

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA**

LUCA DOS SANTOS GARCIA

**PROJETO E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO DE
QUADRAS DESPORTIVAS: ESTUDO DE CASO NA UNIDADE II - UFGD**

DOURADOS – MS

2023

LUCA DOS SANTOS GARCIA

**PROJETO E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO DE
QUADRAS DESPORTIVAS: ESTUDO DE CASO NA UNIDADE II - UFGD**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima

DOURADOS / MS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G216p Garcia, Luca Dos Santos
PROJETO E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO DE QUADRAS
DESPORTIVAS: ESTUDO DE CASO NA UNIDADE II - UFGD [recurso eletrônico] / Luca Dos
Santos Garcia. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Aureo Cezar de Lima.
TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. DIALUX. 2. Eficiência energética. 3. iluminação. 4. LED. 5. Quadras poliesportivas. I. Lima,
Aureo Cezar De. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

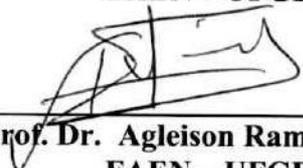
LUCA DOS SANTOS GARCIA

**PROJETO E ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO DE
QUADRAS DESPORTIVAS: ESTUDO DE CASO NA UNIDADE II - UFGD**

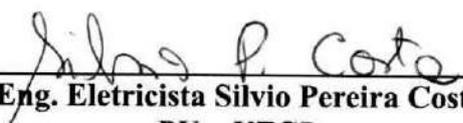
Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, pela comissão formada por:



Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar Lima
FAEN – UFGD



Prof. Dr. Agleison Ramos Omido
FAEN – UFGD



Eng. Eletricista Silvio Pereira Costa
PU – UFGD

DOURADOS -MS
8 DE MAIO DE 2023

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus por ter iluminado meu caminho e ter tornado toda essa trajetória possível. Agradeço em especial à minha família, pela paciência, permissão e auxílio durante todos esses anos no curso de Engenharia de Energia, apoiando nos momentos difíceis e celebrando nos momentos de conquista. Aos amigos de turma, que desde o início se tornaram a minha segunda família em Dourados, vivendo cada dor, decepção, alegria e vitória lado a lado, não medindo esforços para me ajudar sempre que precisei. Aos professores da Universidade Federal da Grande Dourados que se empenharam e dedicaram em ajudar e ensinar e, em especial, ao meu orientador Dr. Aureo Cezar de Lima, pelo acompanhamento, capricho e auxílio durante todo o percurso deste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

O avanço contínuo da industrialização e das inovações tecnológicas trazem consigo o aumento da demanda energética mundial e, com isso, torna-se imprescindível a busca pelo uso racional da energia elétrica. Práticas como eficiência energética e gestão de energia são desenvolvidas com a finalidade de se produzir mais, consumindo menos. Desta forma, este trabalho busca analisar o sistema de iluminação da quadra desportiva da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) considerando as Normas ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho e a BS EN 12193:2018. A partir da medição do iluminamento da quadra com o auxílio do instrumento luxímetro, desenvolveu-se uma parametrização dos resultados medidos, calculados pelo método dos lúmens e simulado no software DIALUX. O mesmo processo foi realizado para a quadra desportiva da Escola Estadual Ministro João Paulo do Reis Veloso, com a finalidade de parametrizar diferentes tecnologias luminotécnicas, como o *Light Emitting Diode* (LED). Os resultados mostraram certa similaridade, promovendo o fortalecimento da análise quando utilizado em conjunto. O projeto para a UFGD seguiu utilizando-se o software DIALUX para lâmpadas Vapores Metálico e LED de forma a atender as exigências da norma, as condições de eficiência energética, garantido, ainda, a viabilidade econômica. Os resultados obtidos, para a substituição das luminárias, foi um tempo de retorno do investimento de 10 anos, um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 53.762,71 e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) igual a 36,85%. Benefícios maiores são obtidos em um projeto novo, quando o investimento analisado é a diferença entre os projetos: *payback* descontado de 3,0 anos, TIR igual 107,53% e VPL de R\$ 71.923,20 em 15 anos. Conclui-se, por fim, que os dois cenários apresentam viabilidade econômica, sobretudo, a escolha inicial por luminárias LED, em opção à luminária Vapores Metálicos, obtém-se um ganho no retorno do investimento de 7,0 anos, na TIR de 70,68% e no VPL de R\$ 30.339,05.

Palavras-chave: DIALUX, Eficiência energética, iluminação, LED, Quadras poliesportivas.

ABSTRACT

The continuous advancement of industrialization and technological innovations brings with it an increase in global energy demand, making the pursuit of rational use of electrical energy essential. Practices such as energy efficiency and energy management are developed with the aim of producing more while consuming less. Thus, this study seeks to analyze the lighting system of the sports court at the Federal University of Grande Dourados (UFGD), considering the ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 - Lighting of work environments and BS EN 12193:2018 standards. By measuring the illumination of the court using a lux meter, a parameterization of the measured results was developed, calculated using the lumen method and simulated in the DIALUX software. The same process was conducted for the sports court of the Ministry João Paulo do Reis Veloso State School, aiming to parameterize different lighting technologies, such as Light Emitting Diode (LED). The results showed similarity, strengthening the analysis when used together. The project for UFGD continued using the DIALUX software for Metal Halide and LED lamps, to meet the requirements of the standard, energy efficiency conditions, and ensure economic feasibility. The results obtained for the replacement of the luminaires were a return time on investment of 10 years, a Net Present Value (NPV) of R\$ 53,762.71 and an Internal Rate of Return (IRR) equal to 36.85%. Greater benefits are obtained in a new project, when the investment analyzed is the difference between the projects: discounted Payback of 3.0 years, IRR equal to 107.53% and NPV of R\$ 71,923.20 in 15 years. It is concluded, finally, that the two scenarios present economic viability the initial choice for LED luminaires, in option to the luminaire Metallic Vapors, obtains a gain in the return on investment of 7.0 years, in the IRR of 70.68% and in the NPV of R\$ 30,339.05.

Keywords: DIALUX, Energy efficiency, illumination, LED, Sports court.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo energético mundial entre 1990 e 2021.....	16
Figura 2 - Potencial de economia e eficiência energética no Brasil entre 2015 e 2017	17
Figura 3 - Exemplo ilustrativo de quadra poliesportiva	21
Figura 4 – Classificação das fontes de luz artificial	22
Figura 5 – Distribuição do fluxo luminoso de lâmpadas LED	23
Figura 6 - Ilustração de iluminância (lx) e fluxo luminoso (lm)	25
Figura 7 - Uniformidade conforme indicação na norma NBR 8995-1:2013.....	25
Figura 8 - Índice de Reprodução de Cores	26
Figura 9 - Aparelho multifunções THAL-300.....	29
Figura 10 – Planta baixa da quadra poliesportiva - UFGD	35
Figura 11 – Iluminação atual da quadra poliesportiva - UFGD	36
Figura 12 - Luminária VM atual da quadra poliesportiva - UFGD.....	36
Figura 13 - Curva Isolux da quadra poliesportiva - UFGD.....	38
Figura 14 - Sistema de iluminação defeituoso atual - UFGD.....	39
Figura 15 - Luminária GW85404M 400W MT da Gewiss	40
Figura 16 – Simulação no DIALUX da quadra poliesportiva - UFGD.....	43
Figura 17 – Simulação no DIALUX das cores falsas da quadra poliesportiva - UFGD.....	43
Figura 18 - Comparação das curvas Isolux (em cores falsas) simulado e medido - UFGD.....	44
Figura 19 – Planta baixa da quadra poliesportiva - EERV	45
Figura 20 - Iluminação atual da quadra poliesportiva - EERV	45
Figura 21 - Curva Isolux da quadra poliesportiva - EERV	47
Figura 22 – Luminárias defeituosas atuais na quadra poliesportiva - EERV	48
Figura 23 – Suporte defeituoso atual na quadra poliesportiva - EERV.....	48
Figura 24 – Luminária LEX06-S1850FWX.....	49
Figura 25 – Simulação no DIALUX da quadra poliesportiva - EERV	52
Figura 26 – Simulação no DIALUX das cores falsas da quadra poliesportiva - EERV	52
Figura 27 - Comparação das curvas Isolux (em cores falsas) simulado e medido - EERV	53
Figura 28 - Luminária KSW 9.212.1072.00.....	55
Figura 29 – Simulação da quadra no DIALUX – Projeto luminotécnico VM da UFGD	56
Figura 30 – Simulação do palco no DIALUX – Projeto luminotécnico VM da UFGD	57
Figura 31 – Simulação em cores falsas no DIALUX – Projeto luminotécnico VM da UFGD	57

Figura 32 - Posicionamento dos refletores - Projeto luminotécnico VM da UFGD	58
Figura 33 - Luminária LHB20-S2M850FAX da Lumicenter	59
Figura 34 – Simulação da quadra no DIALUX – Projeto luminotécnico LED da UFGD	61
Figura 35 – Simulação do palco no DIALUX – Projeto luminotécnico LED da UFGD	62
Figura 36 – Simulação em cores falsas no DIALUX – Projeto luminotécnico LED da UFGD	62
Figura 37 - Posicionamento das luminárias - Projeto luminotécnico LED da UFGD	63
Figura 38 – Simulação da quadra no DIALUX - Projeto luminotécnico LED da EERV	66
Figura 39 – Simulação em cores falsas no DIALUX - Projeto luminotécnico LED da EERV	66
Figura 40 – Posicionamento das luminárias LED – Projeto luminotécnico EERV	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equivalência de diferentes tipos de lâmpadas	18
Tabela 2 - Requisitos mínimos de iluminação das normas vigentes	24
Tabela 3 - Refletância estimada pelo PROCEL	31
Tabela 4 - Dimensões da malha de medição da quadra poliesportiva - UFGD.....	37
Tabela 5 - Iluminâncias medidas em lux na quadra poliesportiva - UFGD	37
Tabela 6 - Indicadores luminotécnicos medidos na quadra poliesportiva - UFGD	38
Tabela 7 – Dimensões, índice K e RCR para a quadra poliesportiva - UFGD	39
Tabela 8 - Ficha técnica da luminária GW85404M 400W MT.....	40
Tabela 9 – Fator de utilização - SDK 472 – SON 400W	41
Tabela 10 - Fator de manutenção NBR 8995-1:2013.....	41
Tabela 11 – Cálculo do Fator de Manutenção - UFGD.....	42
Tabela 12 - Parametrização dos métodos utilizados para a quadra poliesportiva - UFGD	44
Tabela 13 - Dimensões da malha de medição da quadra poliesportiva - EERV	46
Tabela 14 - Iluminâncias medidas em lux na quadra poliesportiva - EERV.....	46
Tabela 15 - Indicadores luminotécnicos medidos na quadra poliesportiva - EERV	47
Tabela 16 – Dimensões e índice K e RCR para a quadra - EERV	49
Tabela 17 – Ficha técnica da luminária LEX06-S1850FWX.....	50
Tabela 18 – Fator de utilização LEX06-S1M850FWX.....	50
Tabela 19 – Cálculo do Fator de manutenção - EERV	51
Tabela 20 – Parametrização dos métodos utilizados para a quadra poliesportiva - EERV.....	52
Tabela 21 – Dimensões, índice K e RCR para a quadra poliesportiva - UFGD	54
Tabela 22 - Ficha técnica da luminária KSW 9.212.1072.00.....	55
Tabela 23 - Fator de manutenção NBR 8995-1:2013.....	55
Tabela 24 - Refletores VM necessários para atender a norma NBR 8995-1:2013 - UFGD	56
Tabela 25 – Indicadores – Projeto luminotécnico VM da UFGD	58
Tabela 26 – Comparação dos métodos - Projeto luminotécnico VM da UFGD	59
Tabela 27 - Ficha técnica da luminária LHB20-S2M850FAX	60
Tabela 28 - Fator de utilização (FU) da luminária LHB20-S2M850FAX	60
Tabela 29 – LED <i>High-bay</i> UFGD - NBR 8995-1:2013	61
Tabela 30 – Indicadores – Projeto luminotécnico LED da UFGD.....	62
Tabela 31 - Comparação dos métodos utilizados para a quadra da UFGD.....	64

Tabela 32 – Dimensões, índice K e RCR para a quadra poliesportiva - EERV	64
Tabela 33 - Ficha técnica da luminária LHB20-S3M850FWX.....	64
Tabela 34 - Fator de utilização (F_U) da luminária LHB20-S3M850FWX	65
Tabela 35 – LED <i>High-bay</i> EERV - NBR 8995-1:2013	65
Tabela 36 – Indicadores – Projeto luminotécnico LED da EERV	67
Tabela 37 – Comparação dos métodos utilizados para a quadra da EERV.....	68
Tabela 38 - Consumo anual do sistema atual, corrigido e proposto.....	69
Tabela 39 – Custo total inicial das duas propostas de iluminação - UFGD.....	70
Tabela 40 – Custo anual com energia do sistema corrigido e projeto em LED	71
Tabela 41 - Vida útil das luminárias propostas	71
Tabela 42 - Considerações para o fluxo de caixa	72
Tabela 43 – Fluxo de caixa da avaliação econômica para <i>retrofit</i> de luminária VM para LED	72
Tabela 44 – Viabilidade econômica para <i>retrofit</i> e projeto novo com luminária LED.....	73

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia Elétrica
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
EERV	Escola Estadual Reis Veloso
FC	Fluxo de Caixa
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
FM	Fator de Manutenção
FU	Fator de Utilização
FP	Horário Fora de ponta
GR	Índice de Ofuscamento Máximo Permitido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
P	Horário de Ponta
PM	Preço Médio
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RCR	Relação de Cavidade do Recinto
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SR	Esferorradiano
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFMG	Universidade Federal da Grande Dourados
UGR	Índice de Ofuscamento Unificado
VPL	Valor Presente Líquido
VM	Vapor Metálico
W	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL	20
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2	ILUMINAÇÃO EM QUADRAS ESPORTIVAS	21
2.1	CARACTERÍSTICAS DE QUADRAS POLIESPORTIVAS	21
2.2	LÂMPADAS	22
2.2.1	Lâmpadas de Vapor Metálico (VM).....	22
2.2.2	Lâmpadas LED	23
2.3	NORMAS E DIRETRIZES	24
2.3.1	Iluminância mantida (<i>EMed</i>)	24
2.3.2	Uniformidade (U)	25
2.3.3	Índice de Reprodução das Cores (IRC)	26
2.3.4	Ofuscamento	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DO ILUMINAMENTO	28
3.2	LEVANTAMENTO DA ILUMINÂNCIA DOS SISTEMAS	29
3.3	PROJETO LUMINOTÉCNICO	30
3.3.1	Índice do Local (K).....	30
3.3.2	Determinação dos equipamentos	30
3.3.3	Refletâncias	31
3.3.4	Fator de Utilização (F_U).....	31
3.3.5	Fator de Manutenção (F_M).....	31
3.3.6	Dimensionamento das Luminárias	32
3.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	32
3.4.1	Preço Médio.....	33
3.4.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	33
3.4.3	<i>Payback</i> Descontado.....	34

3.4.4	Taxa Interna de Retorno (TIR)	34
4	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS.....	35
4.1	QUADRA POLIESPORTIVA - UFGD	35
4.1.1	Sistema de iluminação atual - UFGD	37
4.1.2	Parametrização pelo método dos lúmens - UFGD	39
4.1.2.1	Índice do Local (K) e Relação de Cavidade do Recinto (RCR)	39
4.1.2.2	Refletor Vapor Metálico (VM)	40
4.1.2.3	Refletância do ambiente.....	40
4.1.2.4	Fator de Utilização (F_U)	41
4.1.2.5	Fator de Manutenção (F_M)	41
4.1.3	Parametrização utilizando o DIALUX – Ginásio UFGD.....	42
4.2	QUADRA POLIESPORTIVA - EERV.....	44
4.2.1	Sistema de iluminação atual – EERV	46
4.2.2	Parametrização pelo método dos lúmens – EERV	49
4.2.2.1	Índice do Local (K) e Relação de Cavidade do Recinto (RCR)	49
4.2.2.2	Refletor LED.....	49
4.2.2.3	Refletância do ambiente.....	50
4.2.2.4	Fator de Utilização (F_U)	50
4.2.2.5	Fator de Manutenção (F_M)	51
4.2.3	Parametrização pela Simulação no DIALUX – EERV	51
5	READEQUAÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO.....	54
5.1	QUADRA POLIESPORTIVA UFGD: REFLETOR VAPOR METÁLICO (VM).....	54
5.1.1	Índice do local (K).....	54
5.1.2	Refletor Vapor Metálico.....	54
5.1.3	Fator de utilização (F_U).....	55
5.1.4	Fator de Manutenção (F_M).....	55
5.1.5	Cálculo do número de luminárias (VM).....	56
5.1.6	Simulação DIALUX – Proposta Vapor Metálico UFGD.....	56

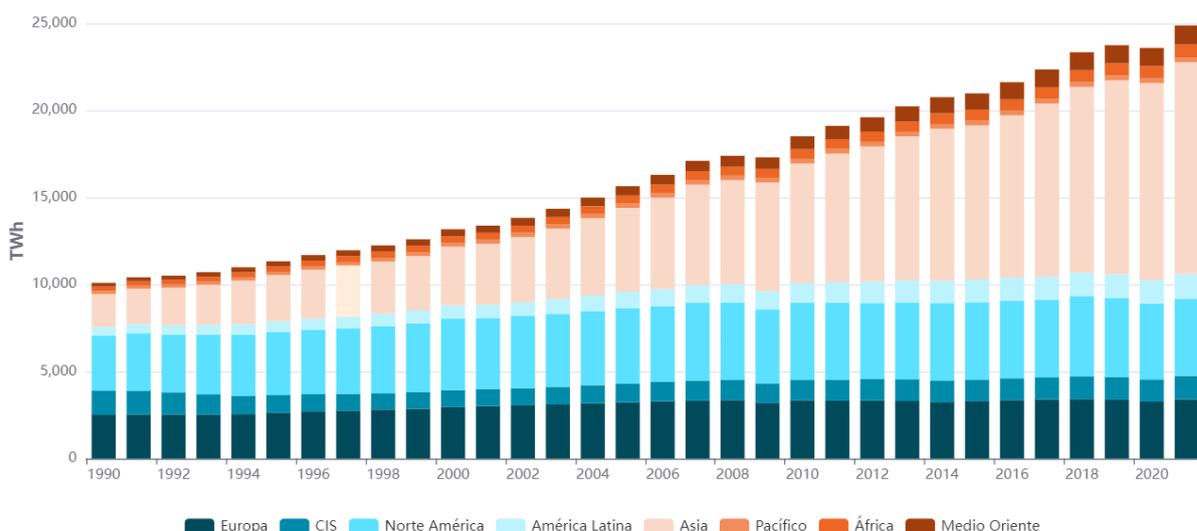
5.2	QUADRA POLIESPORTIVA UFGD: <i>HIGH-BAY</i> LED	59
5.2.1	Índice do local (K)	59
5.2.2	<i>High-bay</i> LED - UFGD	59
5.2.3	Fator de Manutenção	60
5.2.4	Cálculo do número de Luminárias (LED)	61
5.2.5	Simulação DIALUX – Proposta LED UFGD	61
5.3	GINÁSIO DA ESCOLA ESTADUAL REIS VELOSO: REFLETOR LED	64
5.3.1	Índice do Local (K) e Relação de Cavidade do Recinto (RCR)	64
5.3.2	<i>High bay</i> LED – EERV	64
5.3.3	Fator de Manutenção	65
5.3.4	Cálculo do número de luminárias	65
5.3.5	Simulação DIALUX – Proposta LED EERV	65
6	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – GINÁSIO UFGD II.....	69
6.1	LEVANTAMENTO DO CONSUMO	69
6.2	INVESTIMENTO INICIAL	70
6.3	ECONOMIA ANUAL	70
6.4	VIDA ÚTIL DO PROJETO	71
6.5	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	72
7	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	APÊNDICES	79

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no mundo tem aumentado a cada ano impulsionado por fatores tais como o crescimento populacional, o surgimento de novas tecnologias, a adoção de métodos e serviços mais modernos, o desenvolvimento econômico dos países, considerando o acesso a eletricidade a mais pessoas, bem como a substituição de tecnologias e fontes de recurso não renovável por outras mais avançadas e ecologicamente sustentáveis, alimentadas pela energia elétrica (BRITISH PETROLEUM, 2020).

De acordo com ENERDATA (2022), verificou-se que o consumo de energia elétrica mundial tem apresentado um crescimento constante ao longo das últimas décadas conforme evidenciado na Figura 1 – em 31 anos, o nível de consumo mundial aumentou aproximadamente 150%.

Figura 1 - Consumo energético mundial entre 1990 e 2021



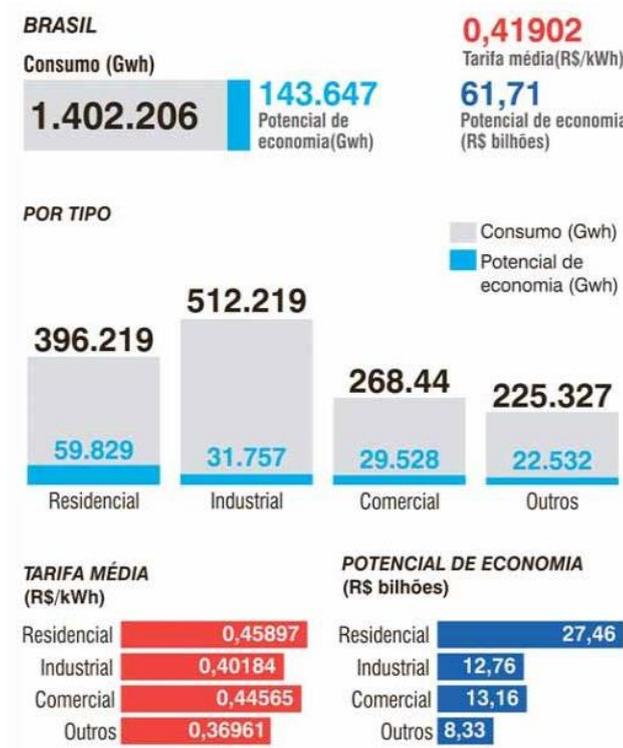
Fonte: Enerdata, 2022.

O aumento do consumo de energia elétrica no mundo é uma preocupação que pode gerar impacto ambiental, sobrecarga no sistema elétrico e aumento de custos. Diante do progresso contínuo e da possibilidade de esgotamento dos recursos, é imperativo considerar o impacto da gestão do consumo energético. Portanto, além de assegurar um fornecimento adequado de energia, é necessário buscar meios mais eficientes de utilização, evitando-se o desperdício (CUNHA, 2010).

Conforme descrito na Figura 2, entre 2015 e 2017, o desperdício de energia elétrica no Brasil em todos os segmentos e setores correspondeu a 1,4 vezes a produção da Itaipu Binacional no ano de 2016. O relatório aponta que o país desperdiçou um montante de R\$

61,7 bilhões durante esse período, sendo que a principal causa foi a obsolescência de equipamentos industriais, lâmpadas e eletrodomésticos (ABESCO, 2017).

Figura 2 - Potencial de economia e eficiência energética no Brasil entre 2015 e 2017



Fonte: ABESCO, 2017.

De acordo com a ABESCO (2017) a implementação de medidas que visem a redução do consumo de energia elétrica traz benefícios econômicos e ambientais significativos. Nos setores residencial, industrial e comercial, a adoção de equipamentos mais eficientes, implementação de sistemas de gestão de energia e a utilização de sistemas de iluminação e climatização com tecnologias avançadas, podem trazer economias significativas.

No Brasil, há diversos programas de eficiência energética, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que visa a promoção da eficiência energética por meio do incentivo ao desenvolvimento de equipamentos elétricos e eletrônicos mais eficientes, além da realização de campanhas de conscientização e incentivo ao uso racional de energia elétrica (PROCEL, 2023).

Em 1993, tal programa criou o selo PROCEL, uma etiqueta para identificação da eficiência dos equipamentos elétricos e eletrônicos. De forma semelhante, em 2003 criou-se o PROCEL Edifica, esta, para identificação do consumo energético e eficiência de edificações. Para obtenção desses selos, o equipamento ou a edificação devem possuir categoria A em

todas as categorias previamente definidas e detalhadas na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Também foi criado em 2000 o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes (PROCEL Reluz), com o objetivo de implementar sistemas mais eficientes através de equipamentos mais tecnológicos, contribuindo com maior segurança à população.

Uma medida a ser adotada visando aprimorar a eficiência energética consiste na seleção de lâmpadas com maior eficiência. É recomendável, portanto, a realização de uma análise comparativa entre distintos tipos de lâmpadas, como ilustrado na Tabela 1. É válido ressaltar que a relação entre o consumo de energia e o fluxo luminoso apresenta consideráveis variações entre os modelos, especialmente quando a escala ampla de utilização é considerada.

Tabela 1 - Equivalência de diferentes tipos de lâmpadas

Tipo	Tc [K]	CRI	Eficiência [lm/W]	Vida útil [horas]	Tempo de 0% a 100%	Locais favoráveis de aplicação
Incandescentes	2700	100	10 a 15	1000	Instantâneo	Residências
Halogéneo	3000-3200	100	15-20	2000-4000	Instantâneo	Resistências, superfícies comerciais.
Tubulares	3000-8000	75-95	60-80	12000-75000	<1 min.	Escritórios, superfícies comerciais, etc.
CFL	3000-6500	80-89	55-80	6000-20000	<1 min.	Residências
Sódio	2000	<25	>180	12000-18000	2-5 min.	Auto-estradas, túneis, etc.
Iodetos metálicos	3500-7200	80-95	>80	3000-9000	5-10 min.	Iluminação urbana, campos de desportos
LED	Todas	70-95	>75	25000-120000	Instantâneo	Todo o tipo de aplicações

Fonte: (LAIRES, 2013).

A Tabela 1 apresenta diversos tipos de lâmpadas, contudo o foco do estudo é a análise comparativa entre LED e Iodetos metálicos. As lâmpadas LED demonstram superioridade em características importantes, como a vida útil prolongada, tempo de iluminação plena e versatilidade para diferentes aplicações.

Um exemplo de como uma iluminação adequada pode melhorar a qualidade do ambiente e simultaneamente trazer benefícios econômicos é o caso da Universidade Comunitária Unochapecó, no qual houve a proposta de substituição das 13.237 lâmpadas fluorescentes por tecnologia LED no próprio campus. A substituição promoveu uma redução

de 448,49 MWh/ano e conseqüentemente um retorno do investimento financeiro em aproximadamente 6,8 anos de todo o projeto e execução (ZANIN, 2015).

Outro caso satisfatório, é o estudo luminotécnico do Bloco D e o Prédio de Laboratórios da Engenharia de Energia sediada na unidade II – UFGD. A proposta de substituição das lâmpadas fluorescentes por tecnologia LED, apresentou uma redução de 13.780 kWh/ano para o Bloco D, uma melhora significativa no enquadramento da eficiência energética (PROCEL) de C para A e a adequação à norma CIE/ISO 8995-1:2013. Após os resultados, o processo foi extrapolado para o campus todo, resultando em uma economia total de R\$ 290.600,00 ao ano (VALTER, 2018) – ao que se observa que a Prefeitura Universitária (PU) da UFGD promoveu a substituição, não somente da Unidade II, como também dos demais prédios.

Por meio de projeto da empresa Energisa, a UFGD submeteu o convênio que garante a participação da universidade no Programa Eficiência Energética (PEE). O objetivo foi substituir e descartar 220 reatores e luminária obsoletas, em favor da instalação e luminárias LED energeticamente eficientes, as quais oferecem e alcançam os níveis mínimos de iluminação determinados pela normatização vigente. O projeto, que já foi implementado, considerava a economia de 178,31 MWh/ano de energia consumida e 40,32 kW da demanda instalada na ponta. Equivalente a redução em R\$ 125.917,90 por ano as despesas de consumo referente à energia elétrica (VITÁLIS, 2021).

A iluminação apropriada do ambiente é de extrema importância para o processamento cognitivo e a interação com o entorno. Condições de iluminação adequadas facilitam a realização de tarefas no ambiente sem causar cansaço visual (LUCENA, 2015). Levando em consideração o contexto esportivo, a iluminação assume igual importância para atletas, árbitros, espectadores e câmeras, garantindo condições ideais nas competições esportivas, tanto em ambientes internos quanto externos, priorizando a visibilidade e segurança de todos os envolvidos.

No Brasil, a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, ainda que o título se refira a ambiente de trabalho, também aborda a iluminação em ambientes esportivos, outrossim, carece de informações detalhadas para o desenvolvimento do projeto luminotécnico para quadras de desporto. Desta forma a BS EN 12.193:2018 foi utilizada como fonte complementar para o desenvolvimento deste trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é difundir a importância do avanço tecnológico no contexto da sustentabilidade, especificamente através da adoção de lâmpadas LED em quadras poliesportivas. A utilização dessas lâmpadas proporciona uma série de benefícios, como menor necessidade de manutenção, maior eficiência energética, redução no consumo de eletricidade e aumento do nível de luminosidade, melhorando a experiência dos usuários do espaço. O presente estudo tem como propósito destacar tais vantagens e incentivar a adoção dessas tecnologias como uma alternativa viável e benéfica para a sociedade e para o meio ambiente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivo analisar, simular e projetar a substituição de lâmpadas convencionais por LED utilizando o método dos lúmens e simulação via software DIALUX na quadra esportiva da UFGD, bem como na Escola Estadual Ministro João Paulo do Reis Veloso em Dourados-MS. As etapas estão divididas da seguinte forma:

- Elaboração da planta baixa dos locais;
- Medições do iluminamento dos sistemas atuais;
- Simulação no software e parametrização dos resultados;
- Análise dos sistemas referentes as normativas NBR 8995-1:2013 e EN.12.193:2018;
- Readequação e projeto de sistemas que atendem as normas;
- Orçamentos e estudos de viabilidade econômica.

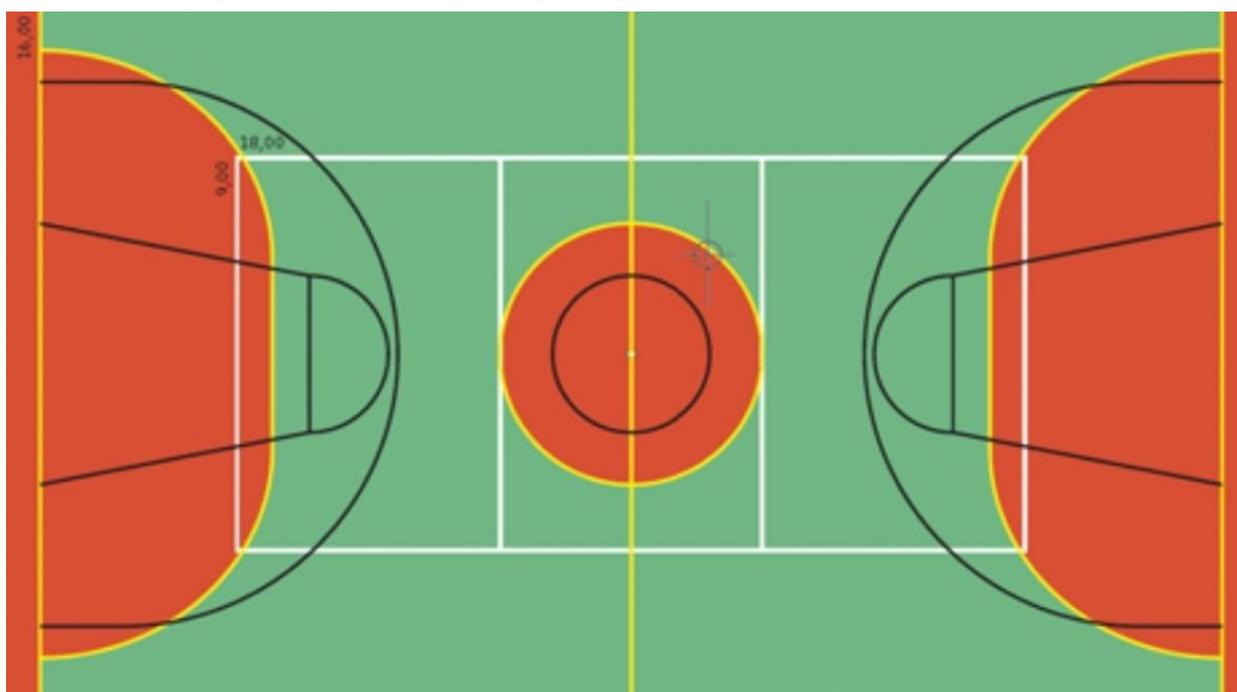
2 ILUMINAÇÃO EM QUADRAS ESPORTIVAS

2.1 CARACTERÍSTICAS DE QUADRAS POLIESPORTIVAS

A quadra poliesportiva, ilustrada na Figura 3, especialmente quando coberta, é comumente encontrada em escolas, faculdades, clubes, condomínios e chácaras. Embora sendo pouco utilizada para competições profissionais, é uma excelente opção para atividades e lazer, tendo a prática esportiva como seu principal propósito.

O tamanho da quadra varia de acordo com sua finalidade – caso seja utilizada para competições profissionais, as medidas devem atender às normas específicas da Federação correspondente. No entanto, não sendo esse o caso, não há uma norma restrita para as dimensões da quadra, sendo adaptadas ao espaço disponível e as necessidades locais.

Figura 3 - Exemplo ilustrativo de quadra poliesportiva



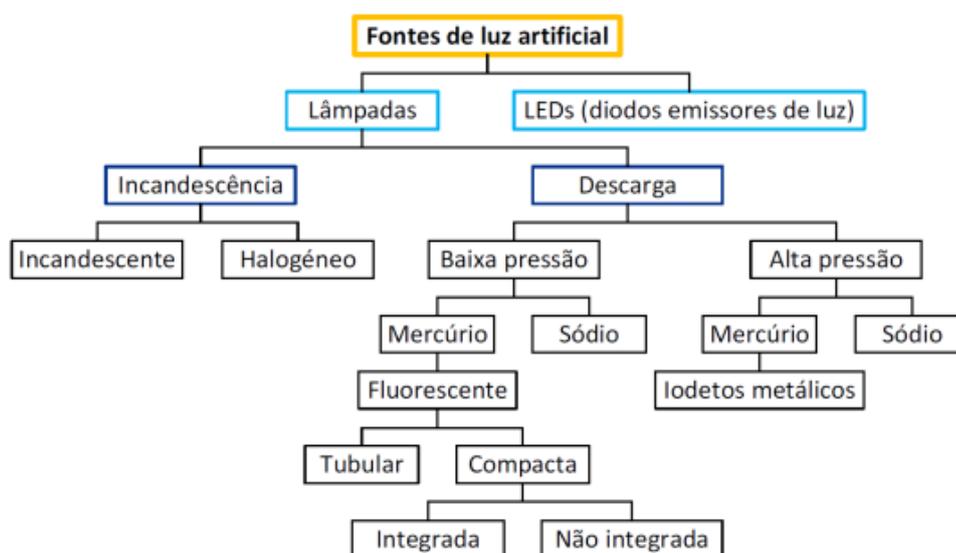
Fonte: ALTIPIOSOS, 2018.

Uma quadra poliesportiva para esportes como basquete possui dimensões que variam entre 28 e 32 m de comprimento e 14 a 16 m de largura. Contudo, se o esporte praticado for futebol de salão, as dimensões da quadra podem variar de 30 a 40 m de comprimento e 18 a 22 m de largura. Já para o vôlei, a quadra geralmente possui 18 m de comprimento e 9 m de largura (POLYESPORTIVA, 2021).

2.2 LÂMPADAS

Existem diversos tipos de dispositivos de iluminação, os quais podem ser distinguidos de acordo com o seu princípio de funcionamento, conforme ilustrado na Figura 4. Para fins deste projeto, iluminação de quadras poliesportivas, serão abordadas exclusivamente as lâmpadas LED e as lâmpadas de vapor metálicos (VM).

Figura 4 – Classificação das fontes de luz artificial



Fonte: SILVA, 2011.

2.2.1 Lâmpadas de Vapor Metálico (VM)

As lâmpadas de vapor metálicos (VM) são dispositivos de descarga de alta intensidade que produzem luz através da excitação de iodetos metálicos. Seu princípio de funcionamento consiste na aplicação de uma diferença de potencial entre dois elétrodos alojados nas extremidades interiores de um tubo de descarga, preenchido com uma mistura de gás inerte e VM (SILVA, 2011).

Este tipo de lâmpada deriva de uma evolução das lâmpadas de mercúrio, proporcionando fluxo luminoso e reprodução de cores significativamente superior. As luminárias com lâmpadas de VM são amplamente utilizadas na iluminação urbana, em campos de esporte e para iluminar fachadas. Elas têm uma temperatura de cor que varia entre 3500 K e 7200 K, Índice de Reprodução de Cor (IRC) entre 80 e 95 e vida útil que pode variar de 3000 a 9000 horas. Além disso, elas apresentam uma eficiência elevada podendo ultrapassar a 80 lm/W. No entanto, o tempo para o estabelecimento do nominal fluxo é considerado lento, podendo levar até 10 minutos para a iluminação plena (LAIRES, 2013).

2.2.2 Lâmpadas LED

As lâmpadas de LED são dispositivos semicondutores que convertem energia elétrica em luz visível. São bastante econômicas e resistentes, possuindo uma ampla gama de aplicações (LEMOS, 2016). Esta tecnologia apresenta uma vida útil que pode chegar de 25.000 a 120.000 horas e, desta forma, possui baixa necessidade de substituição, uma vez que emite pouco calor, não possui filamento, nem peças móveis e frágeis em seu interior e o controle eletrônico protege contra picos elétricos (LAIRES, 2013).

As lâmpadas LED são extremamente eficientes, ultrapassando a 100 lm/W, uma vez que converte diretamente a energia elétrica em luz, com pequena perda por aquecimento. Elas possuem emissão de luz direcional (Figura 5), podendo conter controle de intensidade, possibilitando maior flexibilidade luminosa. Outra vantagem é o fornecimento instantâneo da iluminação nominal, o que garante segurança em situações que exigem rapidez na aplicação (LAIRES, 2013).

Figura 5 – Distribuição do fluxo luminoso de lâmpadas LED



Fonte: ELGIN, 2021.

Em relação a qualidade de iluminação, esta tecnologia possui um alto IRC, variando de 80 a 97, contudo seu espectro de luz é muito mais amplo que outros tipos de luminárias, portanto, para uma mesma iluminância e IRC, a lâmpada LED terá uma maior qualidade de cores e familiaridade aos olhos humanos, além de ser mais ecológicas por não conter substância nocivas como o mercúrio (SILVA, 2011).

2.3 NORMAS E DIRETRIZES

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 apresenta valores unificados para quaisquer esportes praticados em ambientes esportivos. Em contrapartida a norma EN 12.193:2018 possui três diferentes níveis de iluminação para instalações esportivas com base em seu uso: a classe 1 refere-se a competições de alto nível nacionais ou internacionais; a classe 2 competições de nível médio locais ou regionais e a classe 3 para amistosos, treinamentos em geral, educação física ou atividades recreativas. Os indicadores apresentados na Tabela 2 são definidos para os principais esportes praticados no Brasil, tais como futsal, basquete e vôlei.

Tabela 2 - Requisitos mínimos de iluminação das normas vigentes

Indicadores Luminotécnicos	NBR 8995-1:2013	EN 12.193:2018 – Classe 3
Iluminância Média (E_{MED}) (lx)	300	200
Uniformidade (U)	0,7	0,5
Ofuscamento (UGR e GR)	22	40
Índice de Reprodução das Cores (IRC)	80	60

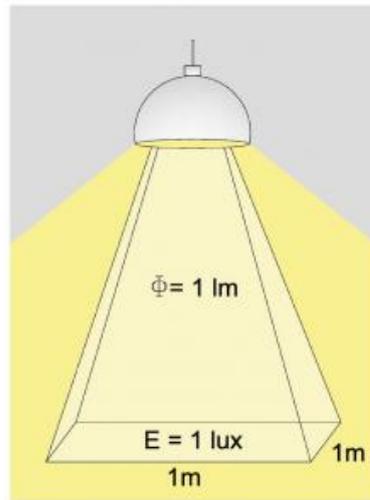
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para aplicações que exigem maior profissionalismo e até mesmo transmissão televisiva, é recomendável considerar a adoção da normativa EN 12.193. No entanto, para a iluminação de quadras poliesportivas em escolas, é mais apropriado utilizar os requisitos da norma NBR 8995-1, em comparação com a classe 3 da EN 12.193, uma vez que apresenta requisitos mais rigorosos, garantindo maior qualidade e segurança para todos os envolvidos na prática esportiva.

2.3.1 Iluminância mantida (E_{Med})

De acordo com a norma NBR 8995-1, é exigido um valor mínimo de 300 lux em toda a área da quadra esportiva. Tal valor representa o iluminamento que chega à superfície da quadra, garantindo que o espaço esteja adequado para as atividades em geral. A Figura 6 ilustra o conceito da iluminância E em lux (lx), e fluxo luminoso (Φ) em lúmens (lm).

Figura 6 - Ilustração de iluminância (lx) e fluxo luminoso (lm)

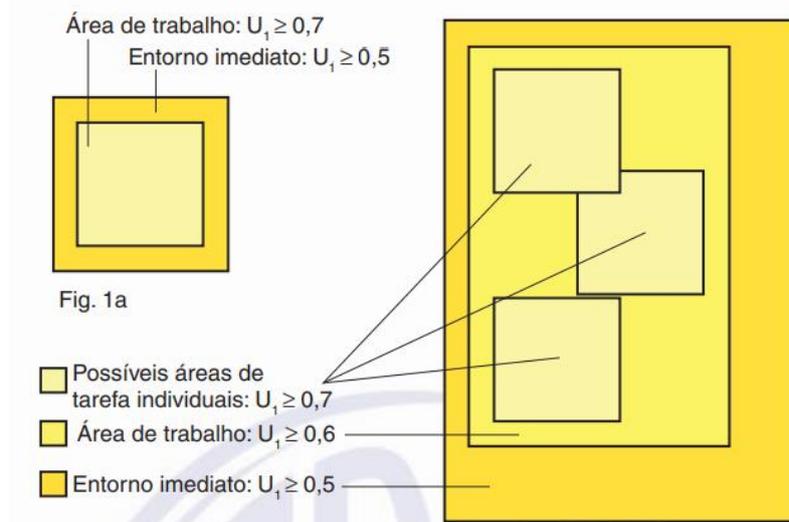


Fonte: PROINOVA, 2019.

2.3.2 Uniformidade (U)

A Uniformidade é um critério importante para a qualidade da prática esportiva, uma vez que esse fator tem como objetivo prevenir a formação de sombras acentuadas e, conseqüentemente, promover o conforto visual necessário para a atividade (SILVA, 2011) (Figura 7).

Figura 7 - Uniformidade conforme indicação na norma NBR 8995-1:2013



Fonte: ABNT, 2013.

De acordo com a NBR 8995-1, é exigido um valor mínimo de 0,7 para área de trabalho, sendo esta considerada toda a área da quadra esportiva, e 0,5 em seu entorno. A Uniformidade é calculada pela Equação (1).

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (1)$$

Onde:

- U Uniformidade ();
- E_{min} Iluminância mínima (lx);
- E_{med} Iluminância média (lx).

2.3.3 Índice de Reprodução das Cores (IRC)

De acordo com a norma NBR 8995-1, é exigido um valor mínimo de 80 para o IRC. Tal critério é representado na Figura 8, e mostra a correspondência entre a cor real do objeto e sua aparência quando submetida a uma fonte de luz. Quanto maior o IRC, melhor será o equilíbrio e a fidelidade entre as cores – convencionalmente, o IRC varia entre 0 e 100, sendo o seu valor indicado pelo fabricante (LEMOS, 2016).

Figura 8 - Índice de Reprodução de Cores



Fonte: LIVEN, 2021.

2.3.4 Ofuscamento

O critério em questão representa a percepção visual desfavorável resultante de áreas de intenso brilho, ou da variação na iluminação dentro do campo de visão (VERTAMATTI, 2014). Em conformidade com a norma NBR 8995-1, exige-se que o valor máximo seja de 22, calculado pelo Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). Esse método considera tanto o brilho quanto a refletância

do sistema de iluminação interno. Sobretudo, baseando-se em estudos de campo, a publicação LiTG 20 recomenda desconsiderar o ofuscamento para luminárias do tipo *high-bay* (altura superior a 6 metros), considerando os pequenos ângulos sólidos da fonte perturbadora ($<0,0003$ sr) (ABNT, 2013).

Em contrapartida, para locais externos, a normativa EN 12.193 recomenda a utilização do GR (Classificação do Ofuscamento), calculada para diferentes posições e ângulos de visão dos observadores dentro do objeto de cálculo (DIALUX, 2019).

Os indicadores UGR e GR em um sistema de iluminação podem ser calculados por meio de programas computacionais de cálculo luminotécnico, como o DIALUX. Tais critérios são úteis para projetos em que o ofuscamento é um fator crítico, mas não indica a limitação do ofuscamento padrão da instalação como um todo.

3 METODOLOGIA

3.1 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DO ILUMINAMENTO

Para realizar a verificação do nível de iluminação de uma instalação é necessária a realização de medições no local em pontos distribuídos conforme disposto na ABNT (2013). Os pontos representam o centro de uma malha (comumente retangular) e com uma altura do chão estabelecida de acordo com o plano de trabalho. Para esportes, o plano de trabalho é o nível do piso, o tamanho da malha é definido pela Equação (2) enquanto que o número de pontos na maior e menor dimensão é dado pelas Equações (3) e (4), respectivamente.

$$p = 0,2 * 5^{\log D} \quad (2)$$

Onde:

- p Tamanho da malha (m);
- D Maior dimensão da superfície de referência (m).

O número de pontos da maior dimensão é dado pelo número ímpar inteiro mais próximo da relação D/p.

$$n_D = \frac{D}{p} \quad (3)$$

Onde:

- n_D Número de pontos de cálculo na malha ();
- D Maior dimensão (m).

O número de pontos da menor dimensão é dado pelo número ímpar inteiro mais próximo de D/P.

$$n_d = \frac{d}{P} \quad (4)$$

Onde:

- n_d Número de pontos de cálculo na malha ();
- d Menor dimensão (m).

3.2 LEVANTAMENTO DA ILUMINÂNCIA DOS SISTEMAS

Para determinação da iluminância média e a uniformidade das quadras foi utilizado o instrumento multifunções (luxímetro, anemômetro e termo-higrômetro) THAL-300 (Figura 9). Observa-se que o sensor fotométrico atende as normas da Comissão Internacional de Iluminação (CIE) ao possuir filtros de espectro de sensibilidade espectral.

Figura 9 - Aparelho multifunções THAL-300



Fonte: INSTRUTHERM, 2023.

A coleta dos dados no local consiste em medir a iluminância em relação à área superficial total. Para esse fim, primeiro, determina-se o número de pontos de medição com base na malha referente a normativa e, em seguida, desenvolve-se a metodologia de coleta de dados no período noturno, evitando a interferência da iluminação natural.

- Marca-se o ponto de medição de acordo com a malha e posiciona o sensor;
- Liga-se o equipamento e aguarde até que o valor apresentado no visor zere;
- O pesquisador deve-se afastar do medidor para evitar interferência da sombra do corpo na medição;
- Aguarda-se a estabilização da medida em um intervalo entre 3 e 5 segundos;
- Anota-se a leitura da medida em uma planilha para posterior análise.

3.3 PROJETO LUMINOTÉCNICO

O projeto luminotécnico será desenvolvido utilizando-se o software DIALUX para a simulação do sistema de iluminação, considerando que, este programa é de código aberto, contém uma gama de possibilidades avançadas no quesito modelagem 3D e iluminação e possui uma ampla utilização mundial.

Outrossim, com o objetivo de analisar as variáveis do projeto, o método dos lúmens será empregado considerando as discussões sobre o índice do local e fator de utilização, a caracterização das refletâncias do teto, parede e piso, o fator de manutenção, bem como o fluxo luminoso dos equipamentos disponíveis no mercado e suas eficiências.

Para início dos cálculos são necessárias as características da quadra poliesportiva, como dimensões dos ambientes e classificação de uso para determinação da iluminância requerida.

3.3.1 Índice do Local (K)

O índice do local (K) é um número adimensional que correlaciona as dimensões do ambiente. É obtido pela Equação (5).

$$K = \frac{C * L}{H * (C + L)} \quad (5)$$

Onde:

- C Comprimento do ambiente (m);
- L Largura do ambiente (m);
- H Distância do teto à superfície de trabalho (m).

3.3.2 Determinação dos equipamentos

A determinação dos equipamentos deve levar em consideração as características fotométricas das luminárias, o desempenho das lâmpadas e as características elétricas dos dispositivos auxiliares.

- Luminária - Curva de Distribuição Luminosa (CDL);
- Lâmpadas – Eficiência luminosa (lm/W), fluxo luminoso (lm) e vida útil (h);
- Equipamento – Potência consumida (W).

3.3.3 Refletâncias

A refletância é a propriedade de refletir a luz, variando de acordo com a cor e o tipo de material da superfície, estimada utilizando a Tabela 3. Para ambientes esportivos, geralmente é recomendado utilizar superfícies com alta refletância, com a finalidade de garantir uma iluminação com maior uniformidade, aumentando a qualidade das partidas.

Tabela 3 - Refletância estimada pelo PROCEL

Superfície	Refletância
Muito clara	70%
Clara	50%
Média	30%
Escura	10%
Preta	0%

Fonte: PROCEL EPP, 2011.

3.3.4 Fator de Utilização (F_U)

O Fator de utilização é obtido em tabelas fornecidas pelos fabricantes e indica o desempenho da luminária no ambiente considerado, ou seja, verifica a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e ambiente.

Para sua determinação, basta cruzar o valor encontrado do Índice do Local (horizontal) com os dados de refletância das superfícies (vertical). Há também alguns casos em que o fabricante trabalha com a Relação de Cavidade do Recinto (RCR) ao invés do índice do local.

$$RCR = \frac{5}{K} \quad (6)$$

Onde:

RCR Relação de Cavidade do Recinto ();

K Índice do local ().

3.3.5 Fator de Manutenção (F_M)

O Fator de manutenção é a relação entre a iluminância mantida e o nível de iluminância, uma vez que há uma redução progressiva durante o uso do sistema devido ao acúmulo de poeira, depreciação dos materiais da própria luminária, decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas e diminuição das refletâncias.

Portanto, de maneira prática, ele define o sobredimensionamento do sistema de iluminação para que no tempo definido para manutenção dos equipamentos, e do local, seus indicadores não estejam abaixo do esperado pela norma. O cálculo para o F_M está representado pela Equação (7).

$$F_M = F_{LL} * F_{SL} * F_L * F_{SA} \quad (7)$$

Onde:

- F_M Fator de manutenção ();
- F_{LL} Fator de manutenção de lúmens das lâmpadas ();
- F_{SL} Fator de manutenção de sobrevivência das lâmpadas ();
- F_L Fator de manutenção das luminárias ();
- F_{SA} Fator de manutenção das superfícies do ambiente ().

3.3.6 Dimensionamento das Luminárias

O cálculo do número de luminárias necessário para um determinado ambiente é obtido pela Equação (8).

$$N = \frac{E_m * A}{\Phi * F_U * F_M} \quad (8)$$

Onde:

- N Número de luminárias necessárias ();
- A Área do ambiente (m²)
- E_m Iluminância média (lx);
- Φ Fluxo luminoso da lâmpada (lm);
- F_u Fator de utilização ();
- F_M Fator de manutenção ().

3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Ao se elaborar um projeto que demande investimentos é imprescindível proceder à análise de viabilidade econômica, a fim de avaliar a sua capacidade em gerar retorno que justifiquem o investimento. Nesse sentido, a presente seção tem por objetivo apresentar as

ferramentas e o cálculo do Preço Médio, *Payback* Descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), que serão utilizadas para as análises – fornecendo informações mais precisas e seguras sobre a viabilidade do projeto de iluminação da quadra esportiva da UFGD.

3.4.1 Preço Médio

Para análise do custo da energia elétrica do sistema atual e propostos, utilizou-se o cálculo do preço médio, um indicador que demonstra o preço unitário de cada kWh de energia consumido (OLIVEIRA, 2017). Esse indicador pode ser calculado através da Equação (9).

$$P_M = \frac{Fat}{C_T} \quad (9)$$

Onde:

- P_M Preço Médio (R\$/kWh);
- Fat Valor da Fatura (R\$);
- C_T Consumo Total (kWh).

O período analisado será de um ano, utilizando-se a soma das faturas e seus respectivos consumos de energia no período.

3.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é uma técnica utilizada em análise financeira para determinar o valor presente de um fluxo de caixa futuro, descontando esses fluxos de caixa à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Equação (10)). A conclusão acerca da viabilidade do projeto é determinada pelo valor do VPL – maior que 0 conclui-se que o projeto trará retorno econômico, possibilitando ganho ao investidor. Caso o VPL seja menor do que 0, o projeto é considerado economicamente inviável, pois o capital investido não será recuperado no tempo previsto e o investidor terá prejuízo (ROYER, 2019).

$$VPL = \sum_{N=1}^n \frac{FC}{(1 + TMA)^T} \quad (10)$$

Onde:

- VPL Valor Presente Líquido (R\$);
FC Fluxo de Caixa (R\$);
T Período (anos);
TMA Taxa Mínima de Atratividade (%).

3.4.3 *Payback* Descontado

O *Payback* Descontado é uma técnica que tem como objetivo calcular o tempo necessário para que o fluxo de caixa descontado do projeto luminotécnico iguale-se ao investimento inicial. Nessa técnica, o *Payback* é obtido quando a diferença entre receitas e custos torna-se positiva, descontados a taxa de juros considerada, ou custo de oportunidade do capital investido (ROYER, 2019). Calculada pela Equação (11).

$$P_D = \frac{M_I}{FCD} \quad (11)$$

Onde:

- P_D *Payback* Descontado (anos);
 M_I Montante Investido (R\$);
 FCD Fluxo de Caixa Descontado (R\$/ano).

3.4.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), dada em porcentagem, representa a taxa de juros que torna o Valor Presente Líquido (VPL) de um investimento igual a zero. Em outras palavras, é a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros com o investimento inicial. A TIR é uma medida de rentabilidade do investimento que representa a taxa de retorno média anual ao longo do período de vida do investimento. A viabilidade do investimento é avaliada pela comparação da TIR com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é a taxa de juros mínima exigida pelo investidor para compensar o risco assumido (ROYER, 2019). Pode ser calculada pela Equação (12).

$$\sum_{N=1}^n \frac{FC}{(1 + TIR)^T} - M_I = 0 \quad (12)$$

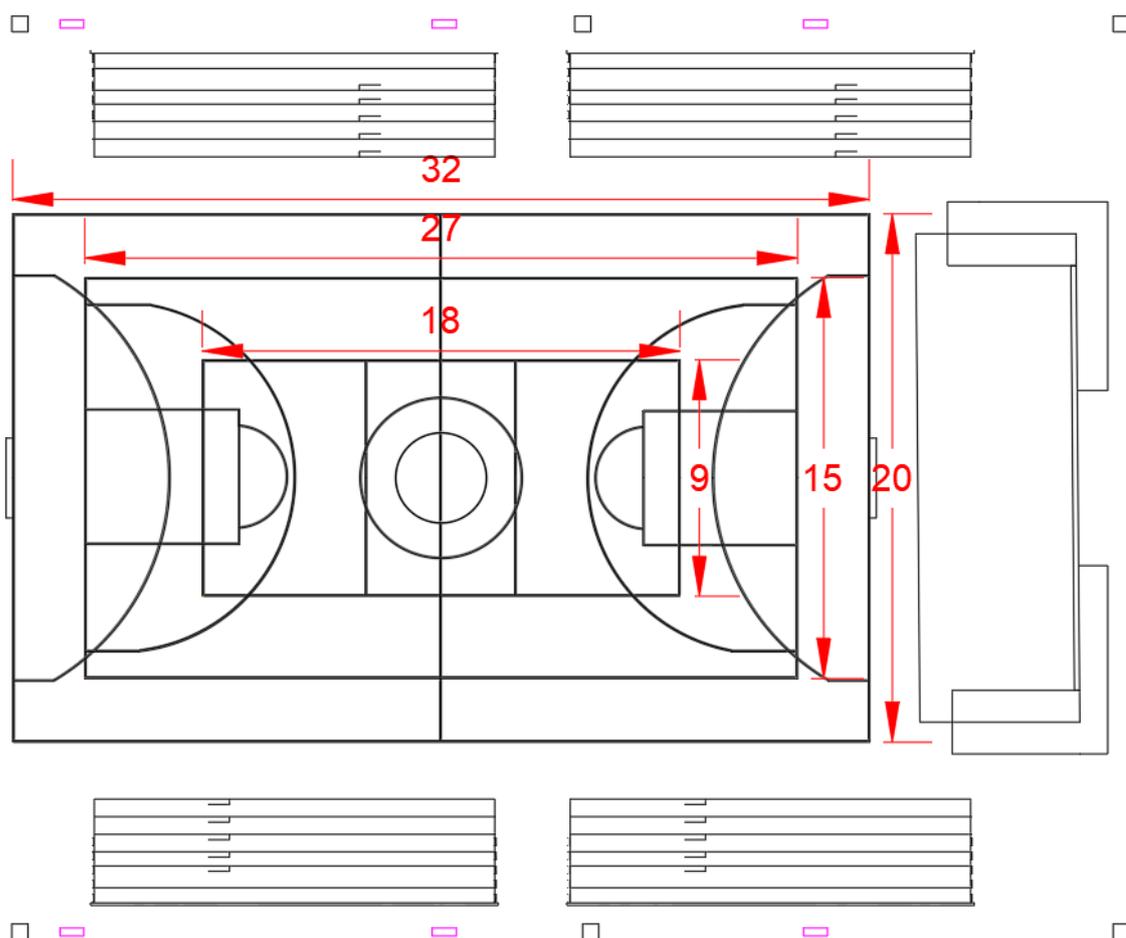
4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionadas a quadra esportiva da UFGD, sediada na unidade II e a quadra da Escola Estadual Ministro João Paulo do Reis Veloso em Dourados-MS, que ao longo deste trabalho, será abordada como Escola Estadual Reis Veloso (EERV).

4.1 QUADRA POLIESPORTIVA - UFGD

A quadra poliesportiva da Unidade 2 da UFGD é uma área coberta onde são disputadas competições locais de Dourados, principalmente jogos entre as Faculdades, treinos dos acadêmicos e servidores da Universidade, bem como as práticas do curso de Educação Física. A planta baixa está representada na Figura 10.

Figura 10 – Planta baixa da quadra poliesportiva - UFGD



Fonte: Elaborado pelo Autor no AutoCad.

A quadra possui 18 luminárias de Vapor metálico (VM) com potência de 400 W posicionadas em seis pontos, agrupadas três a três, representado pelos retângulos de coloração rosa, enquanto as dimensões, em metros, estão representadas pelas cotas. As Figura 11 e Figura 12 apresentam fotografias para melhor visualização.

Figura 11 – Iluminação atual da quadra poliesportiva - UFGD



Fonte: Fotografado pelo autor.

Figura 12 - Luminária VM atual da quadra poliesportiva - UFGD



Fonte: Fotografado pelo autor.

4.1.1 Sistema de iluminação atual - UFGD

O estudo da iluminação atual iniciou-se através do levantamento das dimensões dos espaços para construção da malha de medição. Utilizando as Equações (2), (3) e (4) foi obtido as dimensões da malha e seus valores arredondados, mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dimensões da malha de medição da quadra poliesportiva - UFGD

Comprimento (m)	Largura (m)	Dimensão da Malha (p)	Número de Pontos (n_p)	Número de Pontos (n_d)	Total de Pontos
32,0	20,0	2,25	14	9	126

Fonte: Elaborado pelo autor.

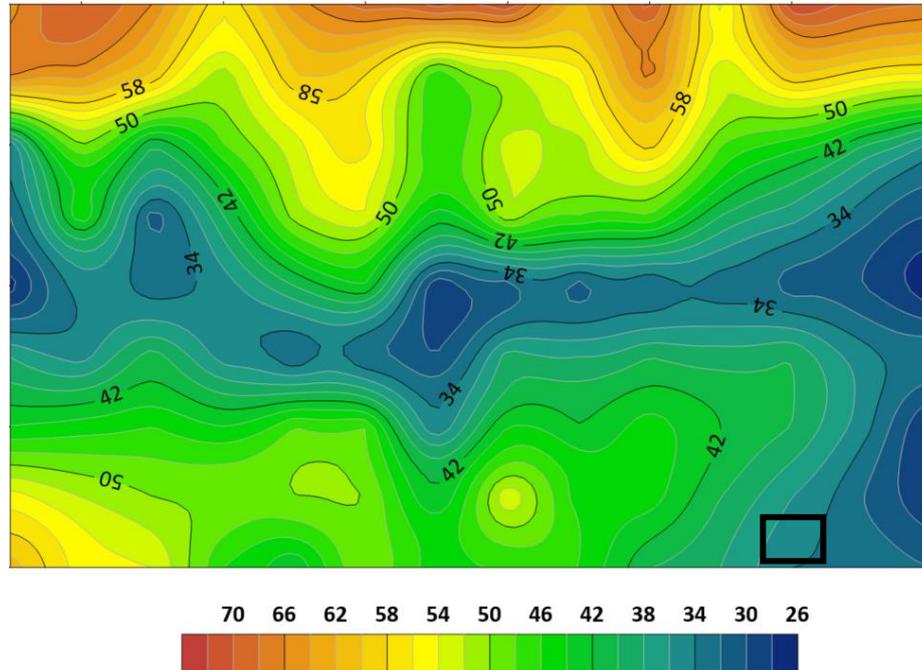
As medições seguiram a sequência apresentada no Item 3.2 e as marcações foram feitas com o auxílio de trena e fita isolante. Os resultados das medições feitas com o luxímetro na quadra da UFGD estão apresentadas na Tabela 5 e, para uma melhor visualização, a Figura 13 apresenta a curva Isolux do ambiente, elaborada com o auxílio do software Surfer (SOFTWARE, 2023).

Tabela 5 - Iluminâncias medidas em lux na quadra poliesportiva - UFGD

61	55	44	38	27	32	34	67	65
55	52	45	35	35	46	50	65	70
54	50	46	41	33	31	40	60	66
46	50	44	35	35	40	48	51	56
42	50	48	32	40	51	53	60	65
50	50	48	32	44	54	57	58	69
45	42	34	30	28	43	46	46	71
46	54	44	39	31	52	53	51	72
46	45	42	38	31	48	51	55	61
40	45	45	40	32	48	59	67	71
38	40	42	39	33	40	48	52	53
34	36	40	40	31	37	45	60	72
34	32	35	35	30	33	40	57	69
32	28	27	34	22	30	35	56	68

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Curva Isolux da quadra poliesportiva - UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no software Surfer.

O retângulo preto da Figura 13 representa a luminária queimada. Através da Tabela 5 e da Equação (1), foi possível calcular o valor da iluminância média e uniformidade da quadra, apresentado na Tabela 6.

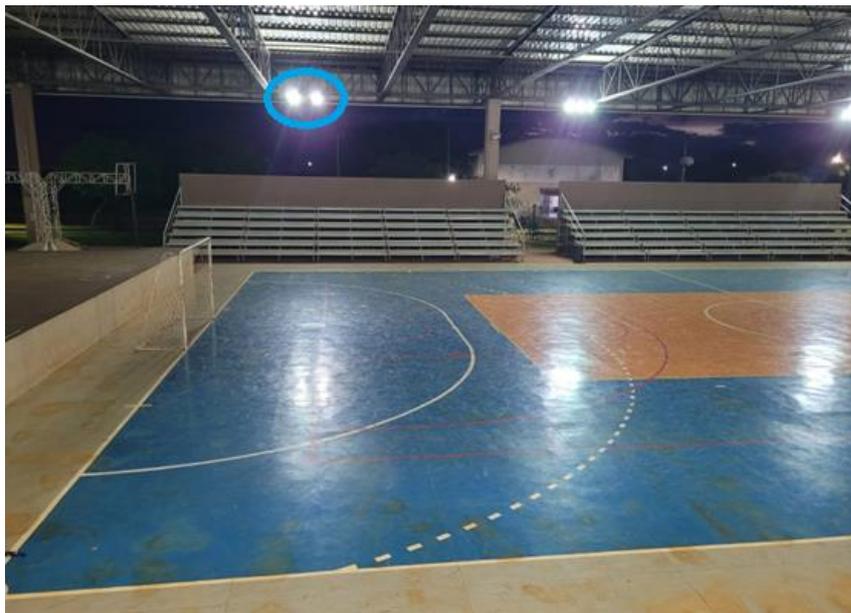
Tabela 6 - Indicadores luminotécnicos medidos na quadra poliesportiva - UFGD

$E_{MÁX}$ (lx)	E_{MIN} (lx)	E_{MED} (lx)	U
72,0	26,0	45,85	0,57

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na Figura 13 e Tabela 6, o sistema de iluminação da quadra poliesportiva da UFGD apresenta uma iluminância de 15% do total exigido, não atendendo, assim, aos requisitos da norma NBR 8995-1. Este resultado pode ser atribuído ao ano de instalação (2010), reduzida manutenção do sistema e pela disposição e orientação das luminárias na quadra. Observou-se uma luminária queimada (Figura 14), o ângulo de orientação do fecho luminoso quase paralelo a quadra (Figura 12), bem como a distância de 14,5 m até o início da demarcação do esporte, como possíveis causas do baixo nível de iluminação encontrado.

Figura 14 - Sistema de iluminação defeituoso atual - UFGD



Fonte: Fotografado pelo autor.

4.1.2 Parametrização pelo método dos lúmens - UFGD

Por meio da sequência apresentada no Item 3.3 correspondente ao método dos lúmens, foram realizadas análises para parametrização dos resultados medidos, calculados e simulados. No entanto, é importante destacar que o método dos lúmens considera somente a iluminância média do ambiente em análise, não levando em conta outras variáveis relevantes, tais como uniformidade e ofuscamento do sistema. Para contornar essa limitação, é imprescindível utilizar ferramentas computacionais, como o software DIALUX, capazes de considerar múltiplas variáveis, incluindo a disposição das luminárias, de forma que é possível se obter uma avaliação mais completa e precisa da iluminação em questão.

4.1.2.1 Índice do Local (K) e Relação de Cavidade do Recinto (RCR)

Para a determinação do índice do local (K), foi preciso conhecer as dimensões das quadras esportivas e a utilização das Equações (5) e (6). Para a quadra da UFGD, foi considerada a distância dos refletores até lateral da quadra (superfície da área de esporte). Os resultados estão detalhados na Tabela 7.

Tabela 7 – Dimensões, índice K e RCR para a quadra poliesportiva - UFGD

Ambiente	C (m)	L (m)	H (m)	K	RCR
Refletores UFGD	32,0	20,0	14,5	0,85	5,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.2 Refletor Vapor Metálico (VM)

Para este estudo, em razão do desconhecimento do modelo exato atual, optou-se em utilizar a GW85404M 400W MT da Gewiss, uma luminária semelhante, apresentada na Figura 15, com suas características técnicas dispostas na Tabela 8.

Figura 15 - Luminária GW85404M 400W MT da Gewiss



Fonte: DIALUX GEWISS, 2023.

Tabela 8 - Ficha técnica da luminária GW85404M 400W MT

Potência (W)	400
Fluxo Luminoso (lm)	24430
Eficiência Luminosa (lm/W)	57
Temperatura da Luz (K)	4500
Índice de Reprodução de Cor	95
Vida Útil (h)	15.000
Facho	60°

Fonte: DIALUX GEWISS, 2023.

4.1.2.3 Refletância do ambiente

Levando em consideração as Figura 11 e Figura 14 da quadra poliesportiva da UFGD, foi considerado 0%, 0% e 0% para as refletâncias do teto, paredes e piso, por se tratar de um ambiente aberto e com cores relativamente neutras e escuras.

4.1.2.4 Fator de Utilização (F_U)

Vale ressaltar que as empresas do segmento de iluminação estão deixando de produzirem e comercializarem tecnologias convencionais de iluminação, como lâmpadas de descarga, de forma que a solução para o desenvolvimento do cálculo foi a utilização de equipamentos antigo, e que possuíam base técnica disponível para consulta. Assim, o Fator de utilização representado na Tabela 9 refere-se a uma luminária vapor de sódio industrial de 400 W.

Tabela 9 – Fator de utilização - SDK 472 – SON 400W

ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,39	0,35	0,32	0,39	0,35	0,32	0,35	0,32	0,31
0,80	0,46	0,42	0,39	0,45	0,42	0,39	0,41	0,39	0,38
1,00	0,51	0,47	0,45	0,50	0,47	0,44	0,47	0,44	0,43
1,25	0,56	0,52	0,50	0,55	0,52	0,49	0,51	0,49	0,48
1,50	0,59	0,56	0,53	0,58	0,55	0,53	0,54	0,52	0,51
2,00	0,63	0,61	0,59	0,62	0,60	0,58	0,59	0,57	0,56
2,50	0,65	0,63	0,62	0,64	0,62	0,61	0,62	0,60	0,59
3,00	0,67	0,65	0,64	0,66	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61
4,00	0,69	0,67	0,66	0,67	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63
5,00	0,70	0,68	0,67	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64

Fonte: ENGENHERIA, 2019.

Para a determinação do Fator de Utilização (F_U), a partir do índice do local (K) calculado (0,85), encontra-se, por interpolação, a intersecção da refletância (0, 0, 0), obtendo-se 0,39.

4.1.2.5 Fator de Manutenção (F_M)

A norma NBR 8995-1:2013, Tabela D-4, recomenda a composição do fator de manutenção de lâmpadas VM conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Fator de manutenção NBR 8995-1:2013

F_{LL} (F.M lúmens das lâmpadas)	0,81
F_{SL} (F.M sobrevivência das lâmpadas)	1
F_L (F.M luminárias)	0,74
F_{SA} (F.M superfície do ambiente)	0,83
F_M	0,50

Fonte: Adaptado pelo autor, (ABNT, 2013).

Para encontrar tais valores, a norma considera carga de poluição normal no ambiente; ciclo de manutenção de dois anos; 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 4.000 h; substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira.

Entretanto, é importante salientar que o sistema de iluminação da UFGD foi instalado em 2010 e, somado à disposição e orientação das luminárias desfavorável a eficiência do sistema, com índice de sujeidade maior do que o esperado, os resultados podem ser menores do que o desejado.

Rearranjando a Equação (8) e utilizando as variáveis apresentadas no Item 4.1.2, foi possível calcular o Fator de manutenção do sistema de iluminação da quadra poliesportiva da UFGD, atendendo os valores medidos apresentados no item 4.1.1. O resultado é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Cálculo do Fator de Manutenção - UFGD

Ambiente	E_m (lx)	A (m ²)	Φ (lm)	F_U	N	F_M
Refletores UFGD	45,85	1.280	24.430	0,39	17	0,36

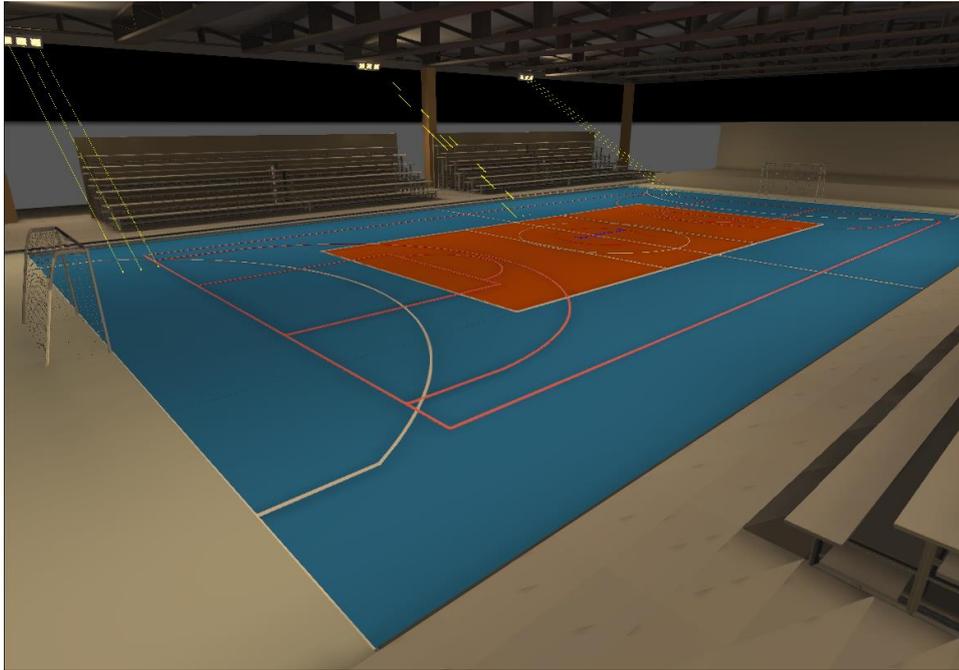
Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar que, embora a iluminação da quadra seja o principal objetivo, a luz é distribuída no ambiente, de forma que a área utilizada para o cálculo compreende o ginásio esportivo. A partir do número de luminárias em funcionamento, encontrou-se o Fator de manutenção de 0,36.

4.1.3 Parametrização utilizando o DIALUX – Ginásio UFGD

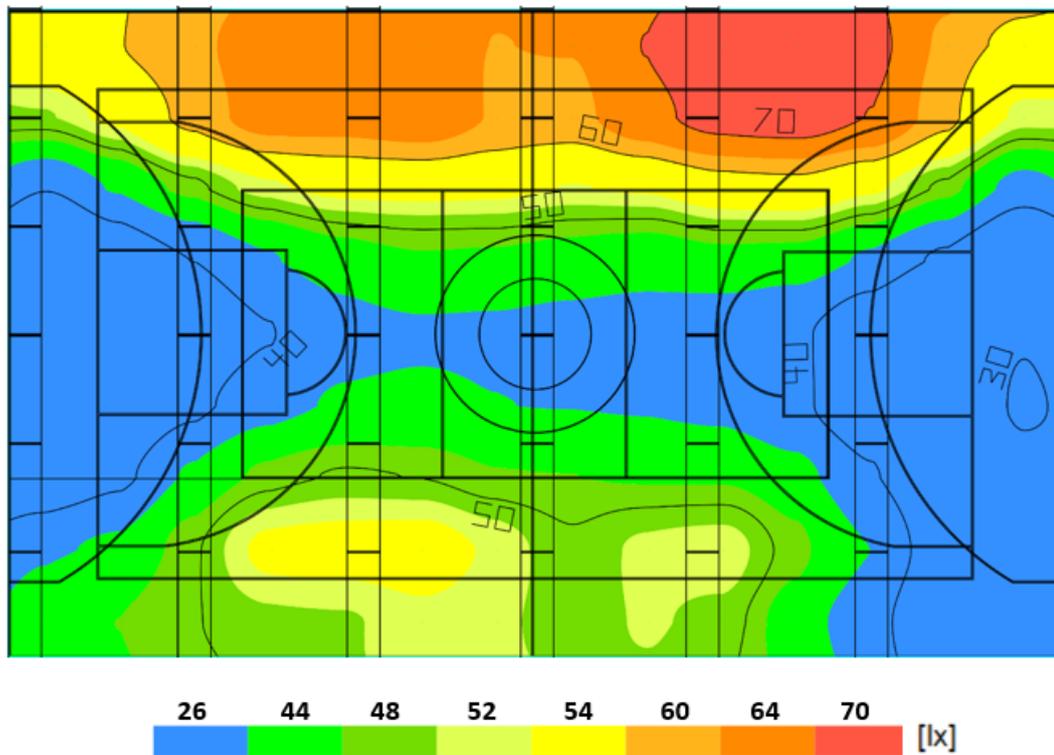
Com o propósito de efetuar uma comparação entre as medições realizadas por meio do luxímetro e os cálculos conduzidos por meio do método dos lúmens, foi procedida uma simulação no software DIALUX com 17 luminárias GW85404M 400W MT da Gewiss e Fator de manutenção igual 0,36. O resultado está apresentado nas Figura 16, Figura 17 e Tabela 12.

Figura 16 – Simulação no DIALUX da quadra poliesportiva - UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 17 – Simulação no DIALUX das cores falsas da quadra poliesportiva - UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

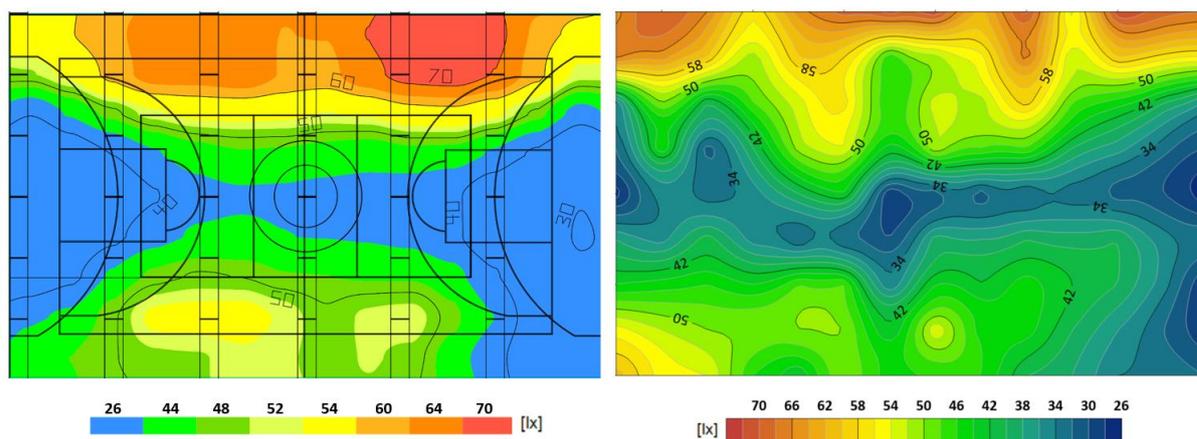
Tabela 12 - Parametrização dos métodos utilizados para a quadra poliesportiva - UFGD

Parametrização	F_M	$E_{MIN} (lx)$	$E_{MÁX} (lx)$	$E_{MED} (lx)$	U
Medição com Luxímetro	-	26,0	72,0	45,85	0,57
Método dos Lúmens	0,36	-	-	45,85	-
Simulação DIALUX	0,36	29,70	73,80	48,90	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, então, a partir da Tabela 12, a semelhança nos resultados das iluminância média e a uniformidade obtidos através dos três métodos: medição, método dos lúmens e simulação. Sobretudo, comparando-se as curvas Isolux (em cores falsas) da Figura 18 é possível observar diferenças decorrentes, provavelmente, do modelo de luminária adotado e real, bem como dos ângulos de orientação dos equipamentos reais e simulado.

Figura 18 - Comparação das curvas Isolux (em cores falsas) simulado e medido - UFGD

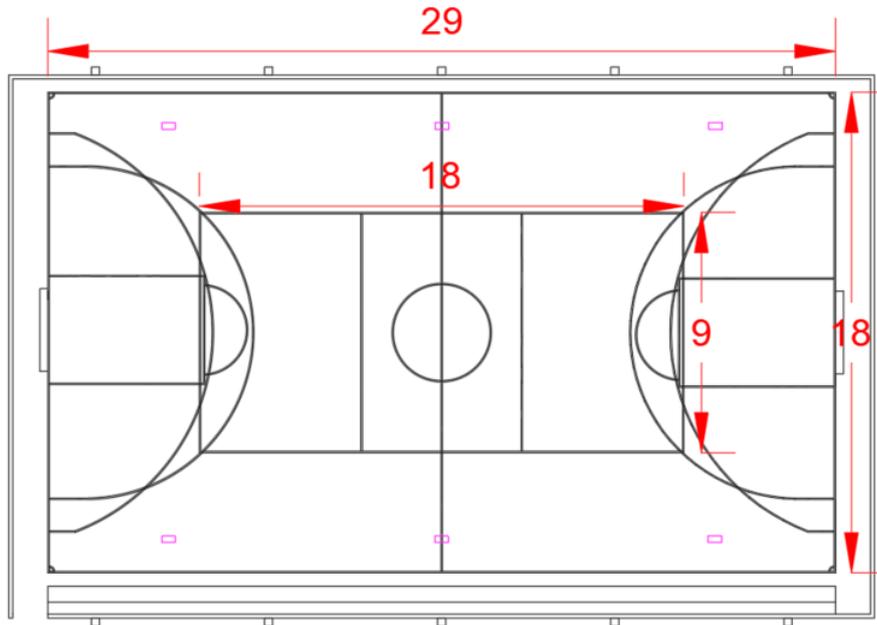


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 QUADRA POLIESPORTIVA - EERV

A quadra poliesportiva da Escola Estadual Reis Veloso (EERV) é uma área coberta utilizada pelos estudantes para recreação e partidas amistosas. A planta baixa está representada na Figura 19.

Figura 19 – Planta baixa da quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Elaborado pelo Autor no AutoCad.

A quadra possui 12 luminárias de LED com potências e modelos variados, posicionadas em seis pontos, agrupadas duas a duas, conforme apresentado pela Figura 19 e Figura 20.

Figura 20 - Iluminação atual da quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Fotografado pelo autor.

4.2.1 Sistema de iluminação atual – EERV

Os mesmos processos e análises utilizados no ginásio da UFGD foram repetidos para a quadra poliesportiva da Escola Estadual Reis Veloso. A Tabela 13 apresenta as dimensões da malha utilizada, com seus valores arredondados.

Tabela 13 - Dimensões da malha de medição da quadra poliesportiva - EERV

Comprimento (m)	Largura (m)	Dimensão da Malha (p)	Número de Pontos (n_D)	Número de Pontos (n_d)	Total de Pontos
29,0	18,0	2,10	14	9	126

Fonte: Elaborado pelo autor.

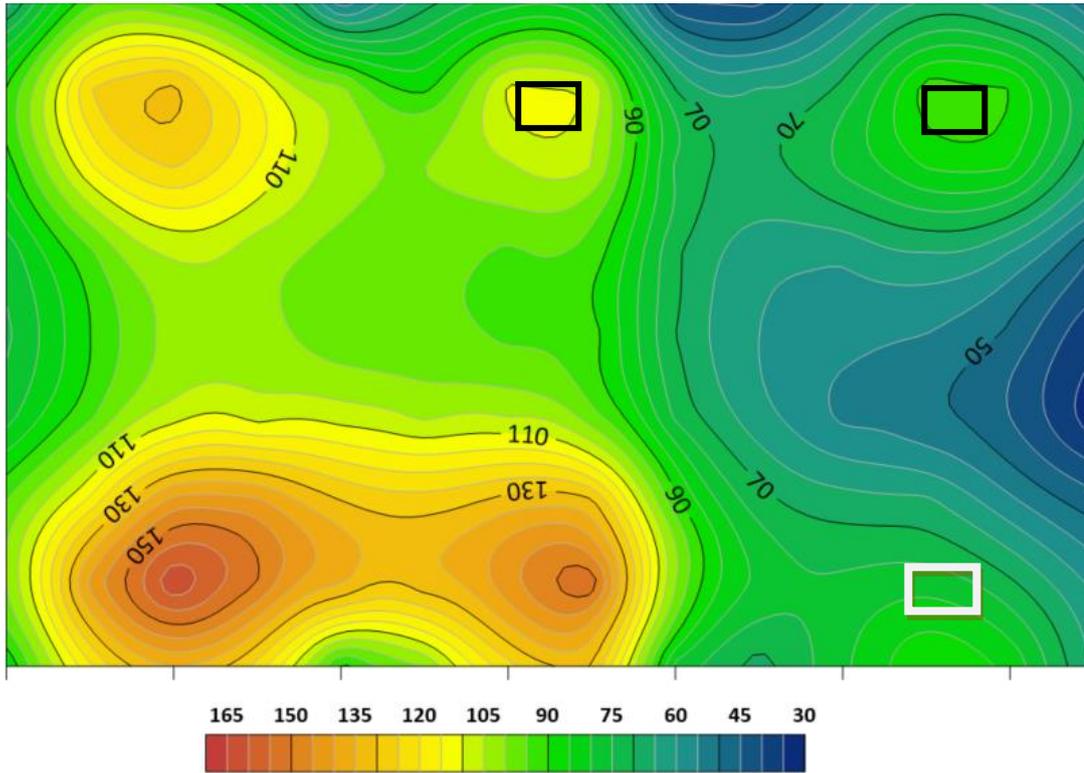
Os resultados das medições estão dispostos na Tabela 14 e, para uma melhor visualização, a Figura 21 apresenta a curva Isolux do ambiente.

Tabela 14 - Iluminâncias medidas em lux na quadra poliesportiva - EERV

51	69	64	45	36	35	47	59	64
61	90	85	60	49	45	56	71	84
66	92	85	65	55	51	66	78	90
53	71	76	61	57	54	67	76	79
39	65	69	62	60	62	72	79	68
40	69	74	71	70	74	91	100	78
75	109	105	93	92	97	131	154	130
78	111	104	94	94	105	132	143	123
68	88	100	97	97	104	127	133	100
52	101	102	98	97	108	130	136	88
81	114	114	102	102	108	141	150	123
94	131	125	106	102	108	142	164	135
94	125	114	94	90	94	116	142	119
63	90	87	77	74	78	95	100	85

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Curva Isolux da quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Elaborado pelo autor no Surfer.

Os retângulos na Figura 21 representam as luminárias defeituosas da quadra, sendo os pretos as luminárias queimadas e o branco a luminária com o suporte quebrado.

Através da Tabela 14 e da Equação (1) foi possível calcular a iluminância média e a uniformidade da quadra, apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Indicadores luminotécnicos medidos na quadra poliesportiva - EERV

$E_{MÁX}$ (lx)	E_{MIN} (lx)	E_{MED} (lx)	U
164,0	35,0	89,13	0,39

Fonte: Elaborado pelo autor.

A iluminância média de 89,13 lx representa 30% do valor definido pela NBR 8995-1:2013 (300 lx) – a curva Isolux, ilustrada na Figura 21, demonstra as áreas com iluminância abaixo da média medida na região do gol, onde se encontram as lâmpadas queimadas. Observa-se, ainda, que há uma baixa uniformidade, 0,39, enquanto espera-se 0,7. As condições de iluminação e uniformidade encontradas podem ser consideradas devido a necessidade de manutenção do sistema (Figura 22 e Figura 23) – luminárias queimadas ou

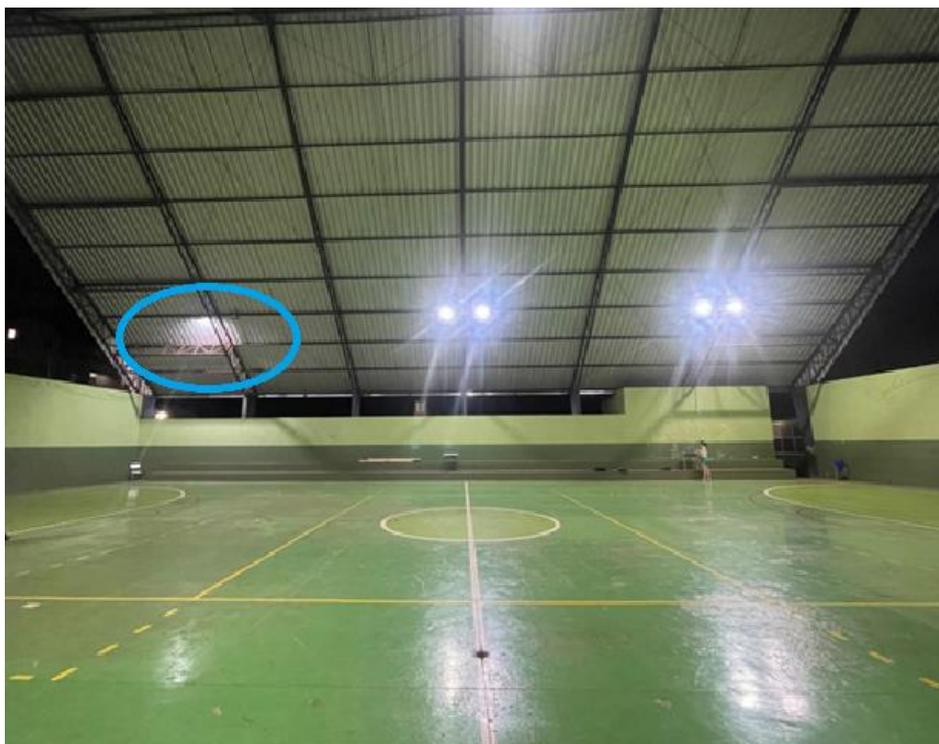
com orientação inadequada, falta de padronização dos modelos e potências e a disposição dos equipamentos em agrupamentos, sobretudo, demasiadamente afastados.

Figura 22 – Luminárias defeituosas atuais na quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Fotografado pelo autor.

Figura 23 – Suporte defeituoso atual na quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Fotografado pelo autor.

Observa-se, por fim, que a utilização da tecnologia LED não garante a iluminância e a uniformidade necessárias – desta forma, um estudo e projeto luminotécnico adequado devem ser desenvolvimentos para o atendimento dos requisitos da norma, propiciando, assim, segurança e qualidade nas atividades esportivas desenvolvidas no ginásio.

4.2.2 Parametrização pelo método dos lúmens – EERV

Os mesmos processos e análises utilizados no ginásio da UFGD foram repetidos para a quadra poliesportiva da Escola Estadual Reis Veloso

4.2.2.1 Índice do Local (K) e Relação de Cavidade do Recinto (RCR)

Para a determinação do índice do local (K) e a Relação de Cavidade do Recinto (RCR) foi preciso conhecer as dimensões da quadra esportiva apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Dimensões e índice K e RCR para a quadra - EERV

Ambiente	C (m)	L (m)	H (m)	K	RCR
Refletores EERV	29,0	18,0	6,5	1,71	2,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2.2 Refletor LED

Para este estudo, em razão do desconhecimento dos modelos exatos instalados, ou que disponham dos arquivos e catálogos para dimensionamento, optou-se em utilizar a LEX06-S1M850FWX da Lumicenter (2023), luminária semelhante a apresentada na Figura 24, cujas características técnicas estão dispostas na Tabela 17.

Figura 24 – Luminária LEX06-S1850FWX



Fonte: LUMICENTER, 2023a.

Tabela 17 – Ficha técnica da luminária LEX06-S1850FWX

Potência (W)	75
Fluxo Luminoso (lm)	8620
Eficiência Luminosa (lm/W)	115
Temperatura da Luz (K)	5000
Índice de Reprodução de Cor	> 80
Vida Útil (h)	50.000
Facho	110°

Fonte: Adaptado pelo autor, LUMICENTER, 2023a.

4.2.2.3 Refletância do ambiente

Considerando as Figura 20, Figura 22 e Figura 23 da quadra poliesportiva da EERV, utilizou-se as refletâncias do teto, parede e piso iguais a 30%, 30% e 20%, uma vez que se trata de ambiente fechado e com cores neutras e claras.

4.2.2.4 Fator de Utilização (Fu)

Para este caso, o fator de utilização da luminária LEX06-S1M850FWX está representado na Tabela 18.

Tabela 18 – Fator de utilização LEX06-S1M850FWX

Teto (%)	70			50			30			0	
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
Chão (%)	20			20			20			0	
RCR	Fator de Utilização (%)										
0	117	117	117	111	111	111	111	107	107	107	100
1	103	99	96	99	96	93	95	92	90	85	
2	90	84	79	87	82	77	83	79	75	72	
3	80	72	66	77	70	65	74	68	64	61	
4	71	63	56	68	61	56	66	60	55	52	
5	63	55	49	61	54	48	59	53	48	45	
6	57	49	42	55	48	42	53	47	42	39	
7	52	43	38	50	43	37	49	42	37	35	
8	47	39	33	46	38	33	45	38	33	31	
9	43	35	30	42	35	30	41	34	30	28	
10	40	32	27	39	32	27	38	31	27	25	

Fonte: LUMICENTER, 2023a.

O Fator de Utilização (Fu), é obtido pela interpolação do RCR (2,93) com a intersecção da refletância considerada (30, 30, 20), resultando em 0,69.

4.2.2.5 Fator de Manutenção (F_M)

A norma NBR 8995-1 não especifica valores de referência para luminárias LED, entretanto, levando em consideração o fator de manutenção padrão do DIALUX e o apresentado por LUTERLED (2022), foi definido 0,80.

Entretanto, é importante salientar que o sistema de iluminação da EERV foi instalado em 2009 e desde então houve reparos, manutenções e substituições dos equipamentos, segundo a escola.

Utilizando-se a Equação (8) e os valores apresentadas no Item 4.2.2, foi possível calcular o Fator de manutenção com base no cálculo do número de luminárias utilizadas na quadra poliesportiva da EERV, atendendo os dados apresentados no item 4.2.1. O resultado é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Cálculo do Fator de manutenção - EERV

Ambiente	E_m (lx)	A (m ²)	\emptyset (lm)	F_U	N	F_M
Refletores Reis Veloso	89,13	522	8.620	0,69	10	0,78

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante destacar que o F_M obtido para o sistema de iluminação é similar ao valor calculado, possuindo uma diferença de 2,5%.

4.2.3 Parametrização pela Simulação no DIALUX – EERV

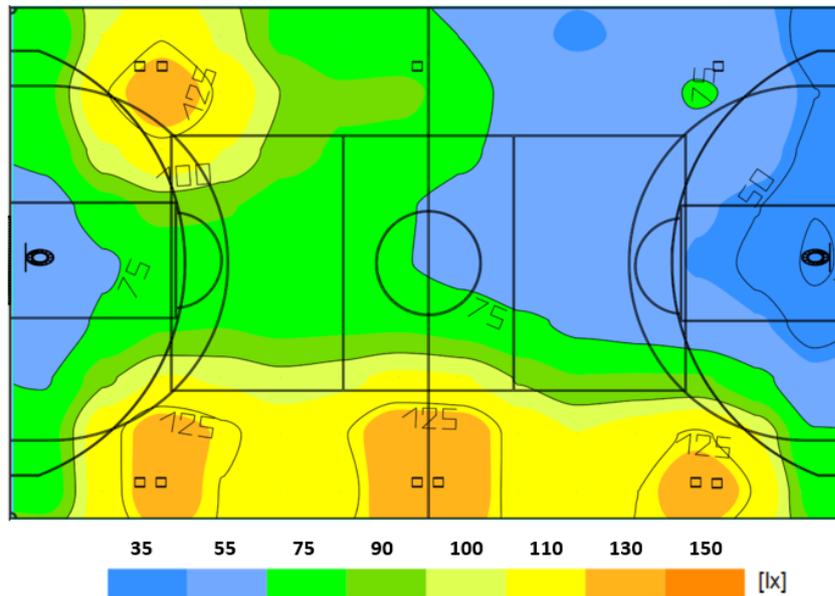
Por fim, o software DIALUX foi utilizado para a simulação do projeto luminotécnico do ginásio empregando 10 luminárias modelo LEX06-S1M850FWX, fabricadas pela Lumicenter, com o fator de manutenção obtido pelas medições no local e o cálculo para aferição dos dados (0,78). Os resultados estão apresentados nas Figura 25, Figura 26 e Tabela 20.

Figura 25 – Simulação no DIALUX da quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 26 – Simulação no DIALUX das cores falsas da quadra poliesportiva - EERV



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Tabela 20 – Parametrização dos métodos utilizados para a quadra poliesportiva - EERV

Parametrização	F_M	$E_{MIN} (lx)$	$E_{MÁX} (lx)$	$E_{MED} (lx)$	U
Medição com Luxímetro	-	35,0	164,0	89,13	0,39
Método dos Lúmens	0,78	-	-	89,13	-
Simulação DIALUX	0,78	38,6	142,0	88,0	0,44

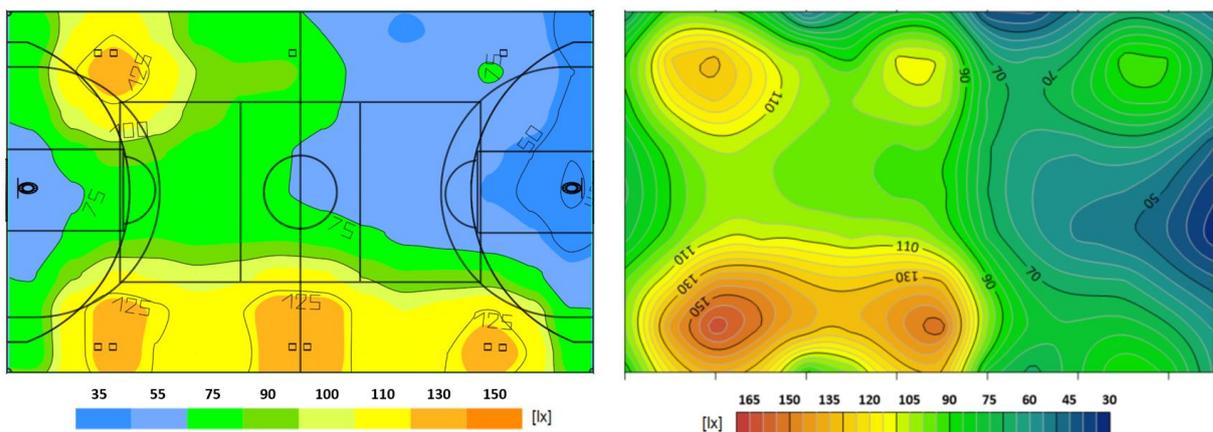
Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme esperado, a determinação do Fator de Manutenção através do levantamento de campo conduz à similaridade entre os valores de medição, cálculo pelo método dos lúmens e pela simulação através do DIALUX. Sobretudo, o valor verificado do F_M (0,78) está próximo ao padrão utilizado pelo DIALUX e disponível na bibliografia.

A Uniformidade, por sua vez, não definida pelo Método dos Lúmens, diferem em 12,8% entre o medido (e calculado) e o simulado. A variação observada, também verificada nas curvas Isolux da Figura 27, decorre da diferença entre o modelo da luminária instalada e simulada, em especial devido a distribuição do fluxo luminoso distinto de cada equipamento.

A partir da iluminância observada, conclui-se que o uso de uma tecnologia mais recente e eficiente não conduz a iluminação satisfatória – faz-se, sobretudo, necessário o estudo, cálculo luminotécnico e a manutenção adequados para o atendimento dos requisitos definidos pela norma NBR 8995-1.

Figura 27 - Comparação das curvas Isolux (em cores falsas) simulado e medido - EERV



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 READEQUAÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Considerando que a Iluminância e a Uniformidade dos ginásios esportivos da Unidade II da UFGD e da Escola Estadual Reis Veloso estão abaixo do definido pela norma NBR 8995-1, faz-se necessário o projeto e avaliação econômica dos sistemas. Para a avaliação econômica foi necessário, primeiro, a readequação dos sistemas existentes à norma e, posteriormente, a proposição de um projeto novo, de forma que as comparações mantenham o mesmo padrão de qualidade.

5.1 QUADRA POLIESPORTIVA UFGD: REFLETOR VAPOR METÁLICO (VM)

Para a análise da eficiência energética de ambas as tecnologias, mantém-se a iluminância de 300 lux, uniformidade de 0,7 e busca-se a diferença entre as potências dos sistemas, e seus respectivos consumos.

5.1.1 Índice do local (K)

Para o dimensionamento do novo sistema, foi considerado a altura das luminárias de 7,0 m, pois se encontram nas linhas laterais. Desta forma, o índice do local encontrado é apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Dimensões, índice K e RCR para a quadra poliesportiva - UFGD

Ambiente	C (m)	L (m)	H (m)	K	RCR
Refletores UFGD	32,0	20,0	7,0	1,76	2,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2 Refletor Vapor Metálico

Para este estudo, optou-se em utilizar a KSW 9.212.1072.00 da *Leipziger Leuchten* (2023), considerando apresentar a documentação e os arquivos necessários para a simulação; sobretudo, possui eficiência esperada para as lâmpadas VM 150 W. Sua representação está mostrada na Figura 28 e suas características técnicas na Tabela 22.

Figura 28 - Luminária KSW 9.212.1072.00



Fonte: LEUTCHTEN, 2023.

Tabela 22 - Ficha técnica da luminária KSW 9.212.1072.00

Potência (W)	150
Fluxo Luminoso (lm)	13.644
Eficiência Luminosa (lm/W)	80
Temperatura da Luz (K)	3.000
Índice de Reprodução de Cor	90
Vida Útil (h)	15.000

Fonte: LEUTCHTEN, 2023.

5.1.3 Fator de utilização (F_U)

Para se determinar o Fator de utilização, utilizou-se a Tabela 9 e, a partir da refletância (0, 0, 0) e do índice do local (K) (1,76), foi encontrado o valor de 0,54.

5.1.4 Fator de Manutenção (F_M)

Levando em consideração as informações contidas na tabela D-4 da norma NBR 8995-1:2013, representado pela Tabela 23, foi definido fator de manutenção de 0,7.

Tabela 23 - Fator de manutenção NBR 8995-1:2013

F_{LL} (F.M lúmens das lâmpadas)	0,81
F_{SL} (F.M sobrevivência das lâmpadas)	1
F_L (F.M luminárias)	0,90
F_{SA} (F.M superfície do ambiente)	0,96
F_M	0,70

Fonte: Adaptado pelo autor, (ABNT, 2013).

5.1.5 Cálculo do número de luminárias (VM)

Com as dimensões do local, fluxo luminoso (Φ) da lâmpada, F_U e F_M , utilizou-se a Equação (8) para o cálculo do número de luminárias necessários para atender o valor exigido pela norma NBR 8995-1:2013, 300 lux para a iluminância média. O resultado é apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Refletores VM necessários para atender a norma NBR 8995-1:2013 - UFGD

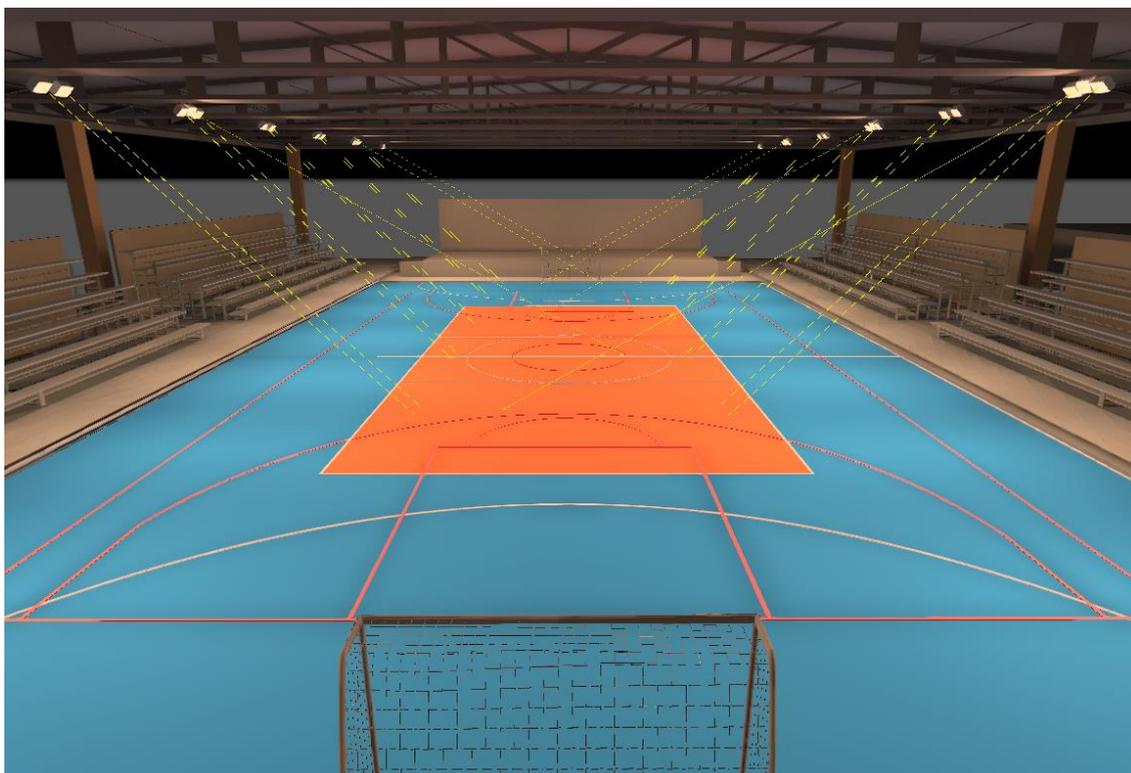
Ambiente	E_m (lx)	A (m ²)	Φ (lm)	F_U	F_M	N
Refletores UFGD	300,0	640,0	13.644	0,54	0,7	37,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.6 Simulação DIALUX – Proposta Vapor Metálico UFGD

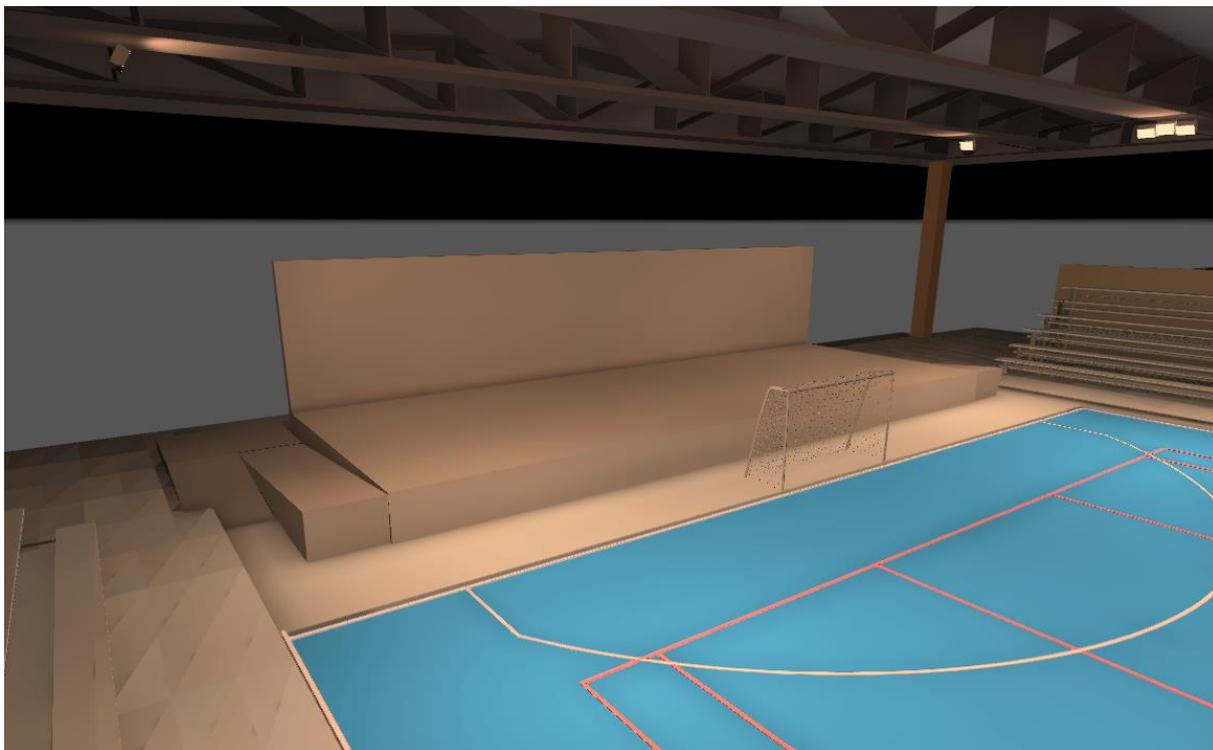
Foram empregadas 37 luminárias modelo KSW 9.212.1072.00 da Leipziger Leuchten e o fator de manutenção adotado foi de 0,70. Da totalidade das luminárias, apenas duas foi utilizada fora do entorno da quadra, com o intuito de iluminar a área de palco, que reside atrás de uma das linhas de fundo. O resultado está apresentado nas Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Tabela 25.

Figura 29 – Simulação da quadra no DIALUX – Projeto luminotécnico VM da UFGD



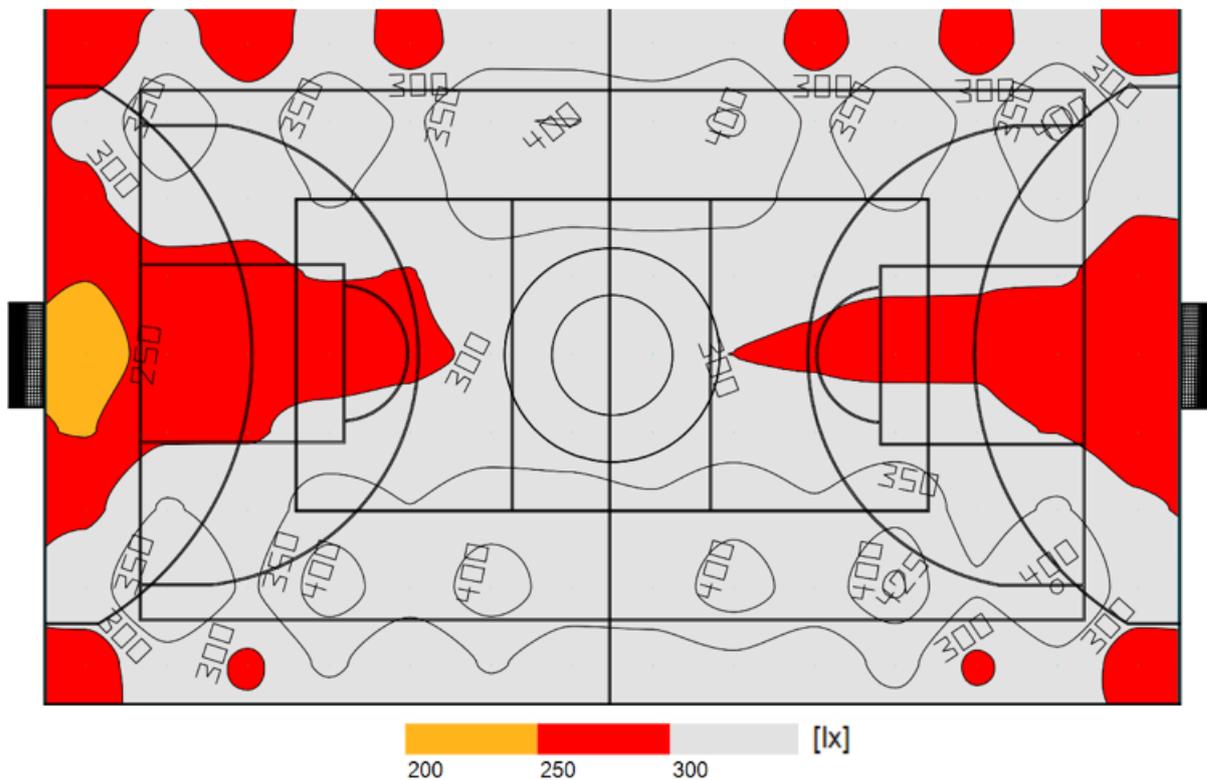
Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 30 – Simulação do palco no DIALUX – Projeto luminotécnico VM da UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 31 – Simulação em cores falsas no DIALUX – Projeto luminotécnico VM da UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

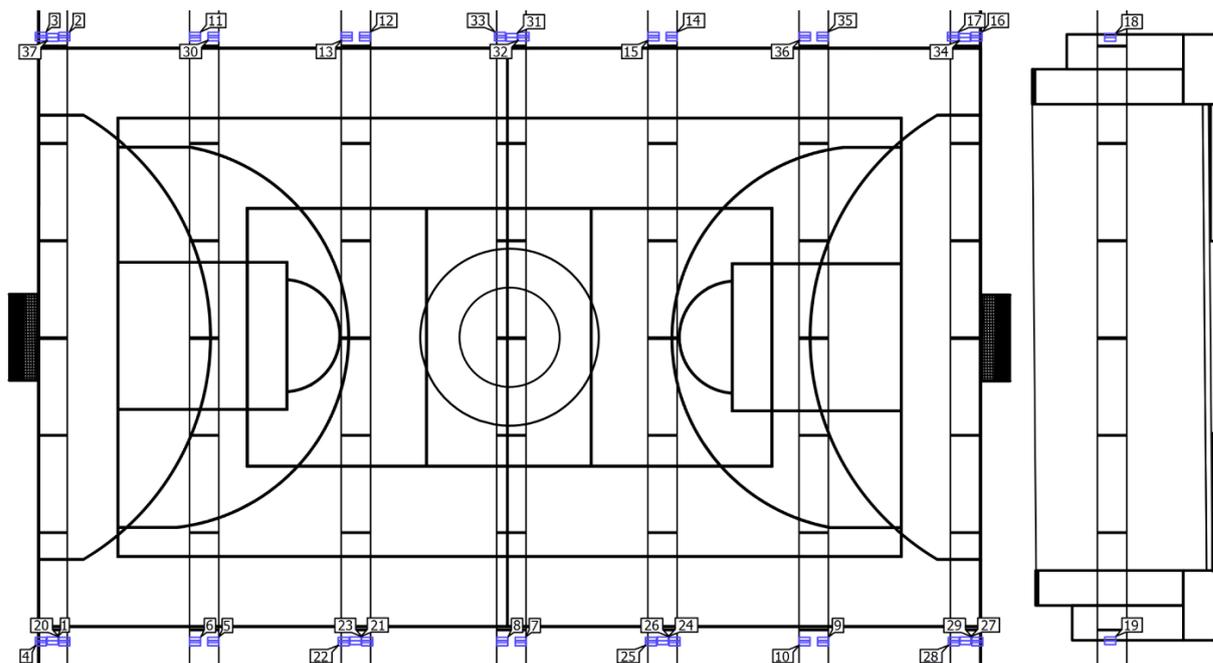
Tabela 25 – Indicadores – Projeto luminotécnico VM da UFGD

$E_{MÁX}$ (lx)	E_{MIN} (lx)	E_{MED} (lx)	U	GR
415	221	316	0,70	38

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos revelam-se adequados em relação aos critérios estabelecidos pela norma NBR 8995-1:2013, como demonstrado na Tabela 25, atendendo os valores mínimos de iluminância média de 300 lux, uniformidade de 0,7 e classificação do ofuscamento abaixo de 40. Considerou-se, ainda, a disposição dos refletores posicionados mais próximos da quadra, quando comparados aos equipamentos presentes atualmente, conforme evidenciado na Figura 32.

Figura 32 - Posicionamento dos refletores - Projeto luminotécnico VM da UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Com o objetivo de se aumentar a uniformidade do sistema de iluminação, foram realizadas avaliações para definir os ângulos ideais dos refletores. Constatou-se que, para os refletores agrupados em pares, e das extremidades do grupo de três, o ângulo ideal é 45°, enquanto os do centro destes grupos, é de 60° em relação ao plano horizontal. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 26.

Tabela 26 – Comparação dos métodos - Projeto luminotécnico VM da UFGD

Comparação	E_{MED} (lx)	U	Número de Luminárias
Método dos Lúmens	300	-	37,6
Simulação DIALUX	316	0,70	35

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando-se os resultados do Método dos Lúmens e pela simulação no Software DIALUX observa-se uma necessidade de 7,4% maior de luminárias para o primeiro, enquanto o segundo apresenta sua iluminância 5,3% superior, de forma que se conclui como satisfatório os resultados.

5.2 QUADRA POLIESPORTIVA UFGD: *HIGH-BAY* LED

O projeto luminotécnico novo do ginásio da Unidade II da UFGD considerou a utilização de um sistema de iluminação LED do tipo *High-bay*, como pode ser observado o cálculo e simulação disposto neste item.

5.2.1 Índice do local (K)

Foi considerada a distância entre a luminária (viga) e o plano de trabalho (piso), ou seja, a altura da luminária, 7,0 m. Os resultados se repetem e estão apresentados na Tabela 21.

5.2.2 *High-bay* LED - UFGD

Para o presente estudo, optou-se pela utilização de luminárias dispostas paralelas ao plano da quadra, sendo escolhido o modelo LHB20-S2M850FAX da Lumicenter (2023b), conforme ilustrada na Figura 33.

Figura 33 - Luminária LHB20-S2M850FAX da Lumicenter



Fonte: LUMICENTER, 2023b.

De acordo com a Lumaticenter, este modelo é recomendado para ambiente onde a altura de instalação das luminárias é acima de 6,0 m, como é o caso de quadras esportivas. As características técnicas da luminária estão apresentadas nas Tabela 27 e Tabela 28.

Tabela 27 - Ficha técnica da luminária LHB20-S2M850FAX

Potência (W)	150
Fluxo Luminoso (lm)	17.780
Eficiência Luminosa (lm/W)	119
Temperatura da Luz (K)	5.000
Índice de Reprodução de Cor	> 80
Vida Útil (h)	70.000
Facho	90°

Fonte: Adaptado pelo autor, LUMICENTER, 2023b.

Tabela 28 - Fator de utilização (FU) da luminária LHB20-S2M850FAX

Teto (%)	70			50			30			0	
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
Chão (%)	20			20			20			0	
RCR	Fator de Utilização (%)										
0	116	116	116	111	111	111	111	107	107	107	100
1	106	103	100	102	100	97	98	96	94	90	
2	96	91	87	93	89	85	90	86	83	80	
3	87	81	77	85	79	75	82	78	74	71	
4	79	73	68	77	71	67	75	70	66	63	
5	73	66	60	71	64	60	69	63	59	57	
6	66	59	54	65	58	54	63	58	53	51	
7	61	54	49	60	53	48	58	52	48	46	
8	56	49	44	55	48	44	54	48	44	42	
9	52	45	40	51	44	40	50	44	40	38	
10	48	41	37	47	41	37	46	40	36	35	

Fonte: LUMICENTER, 2023b.

O Fator de utilização (F_U) foi determinado pela interpolação do RCR (2,84), considerando as refletâncias (0, 0, 0) na Tabela 28. O resultado obtido foi 0,73.

5.2.3 Fator de Manutenção

Conforme apresentado no Item 4.2.2.5, para todas as luminárias LED, foi utilizado o Fator de manutenção igual a 0,80.

5.2.4 Cálculo do número de Luminárias (LED)

Com as dimensões do local, fluxo luminoso (Φ) da lâmpada, F_U e F_M , utilizou-se a (8) para o cálculo do número de luminárias necessários para atender o valor exigido pela norma NBR 8995-1:2013, 300 lux para a iluminância média. O resultado é apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 – LED *High-bay* UFGD - NBR 8995-1:2013

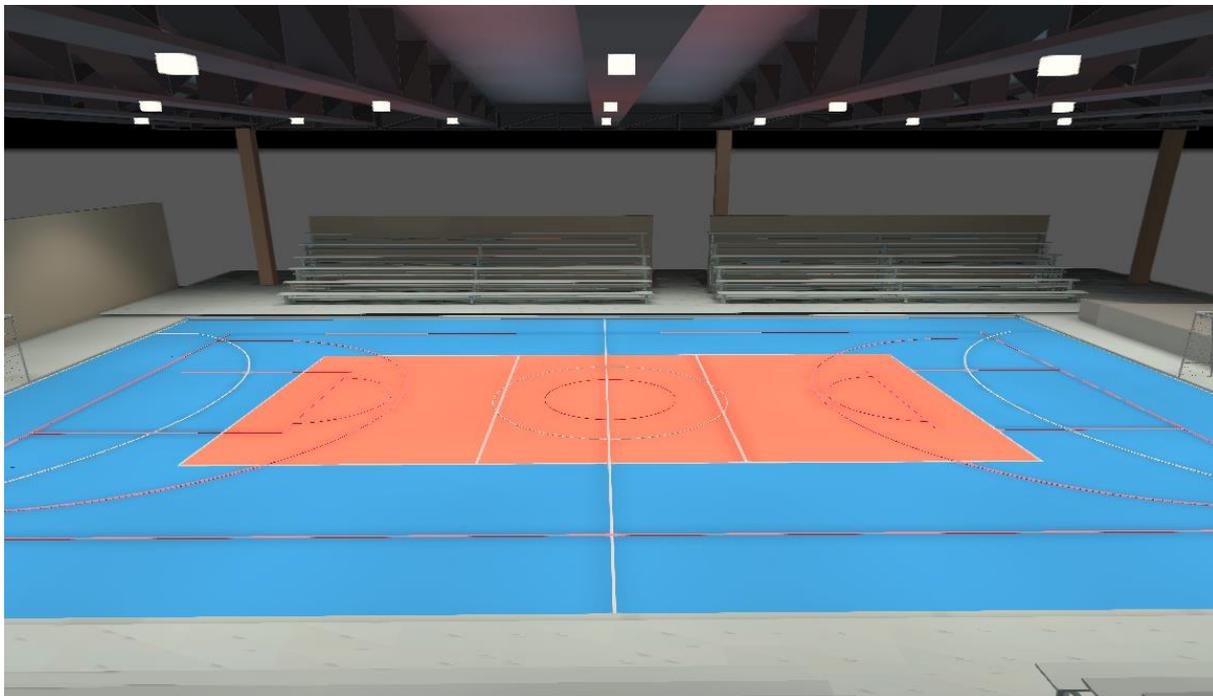
Ambiente	E_m (lx)	A (m ²)	Φ (lm)	F_U	F_M	N
UFGD	300	640	17.780	0,73	0,8	18,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.5 Simulação DIALUX – Proposta LED UFGD

Foi simulado 23 luminárias modelo LHB20-S3M850FAX, fabricadas pela Lumicenter e um fator de manutenção de 0,80. Duas luminárias, ainda, foram utilizadas fora da área da quadra para iluminar palco. Os resultados estão apresentados nas Figura 34, Figura 35, Figura 36 e Tabela 30.

Figura 34 – Simulação da quadra no DIALUX – Projeto luminotécnico LED da UFGD



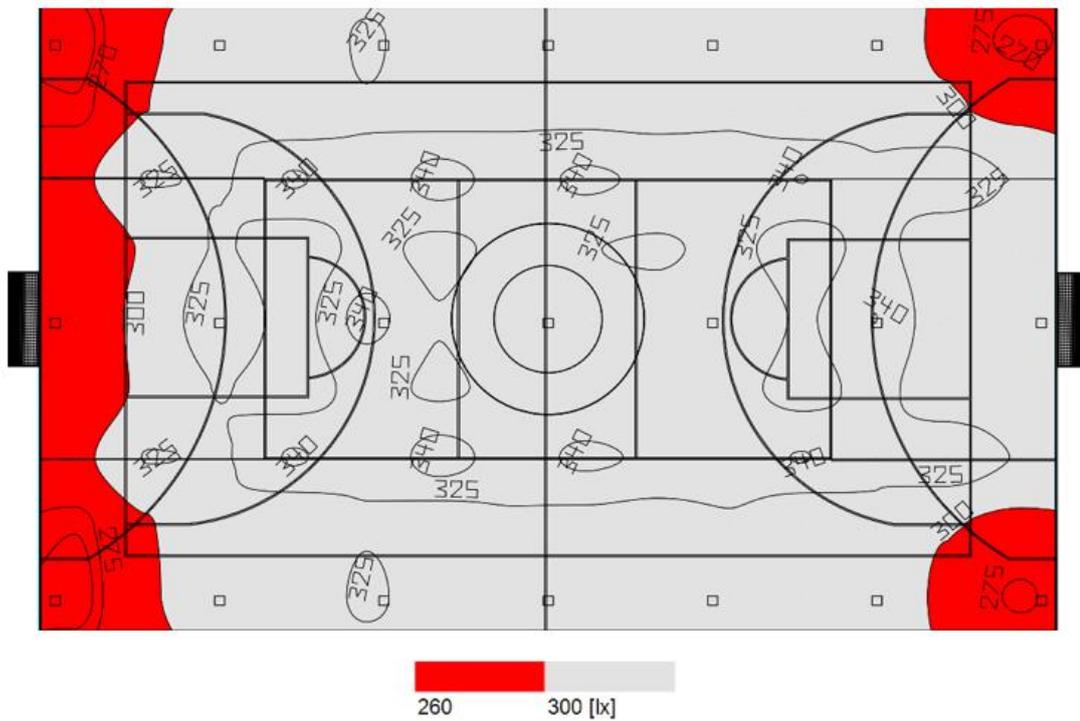
Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 35 – Simulação do palco no DIALUX – Projeto luminotécnico LED da UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 36 – Simulação em cores falsas no DIALUX – Projeto luminotécnico LED da UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

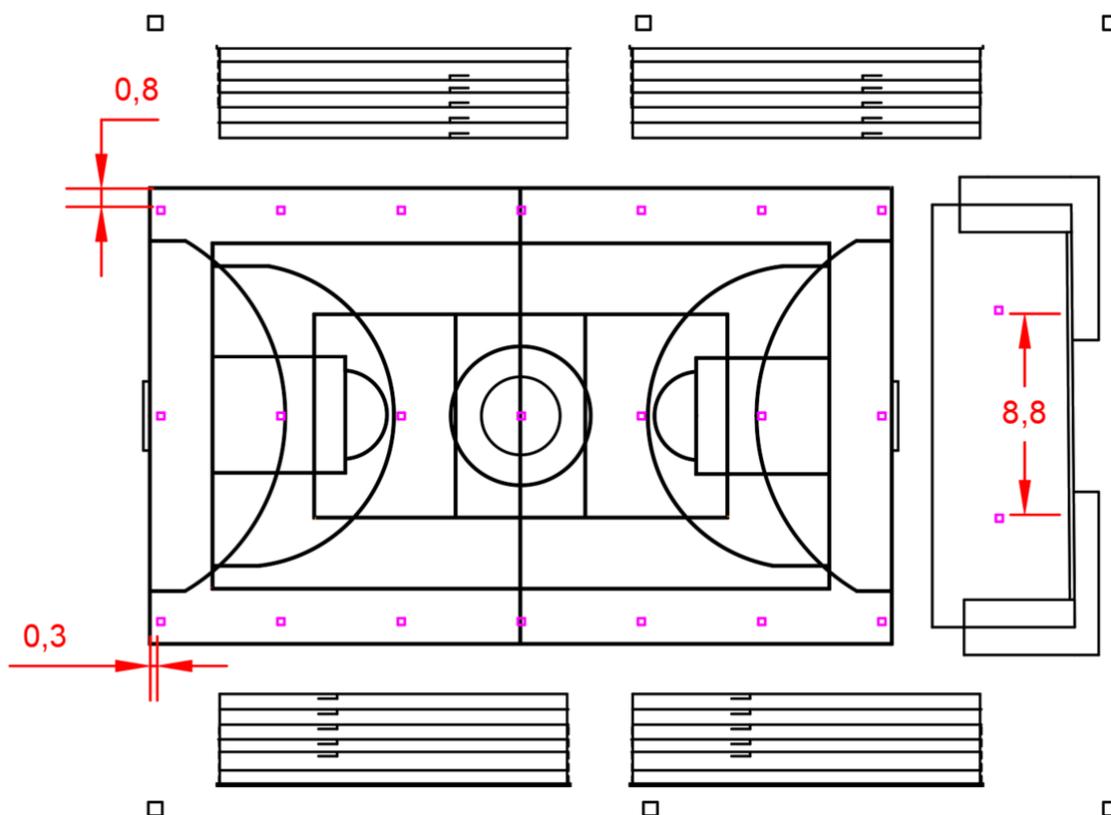
Tabela 30 – Indicadores – Projeto luminotécnico LED da UFGD

$E_{MÁX}$ (lx)	E_{MIN} (lx)	E_{MED} (lx)	U	GR
333	260	307	0,84	22

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os indicadores encontrados atendem a norma NBR 8995-1:2013, como mostra a Tabela 30 – iluminância média de 300 lux, uniformidade 0,84, ou seja, 20% acima do valor 0,7 esperado, e classificação de ofuscamento GR de 22, 45% melhor do esperado (40). Observa-se que as luminárias foram dispostas, ainda, priorizando a uniformidade de distribuição na quadra poliesportiva e garantindo a iluminância das arquibancadas laterais do ginásio, conforme apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Posicionamento das luminárias - Projeto luminotécnico LED da UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor no AutoCad.

A Tabela 31 apresenta a comparação dos resultados utilizando-se o Método dos Lúmens e pelo Software DIALUX. Observa-se, então, a necessidade de 12,9% maior no método da simulação, enquanto a iluminância média 2,3% maior. Considera-se, sobretudo, o resultado do Software mais preciso, uma vez que, tal diferença pode ser atribuída ao processo de obtenção da Relação de Cavidade do Recinto (RCR), que utiliza um volume de cálculo menor do que o definido pelas paredes do ginásio, e estas, por sua vez, não fecham completamente o ambiente – de forma a garantir as refletâncias sugeridas.

Tabela 31 - Comparação dos métodos utilizados para a quadra da UFGD

Comparação	E_{MED} (lx)	U	Número de Luminárias
Método dos Lúmens	300	-	18,6
Simulação DIALUX	307	0,84	21

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 GINÁSIO DA ESCOLA ESTADUAL REIS VELOSO: REFLETOR LED

O projeto luminotécnico novo do ginásio da Escola Estadual Reis Veloso (EERV) também considerou a utilização de um sistema de iluminação LED do tipo *High-bay*, cujos cálculos e simulações serão apresentados neste item.

5.3.1 Índice do Local (K) e Relação de Cavidade do Recinto (RCR)

Para o dimensionamento do novo sistema, foi considerada uma altura maior que a instalação atual para o aumento uniformidade, a saber, 7,5 m. Utilizando as Equações (5) e (6) e as dimensões da quadra poliesportiva, obtém-se os resultados na Tabela 32.

Tabela 32 – Dimensões, índice K e RCR para a quadra poliesportiva - EERV

Ambiente	C (m)	L (m)	H (m)	K	RCR
EERV	29,0	18,0	7,5	1,48	3,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2 High bay LED – EERV

Para a quadra EERV optou-se em utilizar a luminária LHB20-S3M850FWX, que possui um fecho de luz mais amplo, 110° (ilustração similar a disposta na Figura 33), em substituição ao uso de refletores conforme instalação atual. As características técnicas estão dispostas na Tabela 33 e Tabela 34.

Tabela 33 - Ficha técnica da luminária LHB20-S3M850FWX

Potência (W)	225
Fluxo Luminoso (lm)	25860
Eficiência Luminosa (lm/W)	115
Temperatura da Luz (K)	5000
Índice de Reprodução de Cor	> 80
Vida Útil (h)	70.000
Fecho	110°

Fonte: LUMICENTER, 2023c.

Tabela 34 - Fator de utilização (F_U) da luminária LHB20-S3M850FWX

Teto (%)	70			50			30			0	
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
Chão (%)	20			20			20			0	
RCR	Fator de Utilização (%)										
0	117	117	117	111	111	111	111	107	107	107	100
1	103	99	96	99	96	93	95	92	90	85	
2	90	84	79	87	82	77	83	79	75	72	
3	80	72	66	77	70	65	74	68	64	61	
4	71	63	56	68	61	56	66	60	55	52	
5	63	55	49	61	54	48	59	53	48	45	
6	57	49	42	55	48	42	53	47	42	39	
7	52	43	38	50	43	37	49	42	37	35	
8	47	39	33	46	38	33	45	38	33	31	
9	43	35	30	42	35	30	41	34	30	28	
10	40	32	27	39	32	27	38	31	27	25	

Fonte: LUMICENTER, 2023c.

Para a determinação do Fator de Utilização (F_U), assim como nos casos anteriores, obtém-se a interpolação do RCR obtido, 3,38, com o cruzamento da coluna das refletâncias (30, 30, 20). O valor obtido é, portanto, igual a 0,65 para o Fator de utilização da luminária.

5.3.3 Fator de Manutenção

Conforme considerado no projeto novo do ginásio da UFGD, o Fator de manutenção será igual a 0,80.

5.3.4 Cálculo do número de luminárias

Com as dimensões do local, fluxo luminoso (Φ) da lâmpada, F_U e F_M , utilizou-se a Equação (8) para o cálculo do número de luminárias necessários para atender o valor exigido pela norma NBR 8995-1, 300 lux para a iluminância média. O resultado são 12 luminárias, conforme apresentado na Tabela 35.

Tabela 35 – LED *High-bay* EERV - NBR 8995-1:2013

Ambiente	E_m (lx)	A (m ²)	Φ (lm)	F_U	F_M	N
<i>High-Bay</i> EERV	300	522	25.860	0,65	0,80	11,6

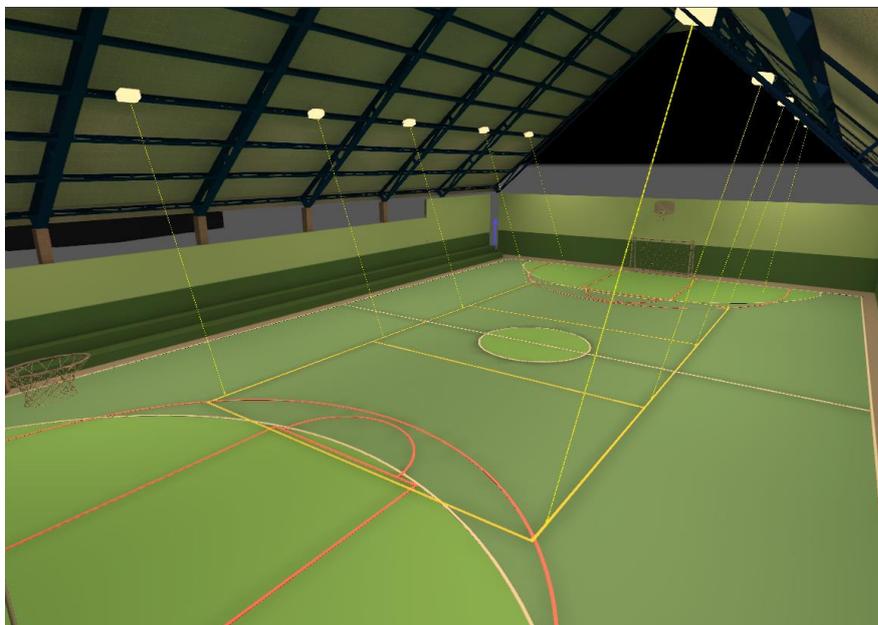
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.5 Simulação DIALUX – Proposta LED EERV

Realizou-se a simulação no software DIALUX utilizando-se as 12 luminárias calculadas pelo Método dos Lumens e mantendo o Fator de manutenção de 0,80. Alterou-se a

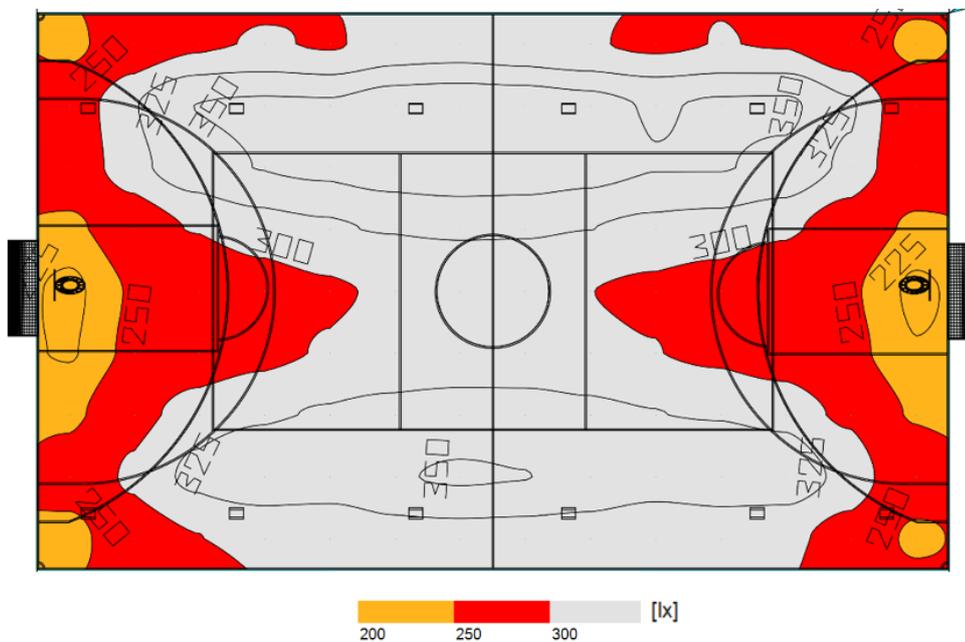
disposição das luminárias na quadra de forma a aumentar a uniformidade, uma vez que deve ser superior a 0,7. Os resultados estão dispostos nas Figura 38, Figura 39 e Tabela 36.

Figura 38 – Simulação da quadra no DIALUX - Projeto luminotécnico LED da EERV



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Figura 39 – Simulação em cores falsas no DIALUX - Projeto luminotécnico LED da EERV



Fonte: Elaborado pelo autor no DIALUX.

Tabela 36 – Indicadores – Projeto luminotécnico LED da EERV

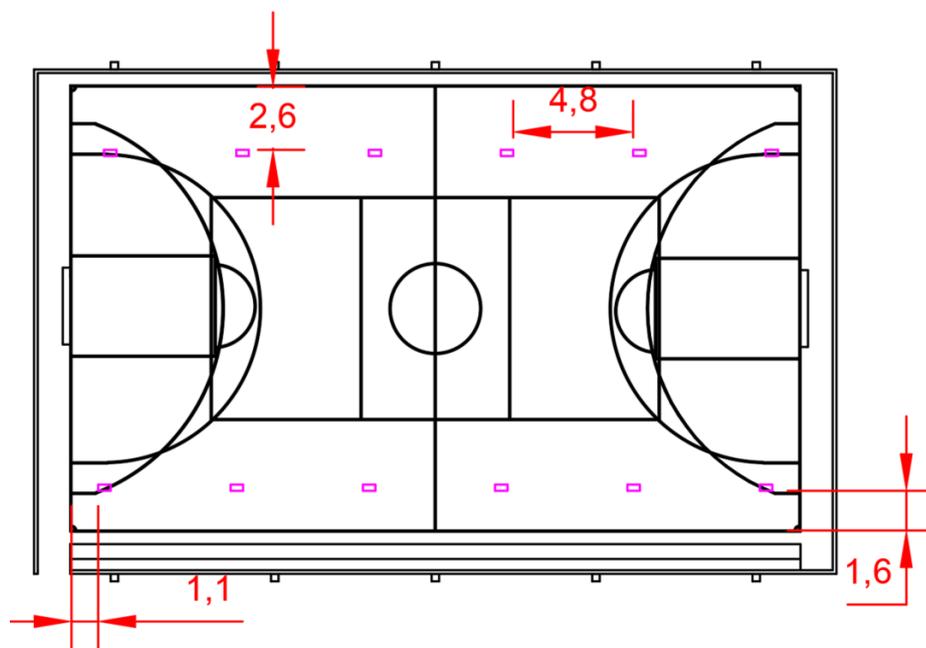
$E_{MÁX}$ (lx)	E_{MIN} (lx)	E_{MED} (lx)	U	GR
366	220	307	0,72	25

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos revelam-se adequados em relação aos critérios estabelecidos pela norma NBR 8995-1:2013, como demonstrado na Tabela 36, atendendo o valor mínimo de iluminância média de 300 lux, da uniformidade de 0,7, bem como, classificação do ofuscamento abaixo de 40.

Observa-se, ainda, que a uniformidade apresentada foi obtida a partir de simulações variando-se o ângulo de inclinação, uma vez que a alteração da posição dos equipamentos na quadra implicaria na variação da altura de fixação das luminárias, considerando a estrutura do telhado. Assim, as luminárias foram projetadas para serem distribuídas em duas fileiras ao longo da quadra conforme Figura 38 e Figura 40, sobretudo, o grupo instalado na parte inferior (do desenho) deverá orientar-se a 20° enquanto o superior 11° com o plano. A Tabela 37 apresenta a comparação entre os resultados pelo Método dos Lúmens e pela simulação utilizando o DIALUX.

Figura 40 – Posicionamento das luminárias LED – Projeto luminotécnico EERV



Fonte: Elaborado pelo autor no AutoCad.

Tabela 37 – Comparação dos métodos utilizados para a quadra da EERV

Comparação	E_{MED} (lx)	U	Número de Luminárias
Método dos Lúmens	300	-	11,6
Simulação DIALUX	307	0,72	12

Fonte: Elaborado pelo autor.

Constata-se, por fim, maior semelhança entre os resultados para ambas as metodologias – cálculo e simulação, do que no projeto da UFGD II. Observa-se que tal resultado se deve ao fato que o ginásio possui paredes clara que fecham quase todo o entorno e, principalmente, pela utilização do volume de projeto igual ao volume do ginásio abaixo das luminárias. Considera-se, sobretudo, que uma nova análise pode buscar o aumento do nível de iluminação nas áreas dos gols, uma vez que, embora a média atenda a norma, possui valores menores que o esperado, conforme pode ser observado nas curvas Isolux da Figura 39.

6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – GINÁSIO UFGD II

A análise de viabilidade econômica será desenvolvida considerando o benefício da economia da energia, e seu custo, comparado a diferença do investimento entre as propostas. Assim, será necessária obtenção dos investimentos e o cálculo dos consumos e custos operacionais dos projetos e, para isso, serão utilizados as potências e o tempo de funcionamento do sistema.

6.1 LEVANTAMENTO DO CONSUMO

Para se efetuar o cálculo do consumo energético da quadra esportiva da Universidade Federal da Grande Dourados Unidade II (UFGD II), foram considerados 219 dias letivos, conforme o calendário acadêmico referente ao ano de 2019 (ACS/UFGD, 2019), considerando os ajustes de calendário devida a pandemia de Covid-19. É importante ressaltar que a quadra esportiva se consiste em um ambiente aberto para luz natural, de forma o sistema de iluminação é ativado somente no horário de atividades do período noturno, 18h às 22h.

O levantamento do consumo foi realizado em três cenários distintos: o sistema atual, o sistema atual com correção para atendimento à norma NBR 8995-1:2013 e o sistema de iluminação proposto em LED. A Tabela 38 apresenta a potência, o número de horas de funcionamento e o consumo anual da quadra esportiva para cada um dos cenários.

Tabela 38 - Consumo anual do sistema atual, corrigido e proposto

	Potência (W)	Funcionamento (h)	Consumo anual (kWh)
Sistema Atual	7.200	876	6.307,2
Sistema VM	5.550	876	4.861,8
Sistema LED	3.450	876	3.022,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 38, a readequação do projeto, mesmo para a luminária Vapores Metálicos, e com o atendimento da norma NBR 8995-1: 2013, resulta em uma redução de 22,9% da potência do sistema. O novo projeto, utilizando-se *High-bay* LED, por sua vez, terá uma potência 52% menor que o sistema atual, destacando, sobretudo, a maior uniformidade e a maior vida útil dos equipamentos, que reduzem a necessidade de manutenção. Por fim, o projeto novo em LED possui 62,16% da potência da readequação em Vapores Metálicos, ou seja, 37,84% de economia.

6.2 INVESTIMENTO INICIAL

O preço das luminárias do sistema em LED foi obtido da empresa Lumicenter. As luminárias de vapor metálico, por sua vez, os custos de instalação, foram compostos a partir do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), apresentados no Apêndice A. Com base nos orçamentos obtidos e na quantidade de luminárias necessárias para a quadra esportiva, foi possível calcular o investimento inicial requerido para cada um, como demonstrado na Tabela 39.

Tabela 39 – Custo total inicial das duas propostas de iluminação - UFGD

Projeto	Custo de Aquisição (R\$)	Custo de Instalação (R\$)	Total (R\$)
Sistema Vapor Metálico	9.430,56	2.787,00	12.178,56
Sistema LED	18.426,46	2.787,00	21.213,46
Projeto Novo	8.995,90	0,00	9.034,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a Tabela 39, observa-se que a opção de menor custo inicial é o sistema com lâmpada vapor metálico. Sobretudo, a alteração por tecnologia mais eficiente deve ser avaliada quanto a sua viabilidade econômica considerando a economia no consumo e custo da energia, juntamente com uma maior vida útil do equipamento. Apresenta-se, assim, dois cenários: a reforma (ou *retrofit*), onde se considera o valor total dos materiais e serviços, e o projeto novo, onde é utilizado a diferença entre os custos (R\$ 9.034,90)

6.3 ECONOMIA ANUAL

Antes de se calcular a economia anual dos sistemas propostos, foi necessário obter o valor médio da tarifa de energia elétrica na unidade II da UFGD. Para tal, foram utilizadas as faturas de energia cedidas pela Prefeitura Universitária, considerando o período de janeiro a dezembro de 2022, e a relação entre a soma dessas faturas e o total de consumo no mesmo período. Conforme apresentado no Apêndice B, o preço médio da energia obtido foi de R\$ 2,51/kWh.

Destaca-se, ainda, que o preço médio foi obtido considerando a Usina Solar Fotovoltaica instalada na UFGD II. Assim, o consumo total da concessionária é obtido através

da média ponderada do preço médio do horário de ponta e fora de ponta, sobretudo, para este horário, foi subtraído o consumo injetado e somada a geração de energia.

Com base no consumo anual e no preço médio da energia elétrica, foi possível obter a Tabela 40, utilizada para a comparação entre os dois sistemas que atendem a norma NBR 8995-1.

Tabela 40 – Custo anual com energia do sistema corrigido e projeto em LED

	Consumo anual (kWh)	Preço Médio (R\$/kWh)	Custo Anual (R\$)
Sistema Vapor Metálico	4.861,8	2,51	12.208,12
Sistema LED	3.022,2	2,51	7.588,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como demonstrado na Tabela 40, o custo anual de energia elétrica para o sistema proposto em LED é inferior em R\$ 4.619,29 em comparação ao sistema readequado utilizando luminárias de vapor metálico. Esse resultado é significativo e reforça a necessidade da realização de uma análise econômica do investimento para auxiliar na tomada de decisão.

6.4 VIDA ÚTIL DO PROJETO

A vida útil utilizada para a análise do projeto considera o tempo da queima das lâmpadas VM (17 anos), sobretudo, o tempo de obsolescência da tecnologia empregada, utilizado como referência foi 15 anos. A Tabela 41 apresenta a vida útil dos equipamentos em horas e em anos, considerando 4 horas por 219 dias anuais.

Tabela 41 - Vida útil das luminárias propostas

	Vida útil das luminárias (h)	Horas/ano	Vida Útil (ano)
Sistema Vapor Metálico	15.000	876	17
Sistema LED	70.000	876	80

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os resultados das Tabela 41, as luminárias LED do novo sistema de iluminação possuem uma vida útil 4,7 vezes maior que as lâmpadas de vapor metálico. O período de análise de projeto definido, por fim, foi de 15 anos.

6.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A partir do item 3.4, foi calculado o fluxo de caixa para os dois sistemas de iluminação do ginásio. A avaliação é feita através do investimento inicial LED comparando a diferença da economia entre os custos anuais de cada proposta.

A taxa de juros utilizada foi o Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC), equivalente a 13,75% ao ano (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2023). O IPCA utilizado foi o acumulado dos últimos 12 meses, igual a 4,65% (IBGE, 2023). O aumento da tarifa de energia segundo a Solstício Energia (2023), entre 2015 a 2021, foi de 3,7% superior a inflação (IPCA) do mesmo período. A Tabela 42 apresenta as considerações feitas para o fluxo de caixa apresentado na Tabela 43.

Tabela 42 - Considerações para o fluxo de caixa

Cenário	Investimento Inicial (R\$)	Economia (R\$)	Taxa de desconto (%)	Aumento da Tarifa (%)	IPCA (%)
<i>Retrofit</i>	21.213,46	4.619,29	13,75%	8,35%	4,65%
Projeto novo	9.034,90				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 43 – Fluxo de caixa da avaliação econômica para *retrofit* de luminária VM para LED

Ano	RECEITA		DESPESA		FLUXO DE CAIXA	
	Reembolso (R\$)	Parcelas Fixas (R\$)	FC anual (R\$)	FC Descontado (R\$)	FC Acumulado (R\$)	
0		-				-21.213,46
1	4.619,29	-4.027,30	591,98	565,68		-20.647,78
2	5.005,00	-4.027,30	977,69	892,74		-19.755,04
3	5.422,91	-4.027,30	1.395,61	1.217,72		-18.537,33
4	5.875,73	-4.027,30	1.848,42	1.541,15		-16.996,18
5	6.366,35	-4.027,30	2.339,05	1.863,56		-15.132,62
6	6.897,94	-4.027,30	2.870,64	2.185,46		-12.947,16
7	7.473,92	-4.027,30	3.446,62	2.507,37		-10.439,79
8	8.097,99	-4.027,30	4.070,69	2.829,79		-7.610,00
9	8.774,17	-4.027,30	4.746,87	3.153,22		-4.456,78
10	9.506,82	-4.027,30	5.479,51	3.478,16		-978,62
11	10.300,64	0,00	10.300,64	6.247,88		5.269,25
12	11.160,74	0,00	11.160,74	6.468,78		11.738,03
13	12.092,66	0,00	12.092,66	6.697,49		18.435,52
14	13.102,40	0,00	13.102,40	6.934,28		25.369,80
15	14.196,45	0,00	14.196,45	7.179,45		32.549,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coluna de Reembolso da Tabela 43 é referente a economia de energia, definido pela diferença dos custos anuais entre o sistema LED e VM, atualizados pela taxa de reajuste da tarifa de 8,35%. A coluna de Despesas representa o financiamento em 10 Parcelas Fixas de R\$ 4.027,30, utilizando-se a taxa SELIC, igual a 13,75%. As demais colunas são referentes aos fluxos de caixas feitos a partir das equações apresentadas no item 3.4. De forma similar, é desenvolvida a análise para projeto novo, onde o investimento é a diferença entre os projetos (R\$ 9.034,90), obtendo-se, então, os indicadores econômicos apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 – Viabilidade econômica para *retrofit* e projeto novo com luminária LED

Cenário	Investimento Inicial (R\$)	Economia (R\$)	Payback Descontado (anos)	TIR (%)	VPL (R\$)
Retrofit	21.213,46	4.619,29	10,0	36,85	53.762,71
Projeto novo	9.034,90		3,0	107,53	71.923,20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados apresentados nas Tabela 43 e Tabela 44, indicam um VPL positivo a partir do décimo ano do investimento, ou seja, a economia gerada pelo sistema de iluminação LED supera o seu investimento inicial, acumulando esse benefício ao longo da vida útil do projeto R\$ 53.762,71. A TIR, por sua vez é igual a 36,85%, confirmando a viabilidade da proposta LED para *retrofit*, uma vez que a TMA considerada foi 13,75%.

De forma similar, a análise para um projeto novo, onde o investimento considerado é igual a diferença entre os projetos, tem-se: *Payback* descontado de 3,0 anos, TIR igual 107,53% e VPL de R\$ 71.923,20 em 15 anos. Conclui-se, por fim, que os dois cenários apresentaram viabilidade econômica, sobretudo, a escolha inicial por luminárias LED, em um projeto novo, representa um ganho no retorno de 7,0 anos, na TIR de 70,68% e no VPL de R\$ 30.339,05, quando comparado a substituição de sistema Vapores Metálicos.

7 CONCLUSÃO

A conclusão do estudo de caso realizado sobre os dois ambientes esportivos analisados aponta para a existência de um sistema de iluminação inadequado, que não atende aos critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 em relação à iluminância e à uniformidade da iluminação.

A norma estabelece que a Iluminância média das quadras esportivas deve ser de 300 lux e a Uniformidade mínima de 0,7. Entretanto, foram encontrados valores abaixo do recomendado, com a quadra poliesportiva da Escola Estadual Reis Veloso (EERV) apresentando Iluminância média de 89,13 lux e Uniformidade de 0,39, e a quadra da UFGD com Iluminância média de 45,8 lux e Uniformidade de 0,57.

A medição luminotécnica serviu, também, para a aferição do Fator de manutenção das luminárias. Foi obtido, assim, para o ginásio da UFGD um FM igual a 0,36 e, para a EERV, 0,78, que caracteriza a necessidade de manutenção, uma vez que o mínimo esperado é de 0,8. Observa-se, ainda, que o acúmulo de sujeira na luminária, lâmpadas queimadas e em especial, o ângulo de orientação diferente do ideal, tem provocado o reduzido Fator de manutenção, em especial no Ginásio da UFGD.

Para solucionar a problemática da EERV, foi proposto a substituição dos equipamentos atuais por 12 luminárias LHB20-S3M850FWX do tipo *High-Bay* da Lumicenter, além de uma disposição diferente e altura de montagem um metro acima, o que contribui significativamente para a melhoria da qualidade da iluminação e das atividades realizadas no local.

Em relação à readequação do sistema de iluminação da UFGD, foram realizados dois estudos, um considerando a substituição do sistema atual por 37 refletores laterais modelo KSW 9.212.1072.00 da *Leipziger Leuchten* com a mesma tecnologia atual (Vapor metálico) porém com equipamentos novos e mais eficientes e, outro, substituindo por 23 luminárias LED modelo LHB20-S2M850FAX do tipo *High-bay*.

A análise de viabilidade econômica das duas propostas mostrou que, embora o sistema de iluminação LED tenha um custo inicial mais elevado, apresenta benefício quando analisado ao longo dos 15 anos do projeto. Para o cenário de substituição, condição analisada no ginásio da UFGD, a economia gerada pelo sistema de iluminação LED tem seu retorno de investimento a partir do décimo ano de sua instalação. Ao final do tempo de análise do projeto, o sistema LED apresenta um VPL positivo de R\$ 53.762,71 e uma TIR igual a

36,85%, confirmando a viabilidade dessa proposta, uma vez que a TMA considerado foi 13,75%.

Benefícios maiores são obtidos em um projeto novo, quando o investimento analisado é a diferença da instalação de luminárias VM e LED, encontrando: *payback* descontado de 3,0 anos, TIR igual 107,53% e VPL de R\$ 71.923,20 em 15 anos. Conclui-se, por fim, que os dois cenários apresentaram viabilidade econômica, sobretudo, a escolha inicial por luminárias LED, em opção à luminária Vapores Metálicos, obtém-se um ganho no retorno do investimento de 7,0 anos, na TIR de 70,68% e no VPL de R\$ 30.339,05.

Considerando a ferramenta computacional utilizada, o software DIALUX foi de enorme importância no desenvolvimento deste trabalho, é um programa de código aberto e bastante intuitivo que oferece ferramentas úteis para o estudo luminotécnico. Destaca-se, sobretudo, que o software permite calcular a Uniformidade da iluminação do ambiente considerando a curva luminotécnica da luminária – tal determinação, importante para o projeto de um ginásio esportivo que não é obtido pelo Método dos Lumens, a saber, deve se utilizar o método ponto a ponto, cálculo que somente pode ser obtido a com o auxílio da programação computacional.

Como trabalhos futuros, sugere-se o estudo sobre a iluminação em outros ambientes esportivos e investigação da influência da iluminação na percepção visual, na fadiga ocular, entre outros fatores relacionados à performance dos atletas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESCO. **Desperdício de energia atinge R\$ 61,7 bi em três anos - Abesco - Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/novidade/desperdicio-de-energia-atinge-r-617-bi-em-tres-anos/>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

ABNT, A. B. DE N. T. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho**, Parte 1: Interior. Abnt, p. 54, 2013.

ACS/UFGD. **Portal UFGD**. Disponível em: <<https://portal.ufgd.edu.br/noticias/convenio-com-a-energisa-possibilitara-economia-de-20-no-consumo-de-energia-da-ufgd>>. Acesso em: 6 abr. 2023.

ALTIPIOSOS. **Tamanhos e medidas das Quadras Esportivas | Altípiosos**. Disponível em: <<https://altipisos.com.br/blog/quadras-esportivas-tamanho-medidas-oficiais/>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico. Banco Central do Brasil**, 2023. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>

BRITISH PETROLEUM. Energy Outlook 2020 edition. v. 2020, 2020.

CUNHA, L. **Gerenciamento de energia no Brasil - O Setor Elétrico | Conteúdo técnico para engenheiros**. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/gerenciamento-de-energia-no-brasil/>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

DIALUX. **Classificação de brilho (GR) e diferença UGR**. , 2019. Disponível em: <<https://dxboard.dialux.com/viewtopic.php?t=87110>>

ELGIN. **Equivalência de lâmpadas LED_ tudo o que você precisa saber**. Disponível em: <<https://blog.elgin.com.br/iluminacao/equivalencia-de-lampadas-led/>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ENERDATA. **Consumo energético mundial | Consumo eléctrico | Enerdata**. Disponível em: <<https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

ENERGIA, S. **Tarifa de Energia no Brasil**. , 2023.

ENGENHERIA, G. **Fator de Utilização**. , 2019. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/wp-content/uploads/2019/03/fator-utilizacao.jpg>>

GEWISS. **DIALux Luminaire Finder - Product data sheet_ MERCURIO 2 - 400W MT**. , 2023.

IBGE. **Inflação** | **IBGE**. , 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>

INSTRUTHERM. **Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro Digital Portátil Mod. THAL-300**. Disponível em: <<https://www.instrutherm.com.br/termo-higro-anem-luximetromod-thal-300-digital-escala0-4-a-30-0-m-s>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

LAIRES, R. **Sistema de iluminação eficiente utilizando a tecnologia LED para espaços públicos interiores**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. 2013.

LEMOS, E. A. C. P. DE. **Sistemas de iluminação artificial e eficiência energética : iniciativas para a redução do consumo de energia elétrica em ambientes laborais**. Revista On-Line IPOG, v. 01, p. 1–23, 2016.

LEUTCHTEN, L. **Luminaire Finder DIALUX**. Disponível em: <<https://luminaires.dialux.com/en/article/uaDxFs15Tya1sW9ynQp2mw>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

LIVEN. **Índice de reprodução de cor: o que é? - Blog Liven Casa**. Disponível em: <<https://blog.livencasa.com/indice-de-reproducao-de-cor-o-que-e/>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

LUCENA, M. C. M. **Iluminação em Salas de Aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba: Um Estudo de Caso**. , 2015.

LUMICENTER. **LEX06-S1 - Catálogo de produtos - Lumicenter**. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/lex06-s1-p5241/>>. Acesso em: 16 abr. 2023a.

LUMICENTER. **LHB20-S2 - Catálogo de produtos - Lumicenter**. , 2023b. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/lhb20-s2-p7604/>>

LUMICENTER. **LHB20-S3 - Catálogo de produtos - Lumicenter**. , 2023c. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/lhb20-s3-p7605/>>

LUMICENTER. Orçamento luminária LHB20-S2M850FAX. p. 1–5, 2023d.

LUTERLED. **Fator de Depreciação**. Disponível em: <<https://www.luterled.com.br/fator-de-depreciacao-o-que-e-e-como-analisar-na-iluminacao>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

MAIA, ANA CISTINA BRAGA; VILLAR, PAULO RICARDO; ALMEIDA, VIVIANE; OLIVEIRA, T. D. Manual de Iluminação. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, p. 54, 2011.

OLIVEIRA, V. M. DE. **GESTÃO ENERGÉTICA EM UM CLUBE RECREATIVO**. 2017.

PERFORMANCE IN LIGHTING. EN 12193/2018. p. 92, 2018.

POLYESPORTIVA. **Dimensões de quadras esportivas**. Disponível em: <<https://polyesportiva.com.br/blog/51/saiba-quais-sao-as-medidas-oficiais-de-9-tipos-de-quadras-esportivas.html>>. Acesso em: 9 abr. 2023.

PROCEL. **O Programa**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D>>. Acesso em: 9 abr. 2023.

PROINOVA. **Arquivos curva de distribuicao de intensidade luminosa - Pro Inova**.

Disponível em: <<https://pro-inova.com/tag/curva-de-distribuicao-de-intensidade-luminosa/>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

ROYER, R.; JOEL FERREIRA JUNIOR, C. **Engenharia de Produção: produtividade e competitividade**. v. 1, p. 665, 2019.

SILVA, N. G. M. M. **Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes**. 2011.

SOFTWARE, G. **Surfer**. Disponível em: <<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

VALTER, J. C. **Eficiência em Sistema de Iluminação e a Norma NBR ISO 8995-1: Estudo de Caso no Campus 2 da UFGD**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2018.

VERTAMATTI, E. **CONFORTO E DESCONFORTO DA COR DA ILUMINAÇÃO EM UMA CABINE DE AERONAVE: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL**. 2014.

VITÁLIS. Proposta de Projeto de Eficiência Energética - UFGD. 2021.

ZANIN, A.; BARICHELLO, R.; TIBOLA, F. M. B. A. **Análise do Custo x Benefício na troca de Lâmpadas Convencionais por Lâmpadas LED : O Caso de uma Universidade Comunitária do Sul do Brasil**. Análise do Custo x Benefício na troca de Lâmpadas Convencionais. XXII Congresso Brasileiro de Custos, 2015.

APÊNDICES

Apêndice A - Descrição dos valores orçados para a readequação do sistema de iluminação

Descrição	Preço (R\$)	Unidade
Lâmpada Vapor Metálico 150W	R\$ 26,58	Por lâmpada
Projektor Retangular Fechado	R\$ 108,30	Por luminária
Reator para VM 150W	R\$ 120,00	Por lâmpada
Mão de Obra - Eletricista	R\$ 23,87	Por hora
Mão de Obra - Auxiliar	R\$ 19,87	Por hora
Fio de Cobre	R\$ 3,61	Por metro

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apêndice B - Determinação do Preço Médio de energia da unidade II da UFGD em 2022

Mês	Fatura Ponta (R\$)	Consumo Ponta (kWh)	Fatura FP (R\$)	Consumo FP (kWh)	Geração FP (kWh)	Consumo Total FP (kWh)
Janeiro	45.686,87	16968,72	62.149,25	38.343,3	157.008,35	195.351,63
Fevereiro	67.900,39	25097,4	107.760,64	101.518,6	130.633,98	232.152,58
Março	93.953,63	34047,36	138.079,72	152.850,6	251.140,72	403.991,36
Abril	81.709,11	26051,76	107.783,14	104.605,2	128.563,36	233.168,6
Mai	83.222,00	24165,36	73.022,1	88.973,6	103.143,97	192.117,61
Junho	71.575,66	20773,44	66.258,09	74.827,6	95.594,63	170.422,19
Julho	84.044,06	24661,44	72.224,15	91.626,6	109.821,26	201.447,82
Agosto	94.300,82	27295,2	71.919,45	89.932,8	111.091,78	201.024,58
Setembro	82.890,69	23992,56	73.276,35	91.912,4	98.903,49	190.815,93
Outubro	81.974,05	23727,24	69.591,49	83.414,8	128.678,06	212.092,82
Novembro	82.808,61	23968,8	50.138,2	41.485,2	168.411,87	209.897,07
Dezembro	85.255,24	25159,32	63.476,13	73.692,7	147.278,54	220.971,22
Média	79.610,09	24.659,05	79.639,89	86.098,6	135.855,83	221.954
Preço Médio	$(0,75 \times \text{P.M Ponta}) + (0,25 \times \text{P.M FP}) = (0,75 \times 3,23) + (0,25 \times 0,36) = \text{R\$ } 2,51/\text{kWh}$					

Fonte: Elaborado pelo autor.