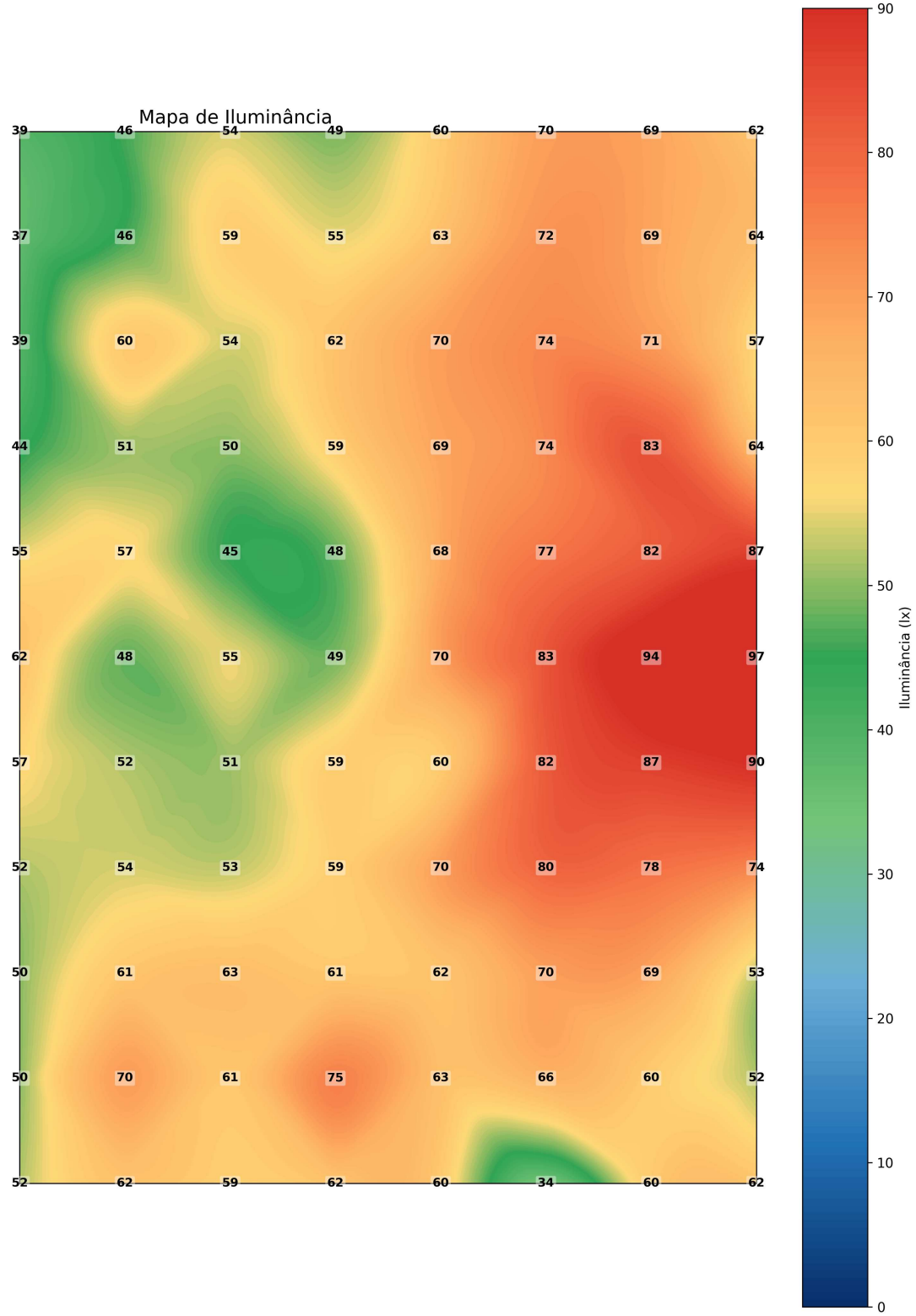
Os valores de iluminância medidos em cada um dos 88 pontos são apresentados na Tabela 2. Esta tabela permite uma visualização detalhada da distribuição da luz no gramado.

Tabela 2: Valores de iluminância medidos em cada um dos 88 pontos.

Ponto	Valor (lx)	Ponto	Valor (lx)	Ponto	Valor (lx)	Ponto	Valor (lx)
1	62	23	60	45	70	67	70
2	69	24	39	46	83	68	62
3	70	25	44	47	94	69	61
4	60	26	51	48	97	70	63
5	49	27	50	49	90	71	61
6	54	28	59	50	87	72	50
7	46	29	69	51	82	73	50
8	39	30	74	52	60	74	70
9	37	31	83	53	59	75	61
10	46	32	64	54	51	76	75
11	59	33	87	55	52	77	63
12	55	34	82	56	57	78	66
13	63	35	77	57	52	79	60
14	72	36	68	58	54	80	52
15	69	37	48	59	53	81	62
16	64	38	45	60	59	82	60
17	57	39	57	61	70	83**	34
18	71	40	55	62	80	84	60
19	74	41	62	63	78	85	62
20	70	42	48	64	74	86	59
21	62	43	55	65	53	87	62
22	54	44	49	66	69	88	52

Para uma melhor visualização da distribuição da luz no gramado da FAEFID/UFJF, os dados brutos de iluminância coletados nos 88 pontos de medição foram convertidos em um mapa de calor, como observado na Figura 22. Este recurso visual permite identificar com clareza a heterogeneidade do sistema atual, evidenciando as zonas de maior concentração luminosa em tons quentes e as áreas críticas de baixa iluminância em tons frios. A análise visual dos dados brutos já indica uma grande variação nos níveis de iluminância ao longo do campo, com pontos significativamente mais escuros do que outros. Esta heterogeneidade é um indicativo preliminar de baixa uniformidade na distribuição da luz

Figura 22: Mapa de calor da iluminância do campo da FAEFID/UFJF.



Fonte: Autora (2026).

É importante ressaltar que um dos pontos de medição (ponto 83) pode ter tido sua leitura comprometida devido à presença de uma tela diretamente sobre o luxímetro,como é observado na Figura 23 o que pode ter influenciado o valor registrado.

Figura 23: Ponto de medição com luxímetro e possível obstrução de tela.



Fonte: Autora (2024).

4.5 ANÁLISE DOS PARÂMETROS LUMINOTÉCNICOS

Com base nos dados de iluminância medidos em campo, foi possível calcular os principais parâmetros luminotécnicos para o sistema de iluminação atual do campo da FAEFID/UFJF e compará-los com as normas e recomendações internacionais.

Os valores de iluminância medidos oscilaram entre 34 lux (iluminância mínima, E_{min}) e 97 lux (iluminância máxima, E_{max}). A iluminância média (E_{avg}) calculada a partir dos 88 pontos de medição foi de $61,16$ lux.

A partir desses valores, a uniformidade do sistema pode ser calculada:

$$U_{min/avg} = \frac{E_{min}}{E_{avg}} = 0,556 \tag{3}$$

4.6 COMPARAÇÃO COM NORMAS E RECOMENDAÇÕES

Para contextualizar esses resultados, é fundamental compará-los com as diretrizes de iluminação para campos de futebol. A Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA) e a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) estabelecem diferentes classes de iluminação para diversas finalidades.

Para um campo universitário utilizado para treinamento e recreação (Classe I da FIFA), os requisitos mínimos são:

- Iluminância Horizontal Média (E_{avg}): 200 lux
- Uniformidade ($U_{min/avg}$): $0,5$

Além disso, a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estabelece que, para ambientes de tarefa visual como os esportivos, a uniformidade mínima não deve ser inferior a 0,7 (ABNT, 2013, p. 6).

Tabela 3: Comparação dos parâmetros luminotécnicos medidos com os requisitos normativos (FIFA e ABNT/CIE) para campo de futebol.

Parâmetro	Valor Medido	Requisito FIFA	Requisito ABNT/CIE	Conformidade FIFA	Conformidade ABNT/CIE
E_{avg}	$61,16$ lux	200 lux	N/A	Não	N/A
$U_{min/avg}$	$0,556$	$0,5$	$0,7$	Sim	Não

A análise comparativa revela que o sistema de iluminação do campo da FAEFID/UFJF está muito abaixo do requisito mínimo de iluminância média para treinamento e recreação ($61,16$ lux medidos versus 200 lux recomendados pela FIFA). Este é um indicativo crítico das condições precárias de iluminação, que podem comprometer a visibilidade e a segurança dos usuários durante atividades noturnas. Além disso, embora atenda ao requisito mínimo de $U_{min/avg}$ de $0,5$ da Classe I da FIFA, a uniformidade medida de $0,46$ ainda está muito abaixo do padrão de $0,7$ estabelecido pela ABNT/CIE para garantir um desempenho visual ideal.

4.7 O FATOR DE MANUTENÇÃO (FM)

O Fator de Manutenção (FM) é uma grandeza fundamental no projeto luminotécnico. Ele representa a taxa de depreciação do fluxo luminoso de um sistema ao longo do tempo, decorrente de três principais fatores: a degradação natural da fonte de luz, o acúmulo de sujeira nas luminárias (fator de depreciação da luminária) e a degradação das superfícies do ambiente (fator de depreciação do ambiente).

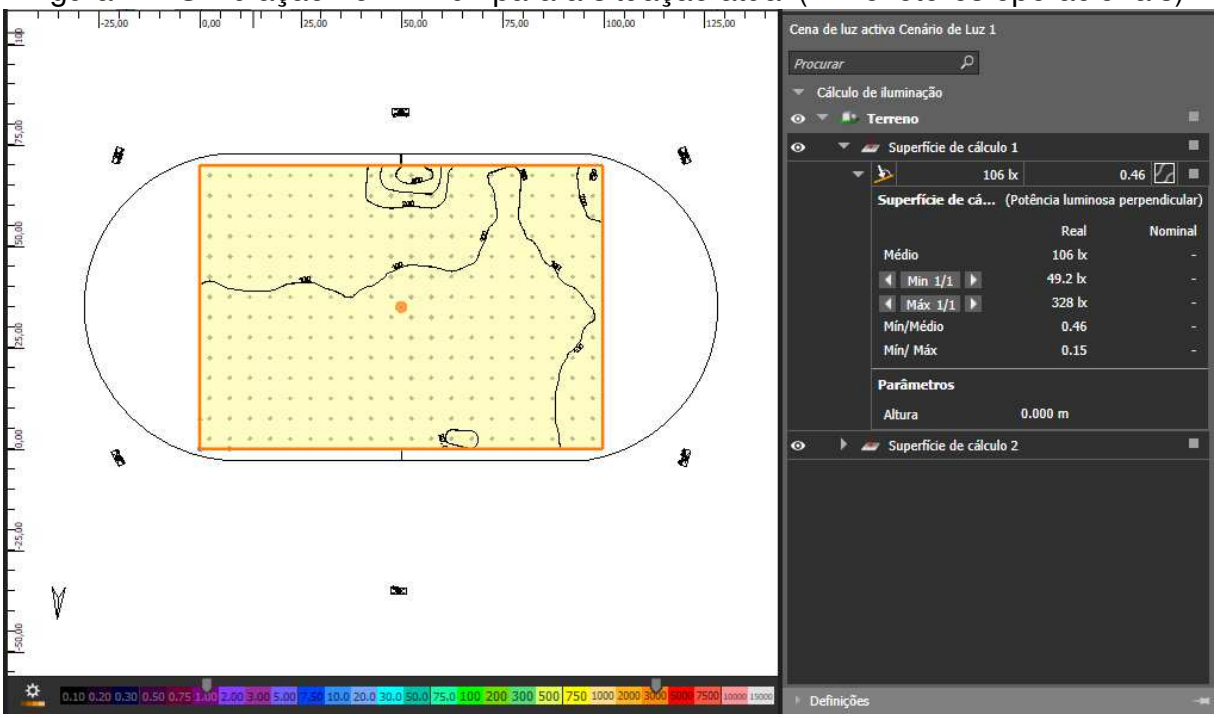
A importância de utilizá-lo reside no fato de que o FM garante que os níveis mínimos de iluminância exigidos pelas normas serão atendidos durante toda a vida útil do sistema. Uma simulação sem FM (ou com $FM = 1,0$) representa apenas o desempenho da luminária no momento inicial ("nova"). Por isso, é prática consolidada aplicar um FM (comumente entre $0,7$ e $0,8$) na simulação para refletir o desempenho da instalação ao final de sua vida útil (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1).

4.8 COMPARAÇÃO ENTRE VALORES MEDIDOS E SIMULADOS (DIALUX)

Para uma análise mais aprofundada do desempenho do sistema, os valores de iluminância medidos em campo foram comparados com as simulações realizadas no software DIALux. Foram realizadas simulações para a situação atual do campo (com apenas os 24 refletores operacionais) e para a situação ideal (com todos os 72 refletores em condições ideais), utilizando os dados fotométricos do refletor PL2000 MAD e um Fator de manutenção de 0,7 em ambas.

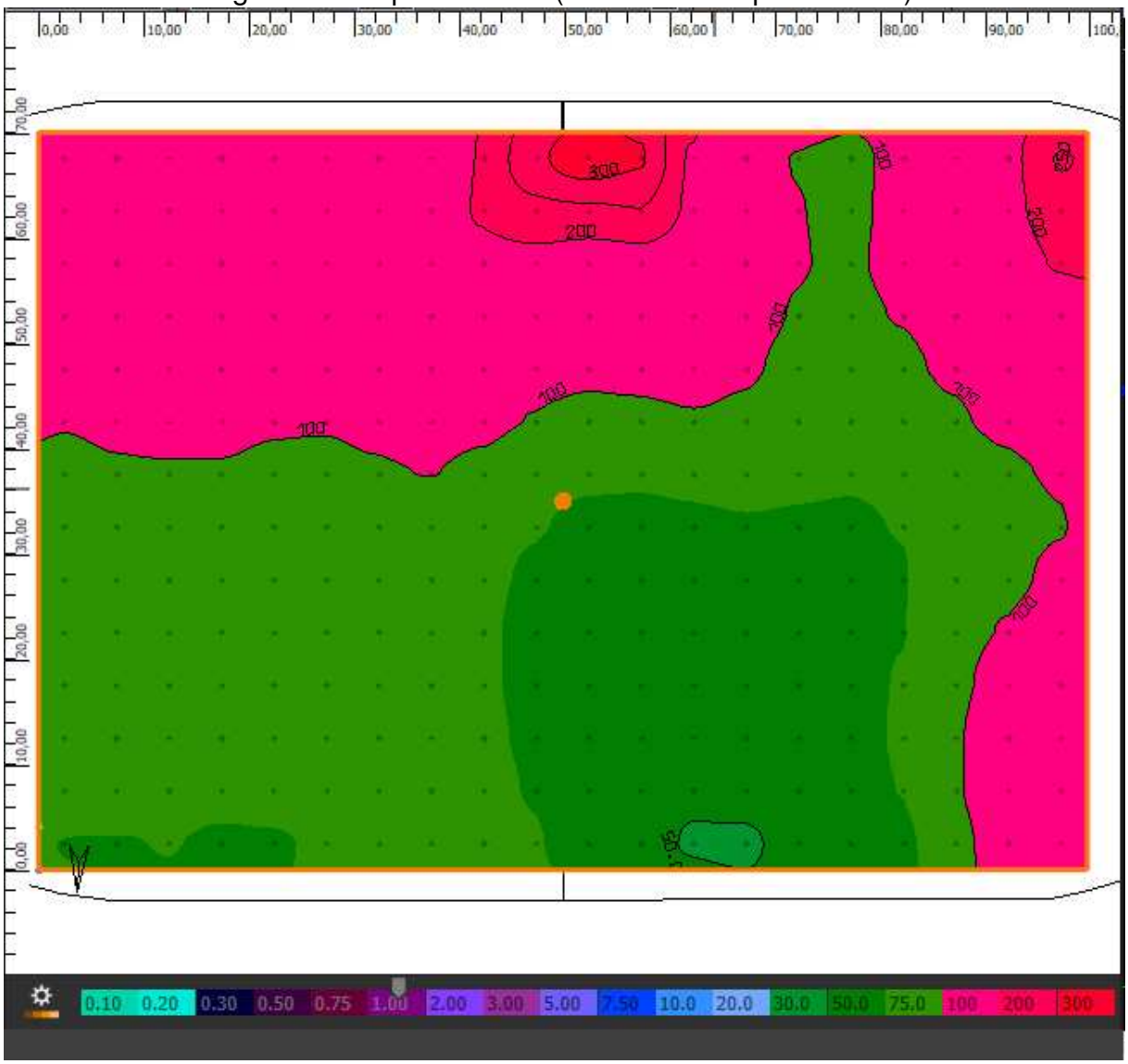
- Simulação DIALux (Situação Atual - 24 refletores operacionais): O valor médio de iluminância obtido na simulação para o cenário atual foi de $\mathbf{106}$ lux, como observado na Figura 24. E na Figura 25, temos uma mapa de cores, para melhor visualização das aréas mais afetadas.

Figura 24: Simulação no DIALux para a situação atual (24 refletores operacionais).



Fonte: Autora (2025).

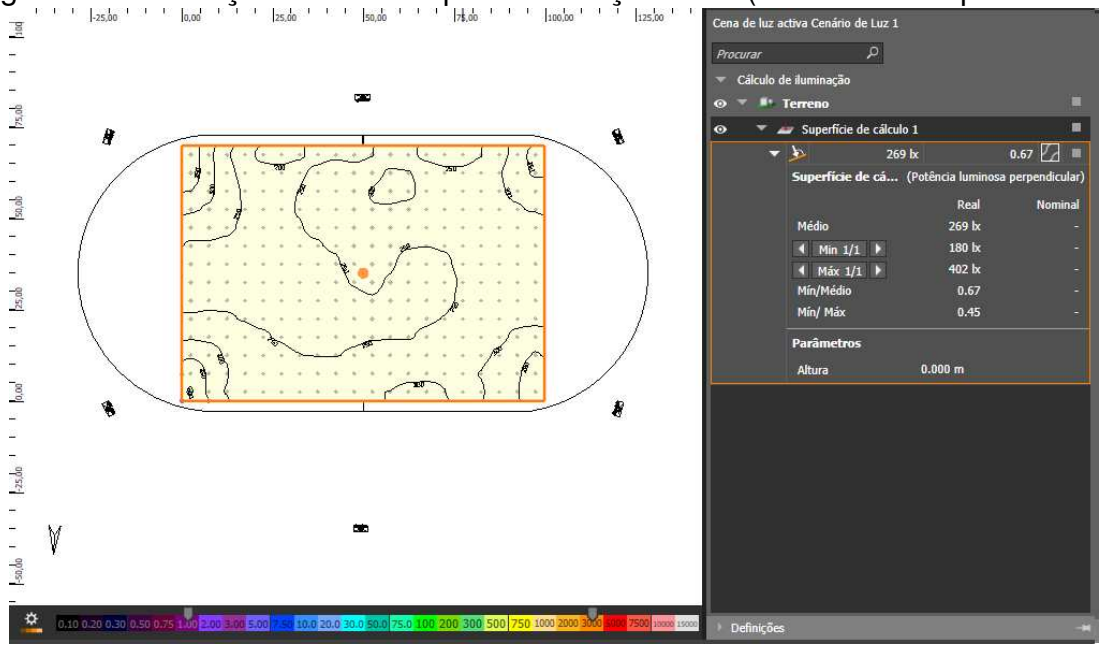
Figura 25: Mapa de cores (24 refletores operacionais).



Fonte: Autora (2026).

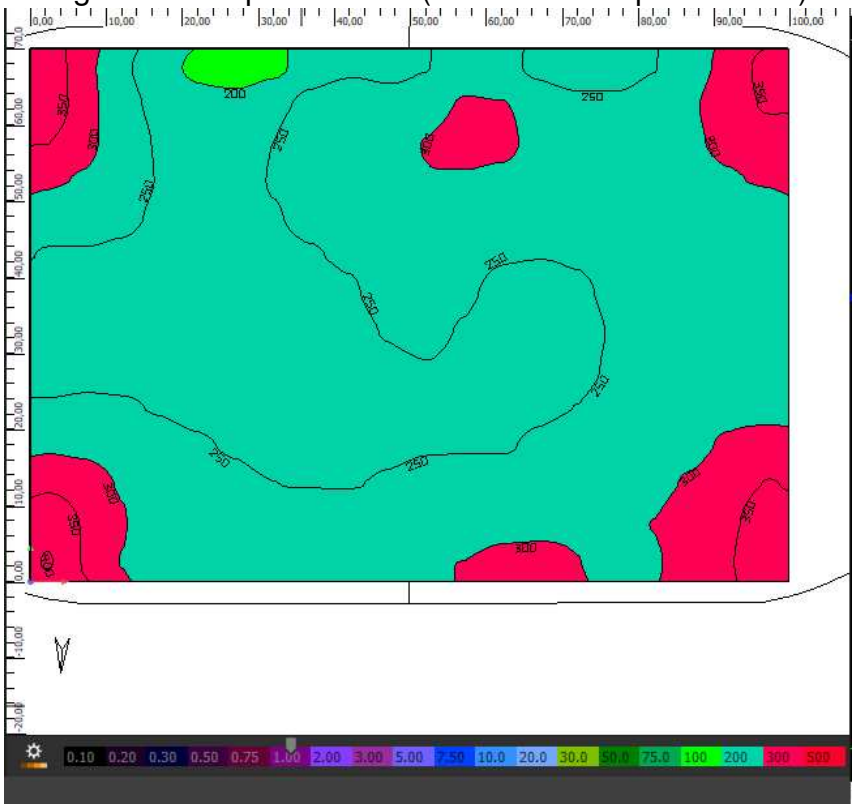
- Simulação DIALux (Situação Ideal - 72 refletores operacionais): Para um cenário onde todos os refletores estivessem em funcionamento e em condições ideais, a simulação no DIALux indicou um valor médio de $\mathbf{269}$ lux, como na Figura 26. E também na Figura 27, uma mapa de cores.

Figura 26: Simulação no DIALux para a situação ideal (72 refletores operacionais)



Fonte: Autora (2025).

Figura 27: Mapa de cores (72 refletores operacionais)



Fonte: Autora (2026).

A Tabela 4 resume a comparação entre os valores de iluminância média medidos em campo e os simulados no DIALux.

Tabela 4: Comparação entre os valores de iluminância média

Cenário	$\mathbf{E_{avg}}$ (lx)
Medida em Campo (24 refletores)	$61,16$ lux
Simulada no DIALux (24 refletores)	106 lux
Simulada no DIALux (72 refletores Ideal)	269 lux

A comparação entre os valores medidos em campo ($61,16$ lux) e os valores simulados no DIALux para a mesma configuração de refletores operacionais (106 lux) revela uma discrepância significativa. Os valores simulados são consistentemente mais altos do que os valores reais medidos. Essa diferença pode ser atribuída a uma série de fatores que as simulações ideais não consideram, mas que são inerentes a um sistema real e envelhecido:

- Degradação do Fluxo Luminoso: Lâmpadas de descarga (HID) sofrem uma depreciação natural do fluxo luminoso ao longo de sua vida útil. Refletores antigos, mesmo que operacionais, não entregam o mesmo fluxo luminoso de quando novos.
- Acúmulo de Sujeira e Poeira: A exposição prolongada a condições climáticas e ambientais resulta no acúmulo de sujeira, poeira e detritos nas lentes e superfícies refletoras das luminárias, o que reduz drasticamente a transmissão de luz.
- Corrosão e Dano Físico: A corrosão nos componentes metálicos e o desgaste dos materiais, visíveis nas inspeções, podem comprometer a eficiência óptica e a integridade das luminárias.
- Perdas no Sistema Elétrico: Fiação antiga, conexões deterioradas e reatores com perdas podem reduzir a potência efetivamente entregue às lâmpadas.
- Limitações da Simulação: Embora o DIALux seja uma ferramenta poderosa, ele se baseia em dados fotométricos de luminárias em condições ideais de laboratório e não incorpora automaticamente os efeitos do envelhecimento e da degradação em campo.

Essa disparidade entre os dados medidos e simulados reforça a importância crítica das medições em campo para uma avaliação precisa e abrangente da iluminação de instalações existentes. Ela demonstra que, mesmo que o projeto original pudesse ter atendido a certos critérios (como os 269 lux simulados com todos os refletores), a realidade operacional de um sistema degradado está muito aquém do esperado.

As observações visuais durante as visitas ao campo corroboram com os dados quantitativos, evidenciando as deficiências do sistema:

- Baixa Iluminância Geral: O campo apresenta uma iluminação geral muito baixa, tornando a visibilidade comprometida para a prática esportiva noturna.
- Sombras e Áreas Escuras: Apesar da uniformidade calculada, a baixa iluminância global e a distribuição irregular de refletores operacionais criam áreas com sombras perceptíveis e pontos subiluminados que afetam a percepção de profundidade e a movimentação dos jogadores.
- Ofuscamento: Embora não quantificado, o estado de degradação dos refletores, com lentes sujas e possivelmente posicionamento inadequado devido à falta de manutenção, pode gerar ofuscamento para os usuários, especialmente em ângulos específicos.
- Temperatura de Cor e IRC: As lâmpadas de Vapor Metálico, mesmo quando novas, podem não oferecer a temperatura de cor e o IRC ideais para a clareza visual e reprodução de cores exigidas em ambientes esportivos modernos. O envelhecimento das lâmpadas e a degradação dos componentes podem agravar ainda mais esses aspectos.
- Condição da Infraestrutura: A corrosão, fiação exposta e a inoperância de grande parte dos refletores são problemas visíveis que indicam a necessidade urgente de intervenção.

4.9 DISCUSSÃO DA LACUNA NORMATIVA BRASILEIRA E IMPLICAÇÕES

Os resultados obtidos no campo da FAEFID/UFJF servem como um exemplo prático e contundente das implicações da inexistência de uma norma brasileira específica e atualizada para a iluminação desportiva. A ABNT NBR 8837:2020 Iluminação de instalações esportivas, que poderia balizar tais projetos e avaliações, foi cancelada sem substituição, criando um vácuo regulatório que afeta diretamente a qualidade e a segurança das instalações no país.

Neste trabalho, as duas principais referências utilizadas para comparação e avaliação foram as diretrizes da Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA) e a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. Porém, a adoção dessas diretrizes, embora necessária devido à lacuna normativa brasileira, demonstra as suas limitações no contexto de um projeto desportivo. A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, apesar de rigorosa nos critérios de uniformidade (mínimo de 0,7), não é a melhor opção para balizar um

projeto, pois é uma norma genérica de iluminação de ambientes de trabalho, e sua aplicação em um campo de futebol não considera as particularidades do esporte. O mesmo se aplica, em menor grau, à FIFA, que oferece apenas diretrizes mínimas (uniformidade de 0,5 para a Classe I), focando mais em segurança e usabilidade básica. A lacuna de uma norma brasileira específica força a dependência desses padrões, mas exige uma interpretação crítica na avaliação das condições precárias do campo da FAEFID.

Esta lacuna normativa impõe desafios significativos para a padronização, a avaliação e a fiscalização dos sistemas de iluminação no Brasil. A necessidade de recorrer a normas internacionais, como as da FIFA e CIE, para estabelecer parâmetros de comparação, demonstra a carência de um referencial técnico nacional que oriente projetos e manutenções de forma consistente.

A situação do campo da FAEFID/UFJF, com níveis de iluminância muito abaixo do recomendado e um sistema em avançado estado de degradação, é um reflexo direto das consequências dessa carência normativa e da falta de um mecanismo de controle eficaz que garanta a qualidade mínima das instalações ao longo do tempo. Isso não apenas compromete a funcionalidade e a segurança do espaço, mas também impacta a eficiência energética e a sustentabilidade, uma vez que sistemas inadequados tendem a consumir mais energia para entregar um desempenho inferior.

A degradação observada no sistema, aliada à perda de funcionalidade do controle de acionamento por níveis, ressalta a importância de normas que não apenas estabeleçam requisitos de desempenho, mas também diretrizes para manutenção, inspeção e modernização de instalações existentes. Este estudo, ao evidenciar as deficiências do campo da FAEFID e conectá-las à crítica lacuna normativa brasileira, reforça a urgência de um desenvolvimento regulatório no Brasil para a iluminação desportiva, visando aprimorar a qualidade das infraestruturas e promover a segurança e o desempenho dos usuários.

4.10 PROPOSTAS DE MELHORIA

Diante do cenário de degradação e inadequação luminotécnica do campo de futebol da FAEFID/UFJF, a modernização do sistema de iluminação é imperativa. Embora o detalhamento de um novo projeto esteja além do escopo deste capítulo, algumas diretrizes conceituais podem ser apresentadas com base nas tecnologias e estratégias discutidas.

A principal recomendação é a substituição integral do sistema atual por luminárias com tecnologia LED. Os LEDs oferecem vantagens significativas, como:

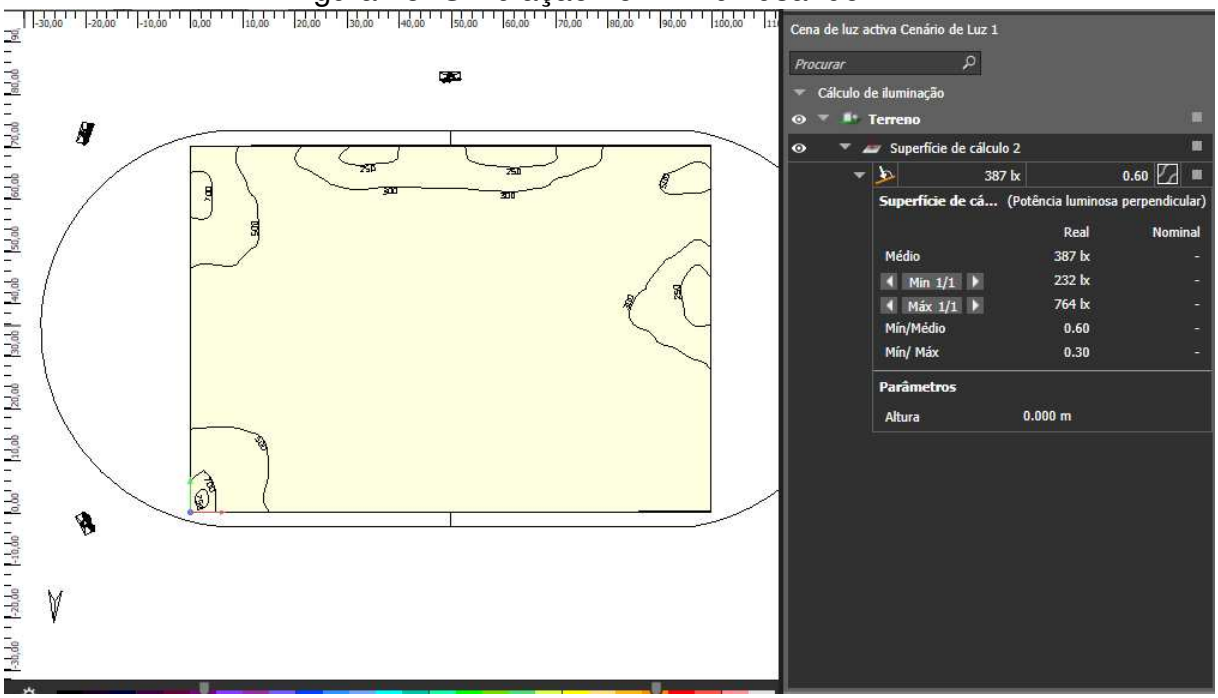
- Alta Eficiência Energética: Redução drástica no consumo de energia elétrica, gerando economia substancial nos custos operacionais da universidade.

- Longa Vida Útil: Diminuição dos custos e da frequência de manutenção.
- Qualidade Luminotécnica Superior: Capacidade de atingir os níveis de iluminância e uniformidade exigidos pelas normas internacionais (FIFA, CIE) para diferentes classes de uso (treinamento, competição), além de oferecer excelente reprodução de cor e controle de ofuscamento.
- Flexibilidade de Controle: Possibilidade de implementação de sistemas de dimerização e automação (sensores de presença/luz natural, LMS), permitindo ajustar a iluminação de acordo com a demanda real e otimizar ainda mais o consumo de energia.
- Sustentabilidade: Redução da pegada de carbono e eliminação de materiais perigosos (mercúrio).

Para validar a viabilidade desta transição, foi realizada uma simulação no software *DIALux evo* utilizando, como referência técnica, o projetor LEDVANCE FLOODLIGHT MAX (LEDVANCE, 2026), LED de 1200 watt e fluxo luminoso de 162000 lumens.

O objetivo desta modelagem é demonstrar como a troca tecnológica, mesmo mantendo os pontos de montagem atuais, é capaz de sanar as deficiências encontradas. A utilização do *software* permite a visualização prévia da distribuição fotométrica e o cálculo preciso dos índices de iluminância e uniformidade sobre o plano de trabalho, como na Figura 28.

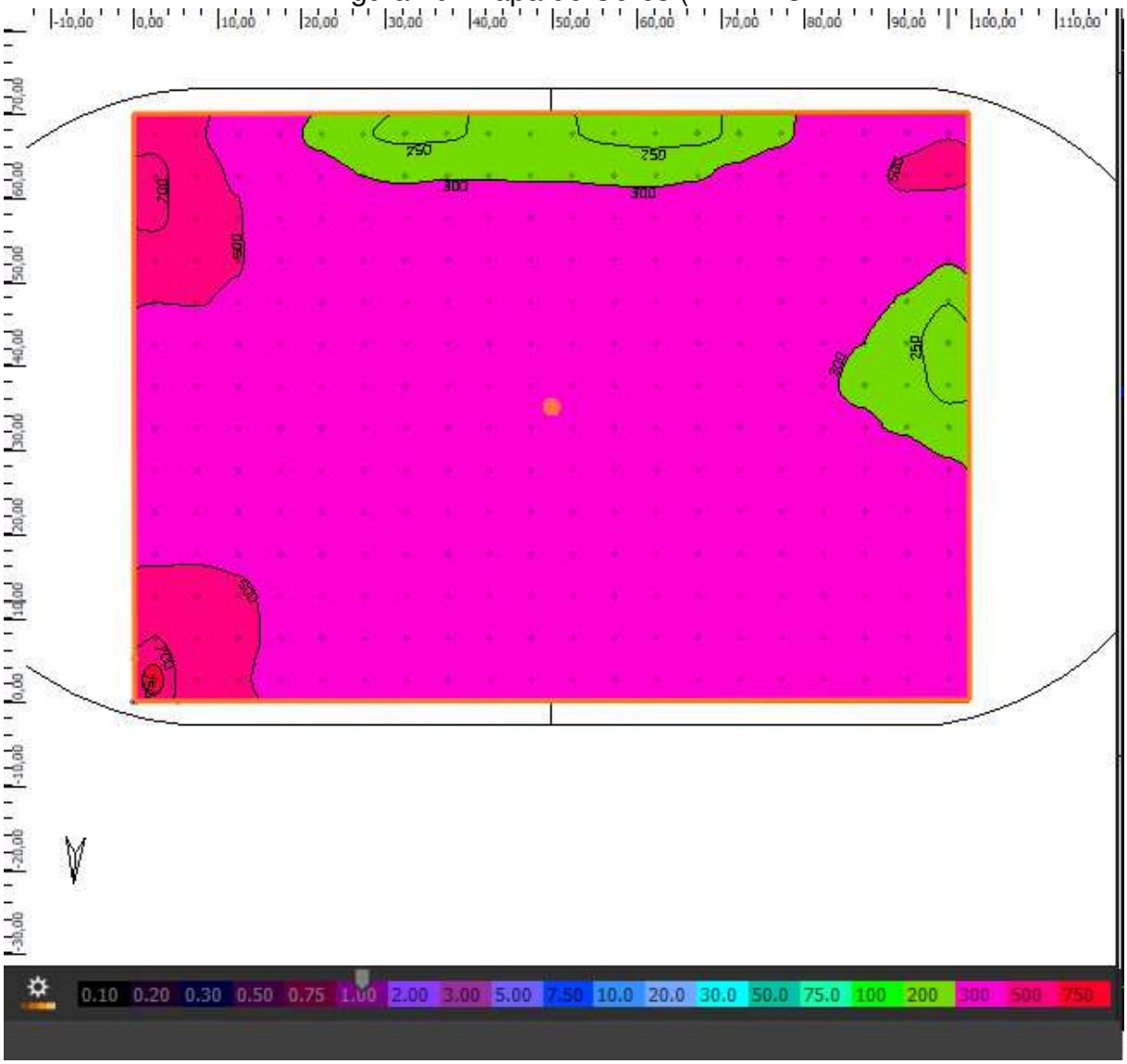
Figura 28: Simulação no DIALux usando LED



Fonte: Autora (2025).

E na Figura 29 é apresentado um mapa de cores

Figura 29: Mapa de Cores (72 LEDs



Fonte: Autora (2026).

A simulação com o uso de 72 luminárias de LED, revela um salto qualitativo expressivo: mesmo utilizando projetores com 40% menos potência unitária (1200 W contra 2000W), a iluminância média saltou de 106lx para 387lx, um aumento de aproximadamente 265% na luz disponível. Além disso, a uniformidade evoluiu de $0,46$ para $0,60$, atingindo os patamares recomendados para a prática esportiva segura e confortável, a Tabela 5 faz um resumo desses dados.

A concepção deste novo cenário permitiria não apenas a conformidade com padrões internacionais de qualidade e segurança, mas também a promoção de uma gestão energética eficiente e sustentável, alinhada às melhores práticas da Engenharia Elétrica.

Tabela 5: Comparativo técnico entre o sistema atual (24 refletores) e o cenário proposto (72 refletores de LED)

Parâmetro	**Sistema Atual (Simulado)**	**Cenário Proposto (LED)**
Tecnologia	Vapor Metálico (HID)	LED
Potência Unitária	2000 W	1200 W
Iluminância Média ($\bar{E}$)	106 lx	387 lx
Uniformidade (U_o)	$0,46$	$0,60$

5 CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo analisar criticamente as condições técnicas e de desempenho do sistema de iluminação do campo de futebol da Faculdade de Educação Física e Desportos (FAEFID) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), evidenciando suas deficiências, e discutir a relevância da ausência de uma norma brasileira específica para iluminação desportiva na avaliação e proposição de soluções. Para tal, foram realizados levantamentos do sistema existente, medições de iluminância em campo e uma análise comparativa com normas e recomendações internacionais, além de uma revisão aprofundada sobre luminotécnica, eficiência energética e sistemas de controle.

Os resultados da pesquisa confirmaram a situação precária do sistema de iluminação do campo da FAEFID/UFJF. A inspeção revelou que apenas 24 dos 72 refletores instalados (aproximadamente 33,33%) estão operacionais, e que a infraestrutura elétrica e as luminárias apresentam sinais avançados de degradação, como corrosão e fiação exposta. As medições de iluminância em campo corroboraram essas observações, indicando uma iluminância média de $61,16$ lux, muito abaixo dos 200 lux recomendados pela FIFA (Classe I) para atividades de treinamento e recreação. Embora a uniformidade medida $(0,556)$ tenha atendido ao mínimo recomendado $(0,5)$, este parâmetro, isoladamente, não compensa os baixíssimos níveis de luz, resultando em um campo globalmente subiluminado.

A comparação com as simulações realizadas no software DIALux reforçou a gravidade da situação. Enquanto a simulação para o cenário atual de refletores operacionais indicou uma média de 106 lux, os valores medidos em campo foram ainda menores. Essa discrepância evidencia a influência de fatores como a depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas antigas, o acúmulo de sujeira nas luminárias e outras perdas no sistema real.

A análise aprofundada do cenário normativo brasileiro destacou a ausência de uma norma ABNT específica e atualizada para iluminação desportiva, com a ABNT NBR 8837:2020 tendo sido cancelada sem substituição. Esta lacuna regulatória impõe desafios significativos para a padronização, avaliação e fiscalização de projetos de iluminação esportiva no país.

Em suma, este trabalho demonstrou que o sistema de iluminação do campo de futebol da FAEFID/UFJF está em péssimas condições, não atendendo aos requisitos mínimos de qualidade e segurança para a prática esportiva noturna. A pesquisa reforça a necessidade urgente de modernização da iluminação e destaca a importância de um desenvolvimento normativo no Brasil para o setor de iluminação desportiva.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Apesar dos resultados alcançados, é importante reconhecer as limitações do presente estudo. As medições de campo foram realizadas em um único momento, e variações climáticas ou de condições operacionais poderiam influenciar ligeiramente os resultados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas conclusões deste estudo, sugere-se a continuidade da pesquisa em diversas frentes:

- Desenvolvimento de um Projeto Luminotécnico Detalhado: Elaboração de um projeto luminotécnico completo para o campo da FAEFID/UFJF utilizando tecnologia LED e sistemas de controle inteligentes, com orçamentação detalhada e análise de viabilidade econômica e financeira.
- Estudo Comparativo de Tecnologias LED: Análise aprofundada de diferentes modelos e fabricantes de luminárias LED específicas para campos esportivos, considerando eficácia luminosa, vida útil, IRC, temperatura de cor e custo-benefício.
- Proposta de Diretrizes para Manutenção: Desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva e corretiva para sistemas de iluminação esportiva, visando prolongar a vida útil e garantir o desempenho adequado.
- Análise de Poluição Luminosa: Estudo do impacto da iluminação atual e de uma futura proposta de modernização em relação à poluição luminosa para as áreas vizinhas e o céu noturno.
- Contribuição para o Desenvolvimento Normativo: Elaboração de uma proposta de diretrizes ou requisitos para uma futura norma ABNT de iluminação desportiva, baseada nas melhores práticas internacionais e nas necessidades do cenário brasileiro.
- Estudo de Caso em Outras Instalações: Aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho para avaliar sistemas de iluminação em outros campos esportivos universitários ou municipais, a fim de identificar padrões de degradação e necessidades de modernização em uma escala mais ampla.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 8837**:2020: Iluminação de instalações esportivas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1**:2013: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BONET, A. **Instalações elétricas**. 11. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

BONET, J. A. C. **Luminotécnica**: iluminação artificial nos ambientes. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

CASAGRANDE, C. G. **Iluminação Pública: Panorama, Tecnologias Atuais e Novos Paradigmas.** 1. ed. Maringá: Viseu, 2021

CIBSE. **Lighting Guide 4: Sports Lighting**. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 1994.

CIBSE. **Lighting Guide 4: Sports Lighting**. Londres: CIBSE, 2023.

FIFA. **Estádios de futebol**: recomendações e requisitos técnicos. 5. ed. Zurique: Fédération Internationale de Football Association, 2011.

GRADO ILUMINAÇÃO. Conceitos básicos de iluminação. [S. l.]: Grado Iluminação, [s.d.]. Disponível em: https://www.gradoiluminacao.com.br/artigos/conceitos-basicos-de-iluminacao/. Acesso em: 10 jul. 2025.

IESNA. **The Lighting Handbook: Reference and Application**. 10. ed. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2011.

LEDVANCE. **Refletores LED IP66 com alto fluxo luminoso para estádios e arenas esportivas.** São Paulo: LEDVANCE Brasil, 2026. Disponível em: https://www.ledvance.com.br/profissional/produtos/luminarias/luminarias-com-tecnologia-led-para-teto--parede-e-piso/refletores-led-com-diversas-potencias-e-fluxos-luminosos/refletores-led-ip66-com-alto-fluxo-luminoso-para-estadios-e-arenas-esportivas/refletores-led-ip66-com-alto-fluxo-luminoso-para-estadios-e-arenas-esportivas-c328?productId=167085. Acesso em: 07 jan. 2026.

PHILIPS. **Guia de Iluminação**. Amsterdam: Philips, 2005. p. 5.

ROCHA, Thiago Santos. **ILUMINAÇÃO EM AMBIANTES ESPORTIVOS BRRASILEIROS: ANÁLISE NORMATIVA E ENSAIO PROJETIVO LUMINOTECNICO DO CENTRO ESPORTIVO DA FAEFID-UFJF.** 2025. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2025.

TECNO WATT. **Luminária HID Linha Projetor PL1002/PL2000.** [S. l.]: TecnoWatt, [s.d.]. Disponível em: https://tecnowatt.com.br/. Acesso em: 10 jul. 2025.

THE PARTNER. **Tabela de cores e iluminação.** [S. l.]: The Partner, [s.d.]. Disponível em: https://thepartner.com.br/tabela-de-cores-e-iluminacao/. Acesso em: 10 jul. 2025.

UFJF. **Comitê habilita complexo esportivo da UFJF como local de treinamento para Olimpíadas.** Juiz de Fora: UFJF Notícias, 2012. Disponível em: https://www2.ufjf.br/faefid/2012/01/29/comite-habilita-complexo-esportivo-da-ufjf-como-local-de-treinamento-para-olimpiad Acesso em: 10 jul. 2025.

UFJF. **Maior complexo esportivo da região é inaugurado na UFJF**. Juiz de Fora: UFJF Notícias, 2010. Disponível em : https://www2.ufjf.br/faefid/2010/06/24/maior-complexo-esportivo-da-regiao-e-inaugurado-na-ufjf/