

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Aldebar Mariano Santos Pereira

**ANÁLISE DE CUMPRIMENTO NORMATIVO E EFICIÊNCIA  
LUMINOTÉCNICA DOS ESPAÇOS DE CIRCULAÇÃO DE PRÉDIOS  
PÚBLICOS**

Santa Maria, RS  
2019

**Aldebar Mariano Santos Pereira**

**ANÁLISE DE CUMPRIMENTO NORMATIVO E EFICIÊNCIA LUMINOTÉCNICA  
DOS ESPAÇOS DE CIRCULAÇÃO DE PRÉDIOS PÚBLICOS**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

**Aprovado em 13 de dezembro de 2019**

---

**Diego Berlezi Ramos, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Aécio de Lima Oliveira, Dr.(UFSM)**

---

**Lucas Vizzotto Bellinaso, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2019

## RESUMO

### **ANÁLISE DE CUMPRIMENTO NORMATIVO E EFICIÊNCIA LUMINOTÉCNICA DOS ESPAÇOS DE CIRCULAÇÃO DE PRÉDIOS PÚBLICOS**

AUTOR: Aldebar Mariano Santos Pereira

ORIENTADOR: Diego Berlezi Ramos

Neste trabalho desenvolveu-se um estudo de caso sobre a situação de iluminação de espaços de circulação de prédios públicos. Foi analisada a conformidade com as normas vigentes e a necessidade de ajustes visando também a eficiência energética. Para tanto, foram realizadas medições *in loco* utilizando um luxímetro digital e simulações de novos cenários de iluminação no software DIALux, tendo seus resultados comparados. Os quesitos alvos de medidas e ajustes são a iluminância média, o fator de uniformidade e o consumo de energia. Os resultados mostram que, além de se melhorar as condições de iluminação, atendendo às normas, é possível reduzir o número de lâmpadas instaladas, substituindo lâmpadas fluorescentes de 32W por outras da tecnologia LED de 18W e chegar a uma redução de 47% no consumo de energia.

Palavras-chave: Eficiência energética, iluminação, NBR ISO 8995.

## **ABSTRACT**

### **REGULATORY COMPLIANCE AND LUMINOUS EFFICIENCY ANALYSIS ON CIRCULATION AREAS OF PUBLIC BUILDINGS**

**AUTHOR:** Aldebar Mariano Santos Pereira

**ADVISOR:** Diego Berlezi Ramos

In this paper a case study was developed on the lighting situation of public buildings circulation spaces. Compliance with current standards and the need for adjustments for energy efficiency were also analyzed. For this, measurements were performed on site using a digital lux meter and simulations of new lighting scenarios in the DIALux software, and their results were compared. Measurement and adjustment targets are the average illuminance, the uniformity factor and the power consumption. The results show that, in addition to improving lighting conditions by meeting the standards, it is possible to reduce the number of installed lamps by replacing 32W fluorescent lamps with 18W LED technology and achieving a 47% reduction in power consumption.

**Keywords:** Energy efficiency, lighting, NBR ISO 8995.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do posicionamento do luxímetro para aquisição de dados .....	17
Figura 2 - Influência da manutenção na vida útil da luminária genérica. ....	19
Figura 3 – CCNE .....	21
Figura 4 – CE.....	21
Figura 5 - Prédios 19, 20 e 21.....	22
Figura 6 - Exemplo de corredor renderizado.....	33
Figura 7 - Linhas Isométricas do CCNE_C1 para o cenário A .....	34
Figura 8 - Linhas Isométricas do CCNE_C2 e C3 para o cenário A.....	34
Figura 9 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C1 para o cenário A .....	35
Figura 10 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C2 e C3 para o cenário A.....	35
Figura 11 - - Linhas Isométricas do CCNE_C1 para o cenário B .....	36
Figura 12 - Linhas Isométricas do CCNE_C2 e C3 para o cenário B.....	36
Figura 13 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C1 para o cenário B.....	36
Figura 14 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C2 e C3 para o cenário B .....	37
Figura 15 - Linhas Isométricas do CCNE_C1 para o cenário C .....	37
Figura 16 - Linhas Isométricas do CCNE_C2 e C3 para o cenário C.....	37
Figura 17 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C1 para o cenário C.....	38
Figura 18 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C2 e C3 para o cenário C .....	38
Figura 19 - Linhas Isométricas do CCNE_C1 para o cenário D .....	39
Figura 20 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C1 para o cenário D .....	39
Figura 21 - Linhas Isométricas do CCNE_C2 e C3 para o cenário D.....	39
Figura 22 - Diagrama de falsas cores do CCNE_C2 e C3 para o cenário D.....	40
Figura 23 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário A.....	41
Figura 24 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário A.....	41
Figura 25 - Linhas Isométricas do CL para o cenário A .....	41
Figura 26 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário A .....	42
Figura 27 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário A .....	42
Figura 28 - Diagrama de falsas cores do CL para o cenário A.....	43
Figura 29 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário B .....	43
Figura 30 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário B .....	44
Figura 31 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário B .....	44
Figura 32 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário B .....	45
Figura 33 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário C .....	45
Figura 34 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário C .....	45
Figura 35 - Linhas Isométricas do CL para o cenário C.....	46
Figura 36 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário C .....	46
Figura 37 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário C .....	47
Figura 38 - Diagrama de falsas cores do CL para o cenário C.....	47
Figura 39 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário D.....	48
Figura 40 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário D.....	48
Figura 41 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário D.....	48
Figura 42 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário D .....	49
Figura 43 - Linhas Isométricas do 19_C1 e C2 para o cenário A .....	50
Figura 44 - Linhas Isométricas do 19_Sub para o cenário A .....	50
Figura 45 - Diagrama de falsas cores do 19_C1 e C2 para o cenário A.....	51
Figura 46 - Diagrama de falsas cores do 19_Sub para o cenário A.....	51
Figura 47 - Linhas Isométricas do 19_C1 e C2 para o cenário C.....	52
Figura 48 - Linhas Isométricas do 19_Sub para o cenário C .....	52

Figura 49 - Diagrama de falsas cores do 19_C1 e C2 para o cenário C.....	53
Figura 50 - Diagrama de falsas cores do 19_Sub para o cenário C.....	53
Figura 51 - Diagrama de falsas cores para o cenário eleito nos corredores do CCNE.....	55
Figura 52 - Diagrama de falsas cores para o cenário eleito nos corredores do CE .....	56
Figura 53- Diagrama de falsas cores para o cenário eleito nos corredores do Prédio 19-Morfologia.....	57
Figura 54 - Gráfico relativo à Tabela 17 (CCNE).....	60
Figura 55 - Gráfico relativo à Tabela 18 (CE).....	60
Figura 56 - Gráfico relativo à Tabela 19 (Prédio 19-Morfologia).....	61
Figura 57 - Gráfico relativo à Tabela 20 (Total) .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores Normativos.....	15
Tabela 2 – Dimensões construtivas dos corredores do CCNE .....	25
Tabela 3 - Medições de iluminação dos corredores do CCNE.....	26
Tabela 4 - Dimensões construtivas dos corredores principais do CE.....	28
Tabela 5 - Medições de iluminação dos corredores principais do CE.....	28
Tabela 6 - Dimensões construtivas dos corredores de ligação do CE.....	30
Tabela 7 - Medições de iluminação dos corredores de ligação do CE .....	30
Tabela 8 - Dimensões construtivas dos corredores do Prédio 19-Morfologia .....	31
Tabela 9 - Medições de iluminação dos corredores do Prédio 19-Morfologia .....	31
Tabela 10 - Corredor CCNE_C1 .....	40
Tabela 11 - Corredor CCNE_C2 e C3 .....	40
Tabela 12 - Corredor CE_Ca e Cc.....	49
Tabela 13 - Corredor CE_Cb.....	49
Tabela 14 - Corredor CE_CL .....	50
Tabela 15 - Corredor 19_C1 e C2 .....	54
Tabela 16 - Corredor 19_Sub .....	54
Tabela 17 – Prédio CCNE: Consumo por Cenário em MWh.....	58
Tabela 18 - Prédio CE: Consumo por Cenário em MWh.....	58
Tabela 19 – Prédio 19-Morfologia: Consumo por Cenário em MWh.....	59
Tabela 20 - Consumo Total dos três prédios estudados, por cenário, em MWh.....	59
Tabela 21 - Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores ..	62
Tabela 22 - Rotina de manutenção das luminárias .....	64

## LISTA DE SÍMBOLOS

E	Iluminância
$E_{\text{média}}$	Iluminância Média
$E_{\text{mínima}}$	Iluminância Mínima
$F_{\text{dl}}$	Fator de Depreciação
$F_{\text{ut}}$	Fator de Utilização
$F_u$	Fator de Uniformidade
$F_{u_{\text{central}}}$	Fator de Uniformidade Central
$F_{u_{\text{entorno}}}$	Fator de Uniformidade Entorno
gCO <sub>2</sub>	Gramas de Dióxido de Carbono
kWh	Kilowatt hora
lm	Lumens
lx	Lux
MWh	Megawatt hora
$N_{\text{la}}$	Número de lâmpadas
$N_{\text{lu}}$	Número de luminárias
$\phi_l$	Fluxo Luminoso Emitido Por Uma Lâmpada
$\phi_t$	Fluxo Luminoso Total
S	Área
W	Watt



**LISTA DE ACRÔNIMOS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Computer-Aided Design
CCNE	Centro de Ciências Naturas e Exatas
CE	Centro de Educação
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CIE	Comitê Brasileiro de Iluminação
CPFL	Companhia Piratininga de Força e Luz
CT	Centro de Tecnologia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FMFL	Fator De Manutenção Do Fluxo Luminoso
FML	Fator De Manutenção Da Luminária
FMSS	Fator De Manutenção Das Superfícies Da Sala
FSL	Fator De Sobrevivência Da Lâmpada
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
IRC	Índice de reprodução de cores
LED	Light Emitting Diode
NBR	Norma Brasileira
Ra	Índice de reprodução de cor mínimo
RGE	Rio Grande Energia
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
UGR	Índice de ofuscamento unificado
UGRL	Índice limite de ofuscamento unificado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	11
1.2	MOTIVAÇÃO.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	13
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Principal .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	NORMAS .....	14
2.2	METODOLOGIAS DE CÁLCULO E AFERIÇÃO.....	15
2.3	CRITÉRIOS DE ANÁLISE.....	18
2.4	POSSÍVEIS MODIFICAÇÕES .....	18
2.5	ROTINAS DE MANUTENÇÃO .....	18
2.6	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
3.1	PROCEDIMENTOS .....	20
3.2	ESTUDO DE CASO .....	20
<b>3.2.1</b>	<b>Prédio CCNE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Prédio CE .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Prédio 19-Morfologia .....</b>	<b>23</b>
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3.4	CONDIÇÕES LIMITES .....	23
3.5	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
4.1	MEDIÇÕES: RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS .....	25
<b>4.1.1</b>	<b>Prédio CCNE .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Prédio CE .....</b>	<b>27</b>
4.1.2.1	<i>Corredores Principais:.....</i>	27
4.1.2.2	<i>Corredores de Ligação: .....</i>	29
<b>4.1.3</b>	<b>Prédio 19-Morfologia .....</b>	<b>31</b>
4.2	PARÂMETROS DE CÁLCULO PARA SIMULAÇÕES.....	32
4.3	SIMULAÇÃO .....	32
<b>4.3.1</b>	<b>Simulações e estudo prático dos cenários.....</b>	<b>34</b>
4.3.1.1	<i>Prédio CCNE.....</i>	34
4.3.1.2	<i>Prédio CE.....</i>	40
4.3.1.3	<i>Prédio 19-Morfologia.....</i>	50
4.4	PROPOSIÇÃO DE PROJETO.....	54
<b>4.4.1</b>	<b>Escolha dos Cenários Ideais .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Comparação de consumo entre os cenários .....</b>	<b>57</b>
4.4.2.1	<i>Payback .....</i>	61
4.5	ROTINA DE MANUTENÇÃO .....	62
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
5.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	66
5.2	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO .....	67
5.3	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....	67

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento tecnológico vem possibilitando maior conforto e qualidade de vida para a civilização global. Proporcionalmente, se tem notícia da explosão demográfica atrelada a esse desenvolvimento, quando atingimos, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), 7 bilhões de habitantes no planeta no século XXI, com aumento médio de 84 milhões de habitantes por ano. Todos esses indivíduos dependem da iluminação para executarem suas tarefas, das mais básicas, às mais complexas. Porém o uso indiscriminado de recursos naturais, necessários ao sustendo do modo de vida desse grande número de pessoas, tem sido assunto central no cenário político mundial.

Nesse contexto, o conhecimento em engenharia, voltado para a sustentabilidade e eficiência energética e, mais especificamente neste trabalho, voltado para os sistemas de iluminação, é de suma importância para o equilíbrio dos sistemas energéticos. Segundo informações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre 2012 e 2014, houve um aumento de 82 para 137 gramas de CO<sub>2</sub> por kWh gerado. Este aumento é causado pela maior necessidade do uso de termoelétricas, gerando mais gases do efeito estufa, e aumento no custo da energia gerada.

Se vive hoje a terceira revolução na iluminação, com as lâmpadas de estado sólido (como as lâmpadas de Diodo Emissor de Luz, em inglês Light Emitting Diode (LED) por exemplo), conforme diz GORDON (2015). Porém a substituição das antigas tecnologias por estas novas requer um estudo prévio a fim de se constatar que será, de fato, implementada uma ação de eficiência energética. Segundo o mesmo autor, um erro comum ao se projetar sistemas de iluminação é selecionar a luminária antes de decidir o que se deseja iluminar. Aí, como solução em engenharia, apresenta-se o conceito de projeto luminotécnico, visando atender a exigências normativas com conforto, qualidade, segurança e eficiência energética.

Na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), instituição onde se desenvolve o presente estudo, não é diferente: atualmente a eficiência energética está em evidência nas notícias e projetos desenvolvidos nela. Corroborando esta necessidade, a UFSM vem sofrendo congelamento de recursos da União, totalizando R\$42 milhões contingenciados durante o ano de 2019, o que resultou em problemas de fluxo de caixa para pagamento de despesas correntes da instituição, segundo notícia divulgada pela Seção Sindical dos Docentes da

UFSM (SEDUFISM). Na mesma notícia, o vice-reitor da UFSM, Luciano Schuch, afirma que a conta de energia elétrica é uma das grandes “vilãs”, com gasto aproximado de 12 milhões de reais por ano. Conforme divulgação no site da mesma universidade, estão sendo recomendadas ações de racionamento de energia com meta de reduzir 200 mil reais por mês na conta. Outras ações a fim de reduzir o consumo energético foram firmadas em 2018, num projeto de eficiência energética em parceria com a Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL), como a substituição de 1,3 mil lâmpadas fluorescentes tubulares pela mesma quantidade em lâmpadas LED, que consomem menos energia e têm maior durabilidade, conforme notícia divulgada pela instituição.

Este trabalho objetiva analisar os possíveis cenários de instalação dessas lâmpadas LED em alguns prédios da UFSM, visando a otimização do projeto luminotécnico nos quesitos de eficiência energética e cumprimento normativo. Esta análise obedecerá uma metodologia a ser apresentada, contando com simulações no software (DIALux) e testes práticos orientados pelo manual Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) Handbook, além da normatização adequada aos sistemas de iluminação.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Para executarmos nossas tarefas diárias, vivermos com conforto e segurança e nos desenvolvermos como civilização, a iluminação desempenha um papel fundamental. Uma iluminação inadequada aumenta os riscos de acidentes e diminui o desempenho do indivíduo (TAVARES, 2006), impactando diretamente na eficiência, eficácia e conforto das tarefas (REA, 2000).

Num sistema de iluminação não planejado, pode-se ter níveis de iluminância acima ou abaixo da norma. As normas não proíbem níveis de iluminação acima do recomendado, desde que não se tenha uma situação de ofuscamento. Porém uma iluminação acima da necessária constitui desperdício de energia elétrica, configurando baixa eficiência energética.

Então este trabalho busca analisar e corrigir sistemas luminotécnicos aplicados nas áreas de circulação de prédios públicos, como os corredores, que contêm um grande número de lâmpadas destinadas à sua iluminação, com foco em cumprimento normativo, para conforto visual e segurança, além de eficiência energética. Se pretende também elaborar uma metodologia para coletar dados, avaliar e desenvolver soluções em ambientes de um projeto luminotécnico onde lâmpadas fluorescentes serão substituídas por lâmpadas LEDs. Tais

objetivos também representam a continuidade de estudo similar anterior, que indicou a economia de 50% de consumo energético quando aplicado a corredores do Centro de Tecnologia (CT) (MARINS, S. M, 2018).

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Principal

Analisar a compatibilidade normativa e a possibilidade de se aumentar a eficiência energética nas áreas estudadas, a partir de medições e elaboração de projeto luminotécnico.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- (i) Verificar as normas atuais sobre iluminação nas áreas de circulação;
- (ii) Desenvolver metodologias de cálculo, dimensionamento e aferição de sistemas de iluminação;
- (iii) Identificar os critérios de avaliação para propor novos sistemas luminotécnicos;
- (iv) Cogitar melhorias a serem implementadas nas áreas de circulação de prédios públicos;
- (v) Formular um projeto luminotécnico.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste trabalho se apresenta, previamente, uma revisão bibliográfica com os conceitos cruciais para entendimento do assunto abordado e que servirão de guias para o desenvolvimento de uma metodologia para análise e correção do sistema de iluminação dos casos estudados. Essa metodologia será aplicada a fim de se atingir os objetivos propostos.

Serão apresentados os locais onde foram obtidos os dados, buscando seu entendimento estrutural. Para cada caso, serão desenvolvidos estudos por dois caminhos: primeiramente a apresentação dos dados coletados através de medições em campo das áreas estudadas, depois se utilizará da simulação da iluminação dos ambientes. Os resultados obtidos serão discutidos. Também será apresentado um estudo financeiro comparativo entre esses cenários.

Para concluir o trabalho, serão traçados pareceres gerais com base em eficiência energética e cumprimento normativo, identificando-se o melhor cenário, bem como a sua justificativa. Ainda serão mencionadas as contribuições deste trabalho e propostas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo se apresentam a revisão bibliográfica e conceitos fundamentais para o entendimento deste trabalho. A partir desta revisão será possível definir então uma metodologia para se desenvolver um projeto luminotécnico das áreas de circulação, pois serão definidos critérios de medição e avaliação de resultados.

### 2.1 NORMAS

A norma brasileira vigente base para este trabalho é a NBR 8995-1:2013. Nesta norma tem-se definidos importantes parâmetros de iluminação, como valores de iluminância média, metodologias de cálculos luminotécnicos, entre outros.

Segundo o conjunto de normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),

A prática de uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais que apenas fornecer uma boa visualização da tarefa. É essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Desta maneira a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. (NBR 8995-1).

Entre os conceitos de iluminação a serem observados a partir da norma, pode-se destacar:

- i. Uniformidade: Razão entre o valor mínimo e valor médio. A iluminação deve se alterar gradualmente;
- ii. Iluminância: Grandeza de luminosidade, representada pela letra  $E$ , que faz a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície e a sua área;
- iii. Índice de ofuscamento unificado (UGR): Definição do Comitê Brasileiro de Iluminação (CIE) para o nível de desconforto por ofuscamento;

- iv. Índice limite de ofuscamento unificado ( $UGR_L$ ): O valor máximo de UGR que se pode obter na superfície analisada;
- v. Índice de reprodução de cores (IRC): Fornece uma indicação objetiva da reprodução de cores para uma fonte de luz;
- vi. Índice de reprodução de cor mínimo (Ra): Índice mínimo de IRC a ser atingido para a área analisada.

A Tabela 1 apresenta os valores definidos pela norma NBR 8995, bem como suas tolerâncias. A faixa de tolerância segue a Equação 1

$$0,75 \times E_{média} < E_{média} < 1,5 \times E_{média} \quad (1)$$

Tabela 1 - Valores Normativos

Parâmetro	Valor		
	Mínimo	Médio	Máximo
Iluminância (lux)	75	100	150
$UGR_L$ (índice sem unidade)	-	-	28
Ra (índice sem unidade)	40	-	-

Fonte - Autor

No presente estudo, busca-se a melhoria dos valores de iluminância e fatores de uniformidade. Para este caso de corredores, o fator de uniformidade deve ser maior ou igual a 0,6. A norma NBR8995 define este valor para áreas de trabalho que podem ser consideradas como a sala inteira, que é o caso da circulação em corredores.

## 2.2 METODOLOGIAS DE CÁLCULO E AFERIÇÃO

O Método do Fluxo Luminoso ( $\phi$ ) é um dos métodos para o cálculo do número de luminárias necessárias em um ambiente. Conforme MAMEDE (2018) a determinação do fluxo luminoso total pode ser calculado pela Equação 2.

$$\phi_t = \frac{E \times S}{F_{dl} \times F_{ut}} \quad (2)$$

Nesta equação,  $E$  é a iluminância média em lux,  $\phi_t$  é o fluxo luminoso total das luminárias, em *lumens*. Já  $s$  é a área do recinto em  $m^2$  e  $F_{dl}$  e  $F_{ut}$  são os fatores de depreciação e de utilização, respectivamente.

Os fatores de depreciação e utilização dependem dos dados fornecidos pelo fabricante da luminária e de uma rotina de manutenção (presente no anexo D da NBR 89951:2013).

Sabendo-se o fluxo total é possível obter o número mínimo de luminárias para o ambiente a partir da Equação 3.

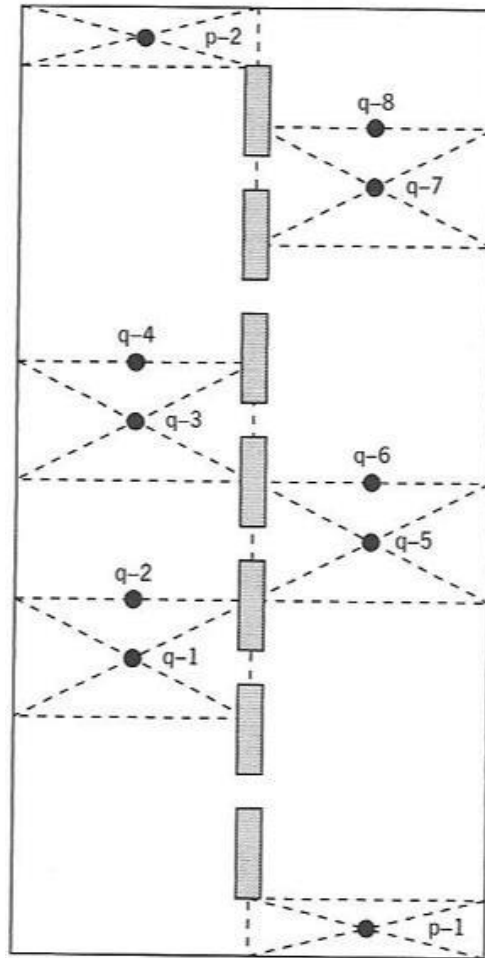
$$N_{lu} = \frac{\phi_t}{N_{la} \times \phi_l} \quad (3)$$

Onde  $N_{lu}$  é o número de luminárias necessárias,  $\phi_l$  é o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e  $N_{la}$  número de lâmpadas.

A *Illuminating Engineering Society Of North America* (IESNA) apresenta métodos de medição de luminosidade para diferentes ambientes. Esses métodos determinam a alocação dos pontos de coleta segundo características da área a ser medida. No caso dos corredores estudados, as áreas podem ser definidas como área com única fileira de luminárias, e têm os pontos de coleta dispostos conforme a Figura 1.



Figura 1 - Mapa do posicionamento do luxímetro para aquisição de dados



Fonte: IESNA

O instrumento utilizado para este fim foi um *Luxímetro Digital* (aparelho capaz de mensurar o iluminamento em uma superfície) da marca “Icel” que, quando posicionado num determinado ponto, retorna o dado quantitativo na unidade *lux*.

A partir da medição de *iluminância* nestes 8 pontos *q* e 2 pontos *p*, com o luxímetro posicionando junto ao solo, foi calculada a *Iluminância Média* ( $E_m$ ), segundo a Equação 4.

$$E_m = \frac{Q \cdot (N - 1) + P}{N} \quad (4)$$

Onde  $P$  é a média aritmética das leituras  $p$ ,  $Q$  é a média aritmética das leituras  $q$  e  $N$  é o número de luminárias.

Com esses dados, se pode calcular também o *Fator de Uniformidade*, que representa a variação da iluminação na área avaliada, segundo a Equação 5.

$$Fu = \frac{E_{\text{mínima}}}{E_{\text{média}}} \quad (5)$$

### 2.3 CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Entendem-se, aqui, como critérios de análise, os valores e resultados obtidos referentes aos conceitos de iluminação já discutidos neste trabalho, como atendimento das normas e eficiência energética.

Faz-se a análise de resultados sempre buscando primeiramente atender às determinações normativas estabelecidas. Conforme a necessidade de ajustes para atingir esses valores de iluminância normativos, propõem-se mudanças nos sistemas de iluminação.

### 2.4 POSSÍVEIS MODIFICAÇÕES

Como possíveis modificações entendem-se a alteração do número e tipo de lâmpadas, no número de luminárias, troca de luminárias, reposicionamento destas, alteração de seus alinhamentos, alteração de suas alturas de instalação.

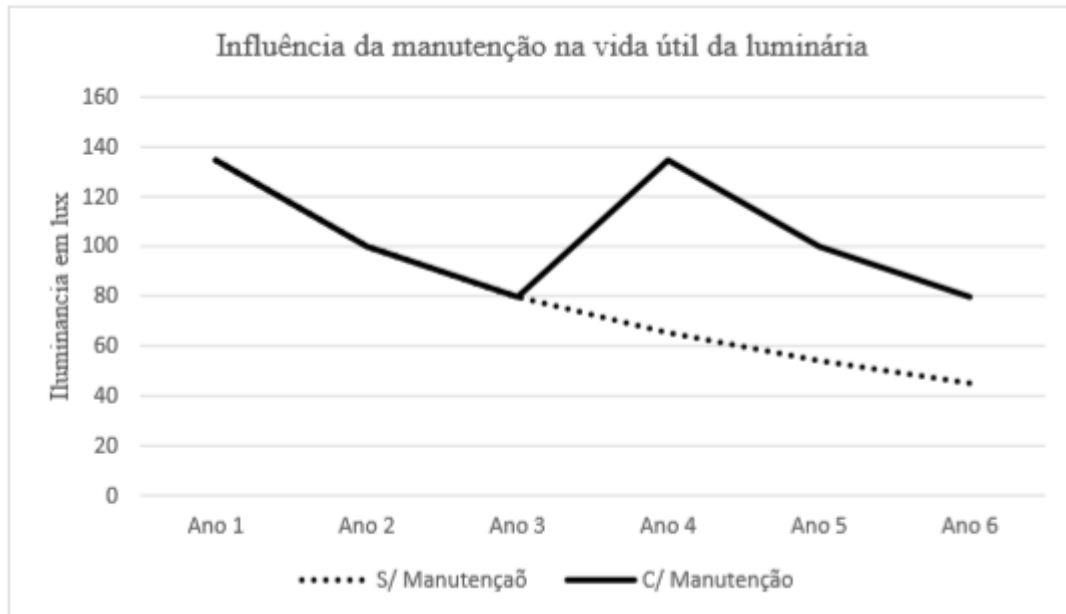
Todas essas modificações buscam, em suma, por um sistema luminoso mais eficiente. Para tanto, é necessário melhorar a eficiência luminosa, dada em  $lm/W$ . Desta forma, para o mesmo recinto pode-se reduzir o número de luminárias ou lâmpadas necessárias, conforme descrito na Equação 2.

### 2.5 ROTINAS DE MANUTENÇÃO

Com o tempo de utilização, uma luminária acumula poeira, a lâmpada apresenta defeitos e o fluxo luminoso esperado cai. Buscando mais longevidade das peças e equipamentos, é necessária uma rotina de manutenção, projetada previamente. Por manutenção entendem-se a limpeza das luminárias, substituição de componentes avariados,

inspeções periódicas, entre outros. A Figura 2 ilustra a diferença entre sistemas com e sem manutenção.

Figura 2 - Influência da manutenção na vida útil da luminária genérica.



Fonte: MARINS, MIGUEL S. Verificação das Condições de Iluminação de Áreas de Circulação de Prédios Públicos - UFSM 2018.

A Equação 6 define o fator de manutenção (FM), que é função dos seguintes fatores, descritos pela NBR 8995:

- Fator de manutenção do fluxo luminoso (FMFL),
- Fator de sobrevivência da lâmpada (FSL),
- Fator de manutenção da luminária (FML),
- Fator de manutenção das superfícies da sala (FMSS).

Estes encontram-se descritos no Anexo D da norma. O FMFL considera a diminuição do fluxo luminoso com o tempo de serviço, o FSL considera a vida útil da lâmpada, o FML considera a limpeza da luminária e o FMSS a limpeza do ambiente.

$$FM = FMFL \times FSL \times FML \times FMSS \quad (6)$$

## 2.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo foram apresentados métodos primários para a elaboração de projeto de um sistema de iluminação de interiores, como pontos de medição, fórmulas de cálculo e ações de modificação para melhorias de iluminação e eficiência energética. Também foram vistos fatores que levam à degradação do sistema de iluminação. Esta metodologia pode ser aplicada em novos projetos luminotécnicos ou correção de sistemas existentes.

A seção 2.4 adianta alternativas de melhorias que serão selecionadas conforme necessidade ante os resultados obtidos neste estudo.

## 3 METODOLOGIA

Este capítulo demonstra o desenvolvimento metodológico deste trabalho. Serão especificados o estudo de caso a ser investigado, os procedimentos a serem seguidos e a projeção de cenários de estudo e a delimitação das condições-limite para avaliação dos dados coletados.

### 3.1 PROCEDIMENTOS

A coleta de dados foi feita utilizando as técnicas descritas no capítulo 2.2 da revisão bibliográfica, em todos os corredores estudados, durante a noite, a fim de evitar a influência da luz natural externa.

### 3.2 ESTUDO DE CASO

O estudo aqui apresentado foi feito nas dependências de três prédios pertencentes a UFSM: o Centro de Ciências Naturais e Exatas (CCNE), o Centro de Educação (CE) e o Prédio 19-Morfologia, onde estão sendo feitas trocas de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, conforme as primeiras param de operar. Uma particularidade a se destacar é que o Prédio 19-Morfologia é similar a mais 4 prédios da UFSM, conforme plantas no formato “*Computer Aided Design*” (CAD) obtidas da Pró-Reitoria de Infraestrutura (Proinfra), numerados de 17 a 21. Então o estudo deste prédio pode ser estendido aos demais similares.

Ainda deve ser observado que o acesso à integridade dos corredores muitas vezes foi obstruído por portas trancadas, de forma que o estudo foi aplicado a áreas de possível acesso dos prédios. As figuras 3, 4 e 5 apresentam os respectivos prédios.

Figura 3 – Centro de Ciências Naturais e Exatas



Fonte - (UFSM, 2016)

Figura 4 – Centro de Educação



Fonte - (UFSM, 2016)

Figura 5 - Prédios 19, 20 e 21



Fonte - (UFSM, 2016)

Todos os corredores possuíam, num passado recente, um sistema de iluminação composto por luminárias de duas lâmpadas fluorescentes de 32W. Essas lâmpadas vêm sendo gradativamente substituídas, conforme ocorrem defeitos, por lâmpadas LED 18W, as quais se equivalem em valores de fluxo luminoso. Atualmente pode-se notar uma mistura aleatória na instalação dos dois tipos, fluorescentes e LED, e também na quantidade de lâmpadas instaladas por luminária, com muitas das fluorescentes estando defeituosas ou inoperantes. Com exceção do CE, onde se vê luminárias instaladas no sentido longitudinal do corredor, os demais prédios possuem luminárias transversais.

As análises luminotécnicas deste trabalho focalizam nos corredores de circulação dos três andares dos prédios supracitados.

### **3.2.1 Prédio CCNE**

O prédio CCNE, localizado nas dependências da UFSM, possui três andares e três grandes corredores de circulação, alvos de estudo neste trabalho, cada um situado em um andar do prédio. As luminárias estão alinhadas transversalmente ao corredor e instaladas à 3,2m de altura.

### **3.2.2 Prédio CE**

O prédio CE, também situado na UFSM, possui três andares, cada um contendo três grandes corredores de circulação, paralelos entre si, além de mais um corredor transversal que interliga esses três. As luminárias, somente neste caso dentre os estudados aqui, estão alinhadas no sentido longitudinal do corredor e instaladas a 2,5m de altura. A configuração estrutural dos corredores se repete nos três andares.

### **3.2.3 Prédio 19-Morfologia**

O prédio 19-Morfologia, na mesma situação de localização e obtenção de dados estruturais mencionados nos casos acima, possui três andares e três grandes corredores, um por andar. Com luminárias alinhadas transversalmente ao corredor e instaladas a 3,2m de altura no primeiro e segundo andar, e a 2,5m de altura no subsolo.

## **3.3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para validação do estudo, é utilizado o recurso de simulação, pelo software DIALux™. Neste software, usando as medidas dos prédios estudados, obtidas a partir de suas plantas formato CAD, cria-se um ambiente virtual onde podem ser analisados e configurados diferentes situações do sistema luminotécnico. A partir das simulações, cojitam-se as mudanças propostas no capítulo anterior, configurando cenários que serão posteriormente postos à prova.

Tendo elegidos os cenários mais viáveis do ponto de vista de eficiência energética e cumprimento normativo, estes serão comparados com os dados reais, obtidos com um luxímetro (POL-10B da Politem), obedecendo o padrão de medições dado pela IESNA, demonstrados anteriormente

## **3.4 CONDIÇÕES LIMITES**

Nesse trabalho propõem-se quatro cenários diferentes, onde se fazem mudanças na quantidade de lâmpadas por luminária, buscando atender às normas vigentes.

O primeiro cenário é elaborado a partir do sistema de iluminação com duas lâmpadas LED instaladas em cada luminária, voltado para o projeto luminotécnico como foi originalmente planejado e como ficaria caso todas as lâmpadas fluorescentes fossem substituídas por lâmpadas LED. Cabe ressaltar que a lâmpada LED 18W a ser utilizada na simulação, é equivalente em luminisidade, segundo o fabricante, a uma lâmpada fluorescente tubular de 32W. No segundo cenário, propõe-se a instalação de uma lâmpada LED a cada duas luminárias, intercalada com duas lâmpadas LED a cada duas luminárias, ou seja, o corredor fica com luminárias de uma e duas lâmpadas LED intercaladas. Desta forma, espera-se uma redução no consumo sem grandes perdas na iluminância média. O terceiro cenário é composto de apenas uma lâmpada LED por luminária obtendo-se assim o cenário com o menor consumo energético entre todos. Espera-se que este possua a menor média de iluminância, porém ainda se busca o cumprimento das normas. Já no quarto cenário, propõe-se mudanças estruturais nas instalações, como na quantia de luminárias instaladas, rotação do sentido das luminárias e modificação nas alturas de instalação, mas ainda com apenas uma lâmpada LED instalada. Este último cenário busca corrigir valores não atingidos no terceiro cenário e será simulado somente se necessário. Os quatro cenários são representados pelas letras A, B, C e D, onde:

A – Duas lâmpadas LED por luminária (cenário inicial);

B – Luminárias com uma e duas lâmpadas LED intercaladas;

C – Uma lâmpada LED por luminária.

D – Uma lâmpada LED por luminária, com necessidade de modificações estruturais, apenas para os casos onde valores normativos não foram atingidos.

Os resultados encontram-se avaliados, comparados e apresentados no próximo capítulo.

### 3.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Conforme identificação geral da situação dos prédios, pode-se, de antemão, concluir que a simples análise e correção dos sistemas de iluminação sucintamente apresentados já pode trazer melhorias na iluminação, pois as instalações atuais são precárias e aleatórias.

A metodologia apresentada indica que é viável desenvolver uma rotina para aferir dados e compará-los com possíveis cenários de melhorias. Com exceção do cenário D, os demais cenários são de simples execução, sendo que aquele mencionado será opção somente



em último caso. O cenário B traz uma pequena redução de consumo e também só será estudado no caso do cenário C ser inviável.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 MEDIÇÕES: RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

#### 4.1.1 Prédio CCNE

Os corredores do térreo, 2º e 3º andar serão chamados, respectivamente de *CCNE\_C1*, *CCNE\_C2* e *CCNE\_C3*.

A Tabela 2 informa alguns dados construtivos dos corredores e seus sistemas de iluminação.

Tabela 2 – Dimensões construtivas dos corredores do CCNE

Corredor	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Altura de instalação das luminárias (m)	Distância entre as luminárias (m)
CCNE_C1	95,26	2,4	3,8	3,2	5,01
CCNE_C2 e C3	98,7	2,4	3,8	3,2	4,94

Fonte: Autor

A seguir, na Tabela 3, os resultados obtidos nos corredores a partir de medições, bem como informações detalhadas do sistema de iluminação:

Tabela 3 - Medições de iluminação dos corredores do CCNE

Corredor	Em (lux)	Fu	Luminárias	Lâmpadas instaladas	Lâmpadas operando	Fluor	LED
CCNE_C1	119	0,81	19	35	32	17	15
CCNE_C2	106	0,77	20	37	31	27	5
CCNE_C3	75	0,79	20	28	22	11	14

Fonte: Autor

Comparando com a norma NBR 8995, que estabelece o valor ideal de 100 *lux* para esta área, verifica-se que o *CCNE\_C1* excede a norma em 19% e o *CCNE\_C2* em 6%. Já o *CCNE\_C3* fica consideravelmente abaixo da norma, com 25% a menos.

Nota-se que a *Iluminância Média (Em)* é maior no andar térreo, de maior circulação, e vai diminuindo gradativamente conforme se elevam os andares, onde se tem menos circulação de pessoas. Na mesma lógica e proporcional a *Em*, verifica-se o número de lâmpadas operando.

Já quanto ao *Fator de Uniformidade (Fu)*, percebemos que o resultado foi satisfatório se comparado à norma estabelecida pela NBR8995, que é de 0,6 para uma grande área de trabalho com centro de tarefa indefinido.

A contagem de lâmpadas *LED* e *fluorescentes* mostra uma predominância do segundo tipo. Estas possuem menor eficiência luminosa e uma alta incidência de defeitos. Medições efetuadas sob luminárias com apenas uma lâmpada instalada, do tipo *LED*, retornaram valores acima de 100 *lux*, equiparando-se à *iluminância* obtida sob luminárias do mesmo modelo, porém com duas lâmpadas *fluorescentes* operando com defeitos e com cerca de 30cm a mais na sua altura. Aqui se tem uma pequena parcela do corredor térreo com instalação mais baixa, possibilitando essa comparação na prática.

Previamente, conforme constatação visual e de medição luminosa, foi considerado que a diminuição da altura das luminárias poderá trazer mais eficiência e indica a possibilidade de substituição das numerosas lâmpadas *fluorescentes* pela metade de sua quantidade em lâmpadas

*LED*. Esta constatação será testada na parte de simulação do *projeto luminotécnico* da área estudada com auxílio do software DIALux.

#### 4.1.2 Prédio CE

Os corredores principais se distribuem paralelamente na quantia de três corredores por andar. Existe também um corredor de ligação por andar, transversal aos corredores principais. Serão denominados, para fins de exposição de dados, conforme a posição e andar, da seguinte forma:

- Térreo, da face *sul* para a *norte*: *Ca1*, *Cb1* e *Cc1*;
- 2º Andar: *Ca2*, *Cb2* e *Cb3*;
- 3º Andar: *Ca3*, *Cb3* e *Cc3*.
- Os corredores de ligação do térreo, 2º e 3º andar, respectivamente, de: *CL1*, *CL2* e *CL3*
- Para representação de todos os andares, que são iguais em dimensões, será utilizada a nomenclatura sem o número referente ao andar, ficando os corredores, da face sul para a norte, nomeados de *Ca*, *Cb* e *Cc* e o corredor de ligação *CL*

##### 4.1.2.1 Corredores Principais:

A Tabela 4 informa alguns dados construtivos dos corredores e seus sistemas de iluminação.

Tabela 4 - Dimensões construtivas dos corredores principais do CE

<b>Corredor</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Altura de instalação das luminárias (m)</b>	<b>Distância entre as luminárias (m)</b>
Ca e Cc	40,2	2,55	3,05	2,5	4,02
Cm	38,42	1,55	3,05	2,5	3,84

Fonte: Autor

A seguir, na Tabela 5, os resultados obtidos nos corredores a partir de medições, bem como informações detalhadas do sistema de iluminação:

Tabela 5 - Medições de iluminação dos corredores principais do CE

<b>Corredor</b>	<b>Em (lux)</b>	<b>Fu</b>	<b>Luminárias</b>	<b>Lâmpadas instaladas</b>	<b>Lâmpadas operando</b>	<b>Fluor</b>	<b>LED</b>
Ca1	66,9	0,69	8	10	9	3	6
Cb1	121,8	0,48	8	15	12	13	1
Cc1	91,5	0,44	8	15	15	13	2
Ca2	77,2	0,69	8	10	10	4	6
Cb2	138,8	0,52	8	15	15	10	5
Cc2	78,5	0,56	8	11	11	6	5
Ca3	73,4	0,58	8	16	9	13	0
Cb3	130,8	0,53	8	15	14	12	3
Cc3	76,6	0,54	8	14	11	12	2

Fonte: Autor

Comparando com a norma NBR8995, que estabelece o valor ideal pedio de 100 *lux* para esta área, verificam-se 6 corredores abaixo da norma e 3 corredores com valores acima da norma.

Nota-se que a *Illuminância Média (Em)* ficou mais prejudicada nos corredores com menor número de lâmpadas operando. Além disso, a análise visual *in loco* revelou grande espaçamento entre as luminárias, diminuindo consideravelmente a iluminância entre as luminárias.

O espaçamento supracitado influenciou fortemente o *Fator de Uniformidade (Fu)*, chegando a formar o efeito de *zebramento* em alguns locais. Percebemos que o resultado foi insatisfatório se comparado à norma estabelecida pela NBR8995, que é de 0,6 para a tarefa relativa à área iluminada.

A contagem de lâmpadas *LED* e *fluorescentes* mostra uma predominância do segundo tipo. Estas possuem menor eficiência luminosa e uma alta incidência de defeitos. Medições efetuadas sob luminárias com apenas uma lâmpada instalada, do tipo *LED*, retornaram valores acima de 100 *lux*, aproximando-se da *iluminância* obtida sob luminárias do mesmo modelo, porém com duas lâmpadas *fluorescentes* operando (em torno de 120 *lux*).

Previamente, conforme constatação visual e de medição luminosa, foi considerado que diminuição da distância entre as luminárias poderá trazer mais eficiência e uniformidade, proporcionando a possibilidade de substituição das numerosas lâmpadas *fluorescentes* por uma quantia menor em lâmpadas *LED*. Esta constatação será testada na parte de simulação do *projeto luminotécnico* da área estudada com auxílio do software DIALux.

#### 4.1.2.2 Corredores de Ligação:

A Tabela 6 informa alguns dados construtivos dos corredores e seus sistemas de iluminação.

Tabela 6 - Dimensões construtivas dos corredores de ligação do CE

Corredor	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Altura de instalação das luminárias (m)	Distância entre as luminárias (m)
CL	40,2	2,55	3,05	2,5	4,02

Fonte: Autor

A seguir, na Tabela 7, os resultados obtidos nos corredores a partir de medições, bem como informações detalhadas do sistema de iluminação:

Tabela 7 - Medições de iluminação dos corredores de ligação do CE

Corredor	Em (lux)	Fu	Luminárias	Lâmpadas instaladas	Lâmpadas operando	Fluor	LED
CL1	74,1	0,47	10	20	17	20	0
CL2	108,1	0,72	10	20	18	17	1
CL3	118,1	0,71	10	20	16	20	0

Fonte: Autor

Comparando com a norma NBR8995, que estabelece o valor ideal médio de 100 *lux* para esta área, verifica-se que apenas o corredor *CL1* está em situação irregular de iluminação. Este corredor possui uma parte aberta, perdendo luminosidade para o exterior.

Aqui o alto número de lâmpadas operando garantiu também o *Fator de Uniformidade (Fu)*, à exceção de *CL1*, pela norma estabelecida pela NBR8995 é de 0,6 para a área da tarefa.

Mais uma vez a contagem e medição sob as lâmpadas *LED* indica que o uso dessa tecnologia, associado à regulagem dos espaçamentos entre as luminárias, promete melhoras nos resultados. Esta constatação será testada na parte de simulação do *projeto luminotécnico* da área estudada com auxílio do software DIALux.

### 4.1.3 Prédio 19-Morfologia

Os corredores do térreo, 2º andar e subsolo serão chamados, respectivamente de *19\_C1*, *19\_C2* e *19\_Sub*

A Tabela 8 informa alguns dados construtivos dos corredores e seus sistemas de iluminação. Cabe ressaltar que não foi possível acessar o corredor na sua integralidade, então as medidas se referem a uma parcela do mesmo.

Tabela 8 - Dimensões construtivas dos corredores do Prédio 19-Morfologia

Corredor	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Altura de instalação das luminárias (m)	Distância entre as luminárias (m)
19_C1 e C2	72	2,4	3,8	3,2	3,60
19_Sub	40,7	2,4	2,6	2,5	2,91

Fonte: Autor

A seguir, na Tabela 9, os resultados obtidos nos corredores a partir de medições, bem como informações detalhadas do sistema de iluminação:

Tabela 9 - Medições de iluminação dos corredores do Prédio 19-Morfologia

Corredor	Em (lux)	Fu	Luminárias	Lâmpadas instaladas	Lâmpadas operando	Fluor	LED
19_C1	113	0,53	20	40	33	20	15
19_C2	68,5	0,73	20	33	16	10	8
19_Sub	80,9	0,74	14	20	12	6	6

Fonte: Autor

Comparando com a norma NBR8995, que estabelece o valor médio ideal de 100 *lux* para esta área, verifica-se que o *19\_C1* excede a norma em 13%. Já o *19\_C2* fica bastante

abaixo da norma, em 32%. No corredor do subsolo, *I9\_Sub*, se tem também uma situação consideravelmente abaixo da norma, com 20% a menos.

Nota-se, novamente, que a *Iluminância Média (Em)* é maior no andar térreo, de maior circulação, e diminui nos demais andares, onde se tem menos circulação de pessoas. Na mesma lógica e proporcional a *Em*, verifica-se o número de lâmpadas operando.

Já quanto ao *Fator de Uniformidade (Fu)*, percebemos que o resultado foi quase satisfatório, se comparado à norma estabelecida pela NBR 8995, que é de 0,6 para a tarefa relativa à área iluminada. Este “quase” se deve ao fato do primeiro andar ter menor fator de uniformidade, pois existem luminárias com grande saída de fluxo luminoso, devido a duas lâmpadas operando, e outras luminárias com duas lâmpadas queimadas.

A contagem de lâmpadas *LED* e *fluorescentes* mostra uma predominância do segundo tipo. Estas possuem menor eficiência luminosa e uma alta incidência de defeitos.

Previamente, conforme constatação visual e de medição luminosa, foi considerado que a diminuição da altura das luminárias poderá trazer mais eficiência e indica a possibilidade de substituição das numerosas lâmpadas *fluorescentes* pela metade de sua quantia em lâmpadas *LED*. Esta constatação será testada na parte de simulação do *projeto luminotécnico* da área estudada com auxílio do software DIALux.

## 4.2 PARÂMETROS DE CÁLCULO PARA SIMULAÇÕES

Nas simulações são necessários serem definidos alguns parâmetros de ambiente, como a *refletância* das superfícies e definição da superfície de tarefa. MAMEDE (2018) sugere alguns valores de refletância, que são adotados para configuração do *software*. Para o teto, 0,7 é o parâmetro de *refletância*, 0,5 para as paredes e 0,2 para o piso.

A norma NBR 8995 estabelece que a altura da área de tarefa para circulação dos transeuntes é no solo, ou seja, a 0m de altura, que foi utilizado para a simulação.

## 4.3 SIMULAÇÃO

Com auxílio da ferramenta software DIALux™, que permite planejar, calcular e visualizar projetos luminotécnicos de interiores e exteriores, são modelados os corredores alvos deste estudo.



A luminária selecionada para a simulação é próxima das encontradas nos corredores, sendo escolhida a luminária AS-810 da linha comercial fabricada pela empresa Intral. Esta possui capacidade de instalação de duas lâmpadas tubulares T8.

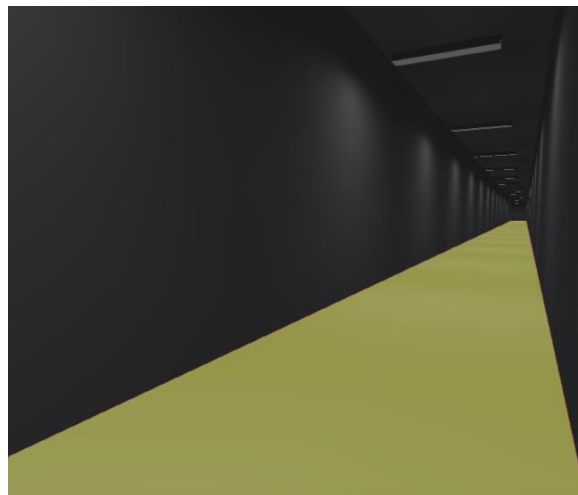
Também, utilizou-se as informações fornecidas pelo fabricante das lâmpadas que são utilizadas atualmente (Golden modelo 3409C 18W LED) na substituição das fluorescentes 32W, sendo que elas se equivalem em valores de iluminância, e assim, pode-se prosseguir para a simulação.

Os corredores dos prédios estudados foram modelados no DIALux™. Definiram-se as áreas de circulação como grandes áreas de trabalho, para simular o sistema luminotécnico, com objetivo de elucidar a atual situação hipotética anterior dos corredores, bem como os outros cenários possíveis.

Foi feita a simulação dos corredores isoladamente, pois facilita a aquisição de dados e fluidez do software DIALux™. Para tanto, foram inseridas as dimensões dos corredores, listadas na seção 4.1, obtidas através das plantas em CAD.

A figura 6 representa um exemplo de corredor renderizado.

Figura 6 - Exemplo de corredor renderizado



Fonte: Autor

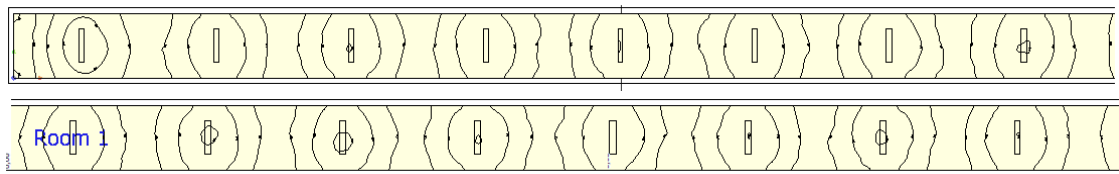
### 4.3.1 Simulações e estudo prático dos cenários

#### 4.3.1.1 Prédio CCNE

Primeiramente, é feita a simulação do cenário A, que representa uma situação ideal para o qual foi voltado o projeto luminotécnico inicial do prédio. Cabe ressaltar que os corredores *CCNE\_C2* e *CCNE\_C3* possuem mesma estrutura e por isso é necessária apenas uma simulação para ambos.

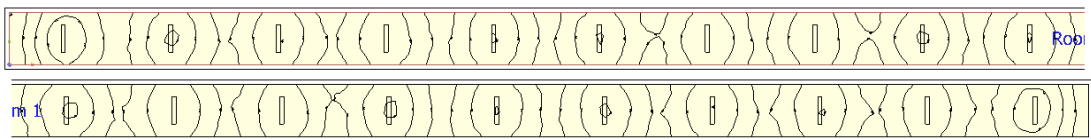
As Figuras 7 e 8 demonstram a distribuição de lâmpadas e as curvas isométricas de iluminação nos corredores avaliados. Essas curvas demonstram pontos onde a iluminância se mantém constante.

Figura 7 - Linhas Isométricas do CCNE\_C1 para o cenário A



Fonte: Autor

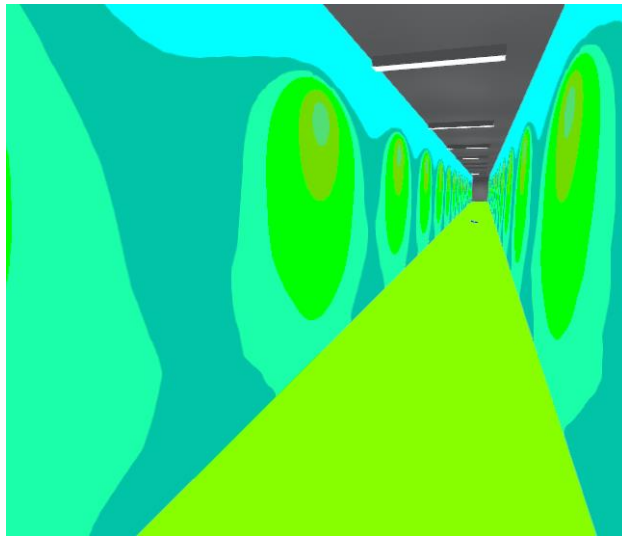
Figura 8 - Linhas Isométricas do CCNE\_C2 e C3 para o cenário A



Fonte: Autor

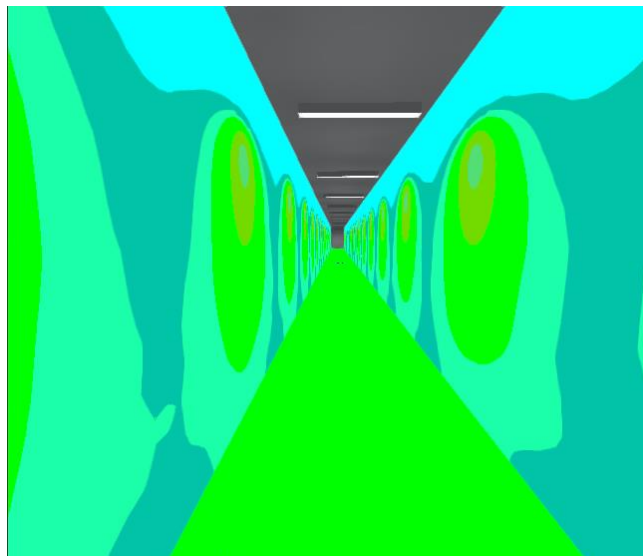
A Figuras 9 e 10 representam o modo de *falsas cores* dos mesmos corredores. Este tipo de diagrama tem nas cores mais quentes a representação de maior iluminância e nas cores frias menor iluminância, permitindo visualizar as transições iluminância nas superfícies do corredor.

Figura 9 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C1 para o cenário A



Fonte: Autor

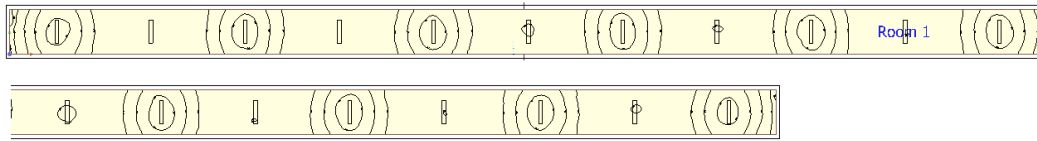
Figura 10 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C2 e C3 para o cenário A



Fonte: Autor

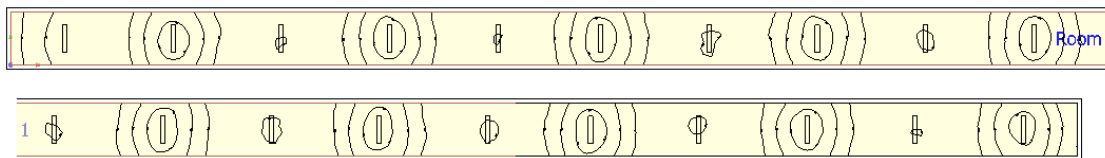
Passando-se para o cenário B, as figuras abaixo representam graficamente os sistemas já citados, como curvas isométricas, renderização e *falsas cores*.

Figura 11 - - Linhas Isométricas do CCNE\_C1 para o cenário B



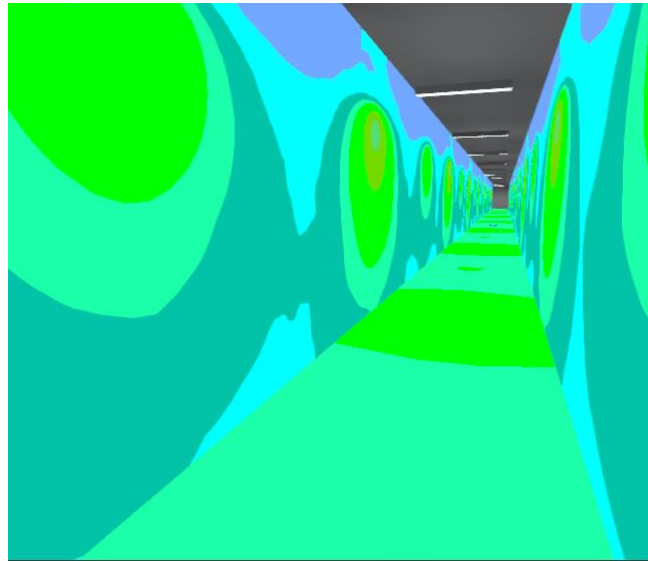
Fonte: Autor

Figura 12 - Linhas Isométricas do CCNE\_C2 e C3 para o cenário B



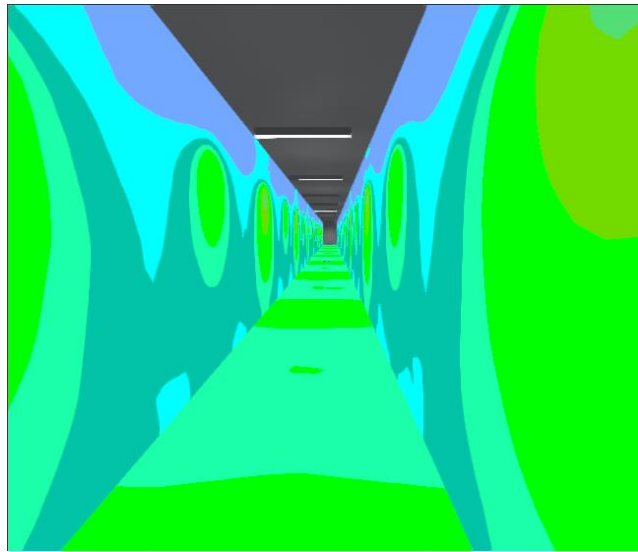
Fonte: Autor

Figura 13 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C1 para o cenário B



Fonte: Autor

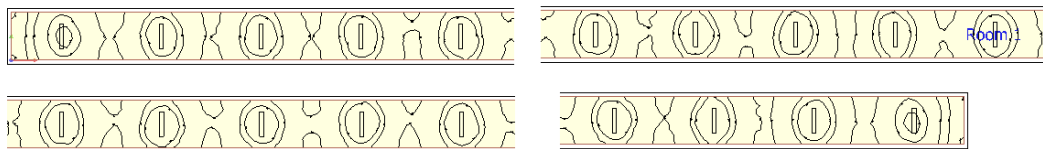
Figura 14 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C2 e C3 para o cenário B



Fonte: Autor

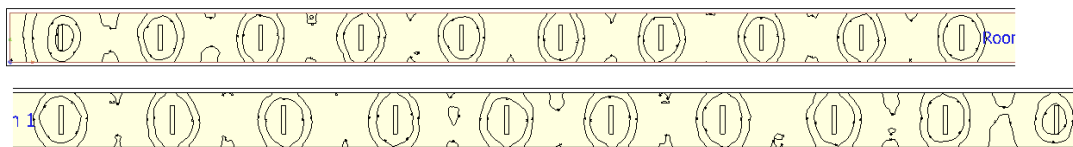
Passando-se agora para o cenário C, as figuras abaixo representam graficamente os sistemas já citados, como curvas isométricas, renderização e *falsas cores*.

Figura 15 - Linhas Isométricas do CCNE\_C1 para o cenário C



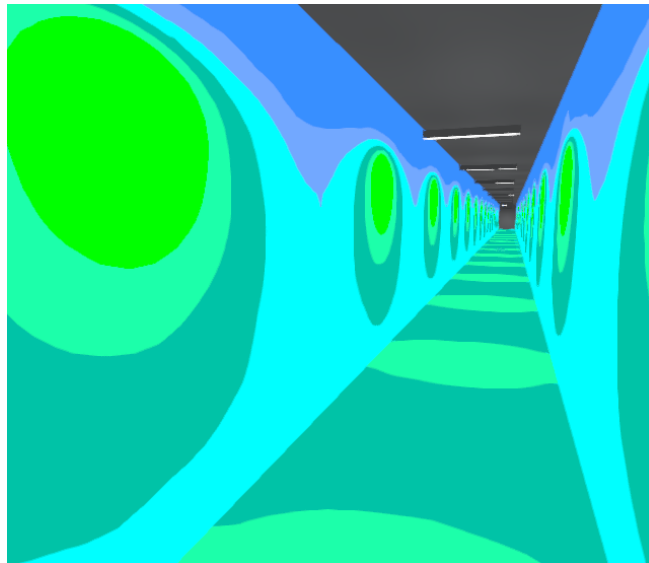
Fonte: Autor

Figura 16 - Linhas Isométricas do CCNE\_C2 e C3 para o cenário C



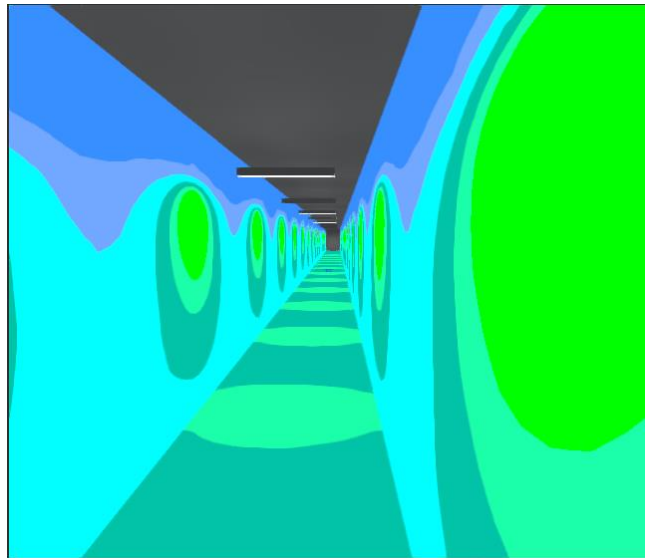
Fonte: Autor

Figura 17 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C1 para o cenário C



Fonte: Autor

Figura 18 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C2 e C3 para o cenário C



Fonte: Autor

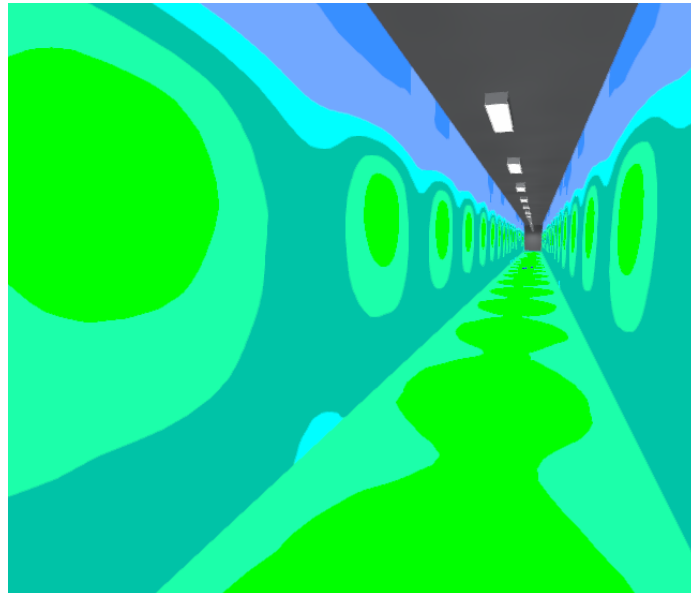
Neste caso, como encontra-se justificado e descrito no capítulo 4.4, foi necessária a simulação do cenário D. As figuras abaixo demonstram tal simulação.

Figura 19 - Linhas Isométricas do CCNE\_C1 para o cenário D



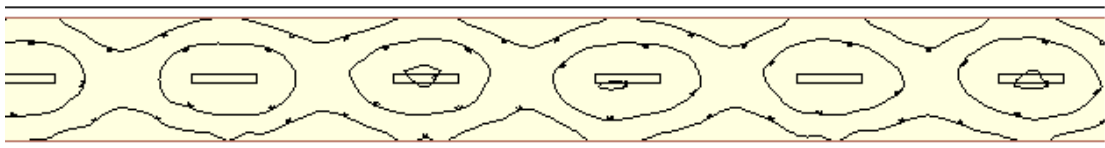
Fonte: Autor

Figura 20 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C1 para o cenário D



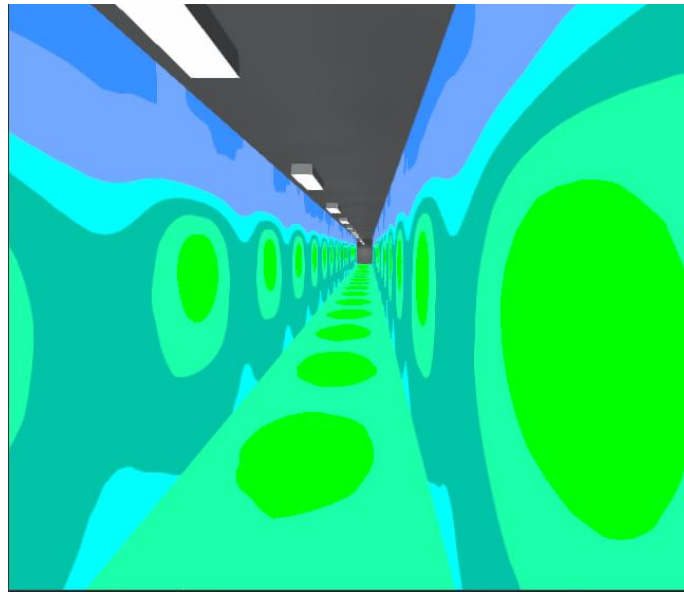
Fonte: Autor

Figura 21 - Linhas Isométricas do CCNE\_C2 e C3 para o cenário D



Fonte: Autor

Figura 22 - Diagrama de falsas cores do CCNE\_C2 e C3 para o cenário D



Fonte: Autor

As tabelas abaixo demonstram os valores obtidos das simulações dos cenários para o prédio CCNE.

Tabela 10 - Corredor CCNE\_C1

<b>Cenário</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$E_m$ (lux)	141	107	70,3	101
Fu	0,56	0,69	0,56	0,57

Fonte: Autor

Tabela 11 - Corredor CCNE\_C2 e C3

<b>Cenário</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$E_m$ (lux)	143	111	71,5	95,3
Fu	0,56	0,69	0,56	0,58

Fonte: Autor

#### 4.3.1.2 Prédio CE

Primeiramente, é feita a simulação do cenário A, que representa uma situação ideal para o qual foi voltado o projeto luminotécnico inicial do prédio. Cabe ressaltar que este prédio possui mesma estrutura construtiva dentre seus andares e ainda que os corredores



laterais  $Ca$  e  $Cc$  são iguais entre si. Portanto são feitas 3 simulações para todo o prédio: Corredores laterais ( $Ca$  e  $Cc$ ), corredor central ( $Cb$ ) e corredor de ligação ( $CL$ ).

As Figuras 23, 24 e 25 demonstram a distribuição de lâmpadas e as curvas isométricas de iluminação nos corredores avaliados. Essas curvas demonstram pontos onde a iluminância se mantém constante.

Figura 23 - Linhas Isométricas do  $Ca$  e  $Cc$  para o cenário A



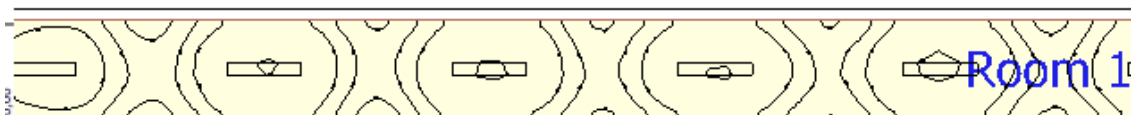
Fonte: Autor

Figura 24 - Linhas Isométricas do  $Cb$  para o cenário A



Fonte: Autor

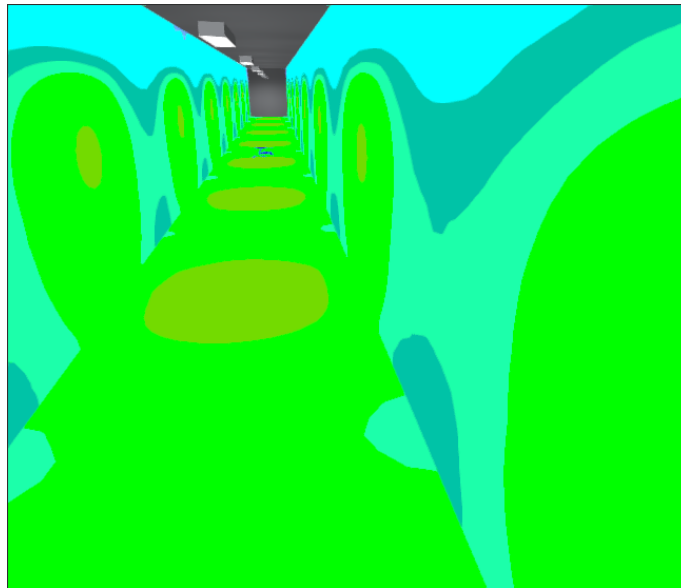
Figura 25 - Linhas Isométricas do  $CL$  para o cenário A



Fonte: Autor

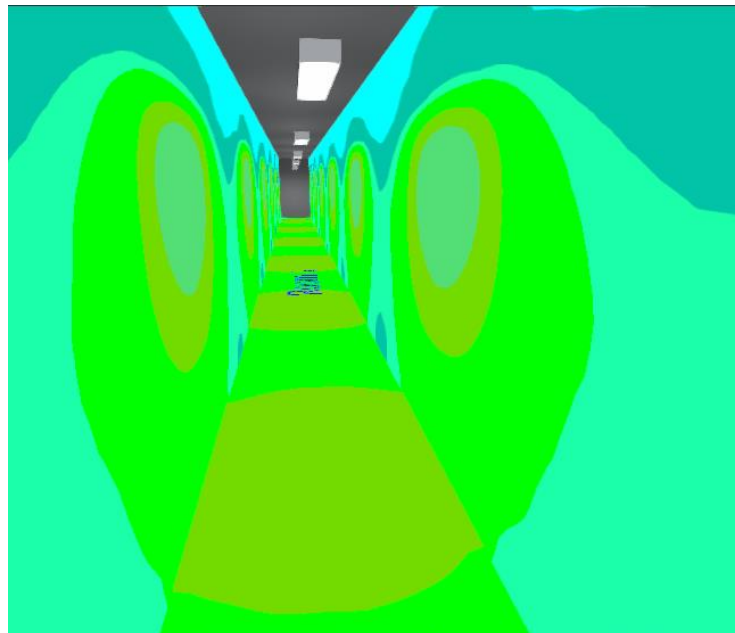
A Figuras 26, 27 e 28 representam o modo de *falsas cores* dos mesmos corredores.

Figura 26 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário A



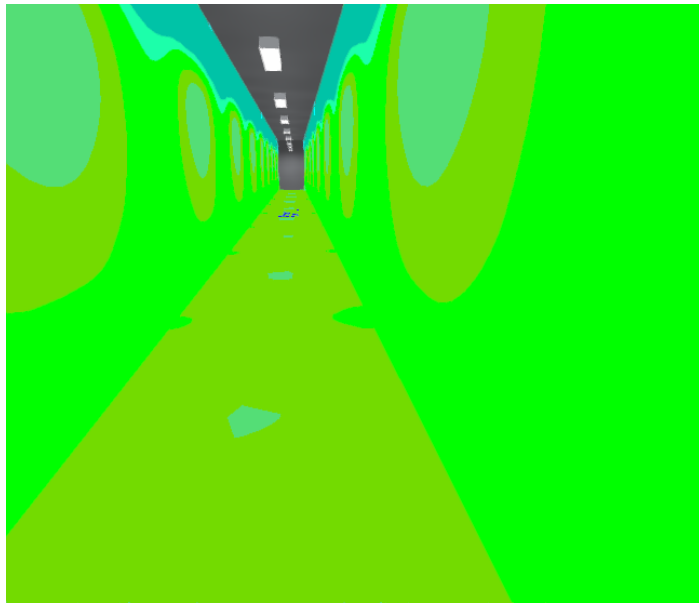
Fonte: Autor

Figura 27 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário A



Fonte: Autor

Figura 28 - Diagrama de falsas cores do CL para o cenário A



Fonte: Autor

Passando-se para o cenário B, as figuras abaixo representam graficamente os sistemas já citados, como curvas isométricas, renderização e *falsas cores*. Cabe ressaltar que a simulação do corredor de ligação (CL) para o cenário B não se faz necessária, visto ue o cenário C representa uma configuração de maior eficiência energética e sua simulação atende às normas.

Figura 29 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário B



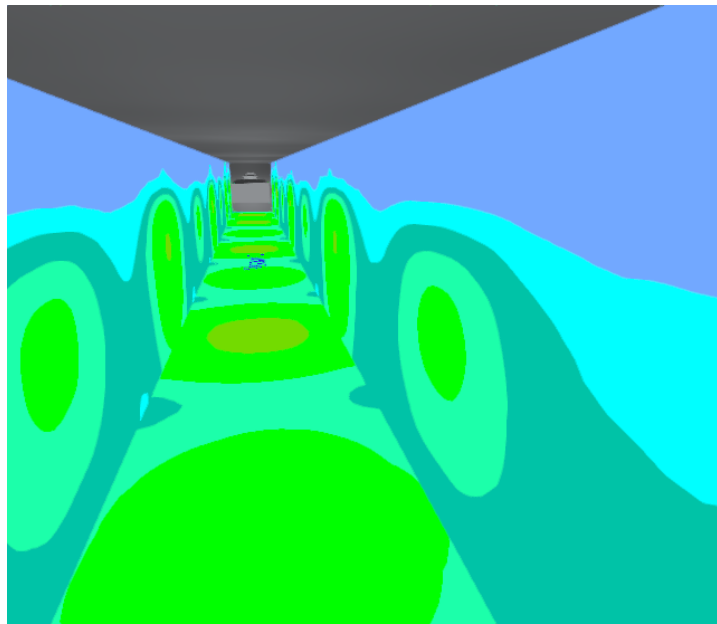
Fonte: Autor

Figura 30 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário B



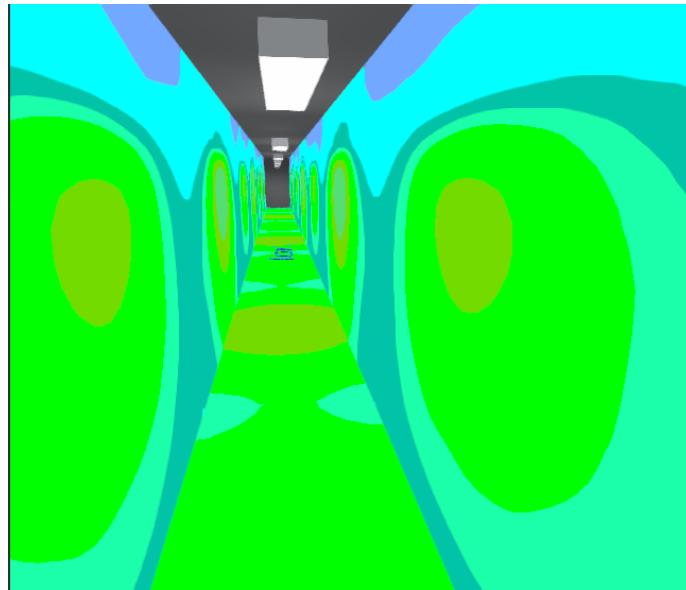
Fonte: Autor

Figura 31 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário B



Fonte: Autor

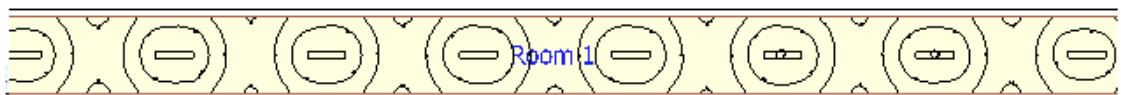
Figura 32 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário B



Fonte: Autor

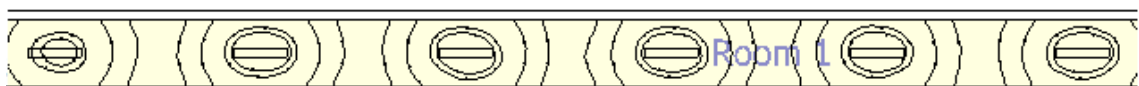
Passando-se agora para o cenário C, as figuras abaixo representam graficamente os sistemas já citados, como curvas isométricas, renderização e *falsas cores*.

Figura 33 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário C



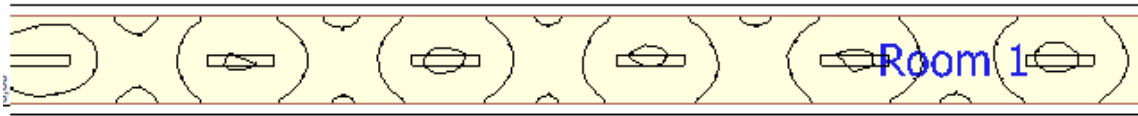
Fonte: Autor

Figura 34 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário C



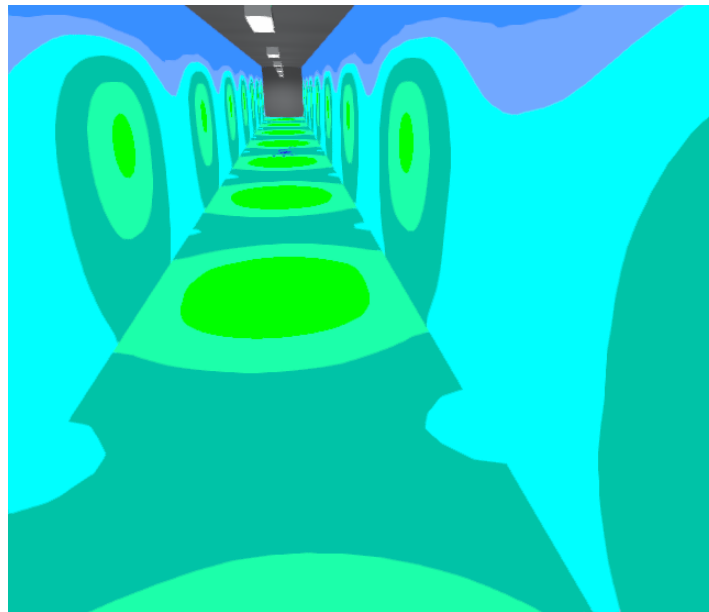
Fonte: Autor

Figura 35 - Linhas Isométricas do CL para o cenário C



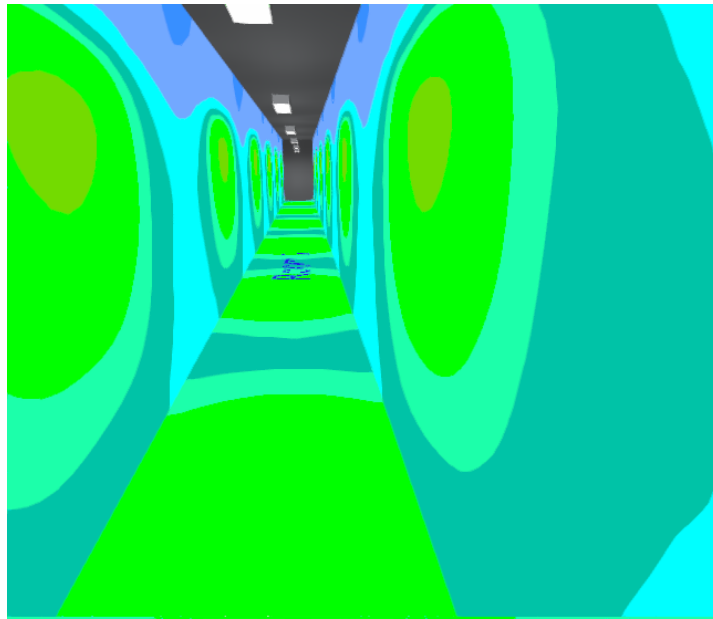
Fonte: Autor

Figura 36 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário C



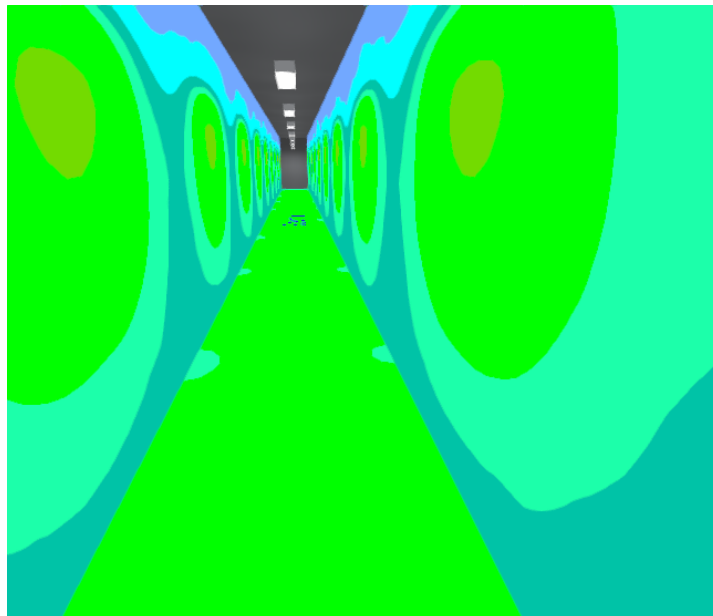
Fonte: Autor

Figura 37 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário C



Fonte: Autor

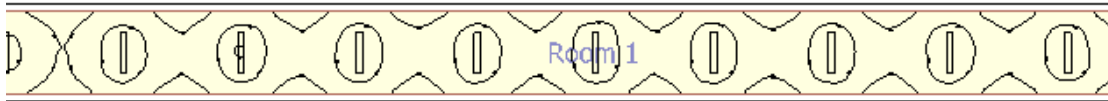
Figura 38 - Diagrama de falsas cores do CL para o cenário C



Fonte: Autor

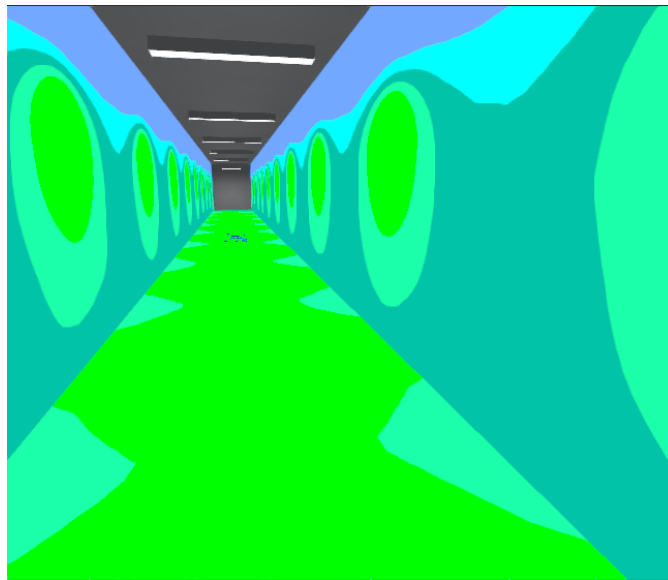
Neste caso, como encontra-se justificado e descrito no capítulo 4.4, foi necessária a simulação do cenário D para os corredores Ca, Cb e Cc. As figuras abaixo demonstram tal simulação.

Figura 39 - Linhas Isométricas do Ca e Cc para o cenário D



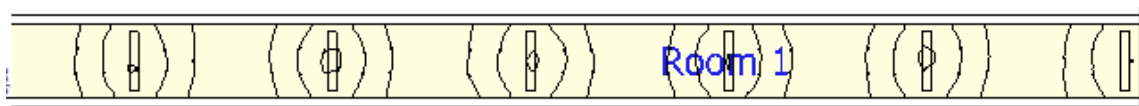
Fonte: Autor

Figura 40 - Diagrama de falsas cores do Ca e Cc para o cenário D



Fonte: Autor

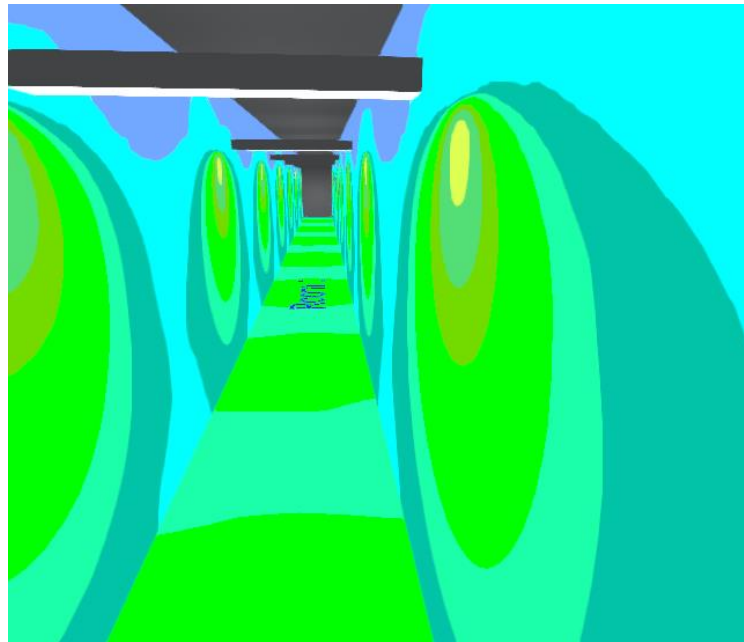
Figura 41 - Linhas Isométricas do Cb para o cenário D



Fonte: Autor



Figura 42 - Diagrama de falsas cores do Cb para o cenário D



Fonte: Autor

As tabelas abaixo demonstram os valores obtidos das simulações dos cenários para o prédio CE.

Tabela 12 - Corredor CE\_Ca e Cc

<b>Cenário</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$E_m$ (lux)	165	134	82,7	111
Fu	0,4	0,48	0,39	0,52

Fonte: Autor

Tabela 13 - Corredor CE\_Cb

<b>Cenário</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$E_m$ (lux)	199	149	99,6	107
Fu	0,46	0,32	0,46	0,53

Fonte: Autor

Tabela 14 - Corredor CE\_CL

Cenário	A	C
$E_m (lux)$	248	124
Fu	0,53	0,53

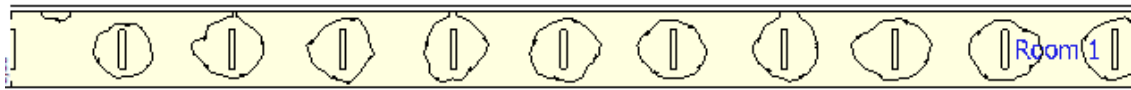
Fonte: Autor

#### 4.3.1.3 Prédio 19-Morfologia

Primeiramente, é feita a simulação do cenário A, que representa uma situação ideal para o qual foi voltado o projeto luminotécnico inicial do prédio. Cabe ressaltar que os corredores 19\_C1 e 19\_C2 possuem mesma estrutura e por isso é necessária apenas uma simulação para ambos.

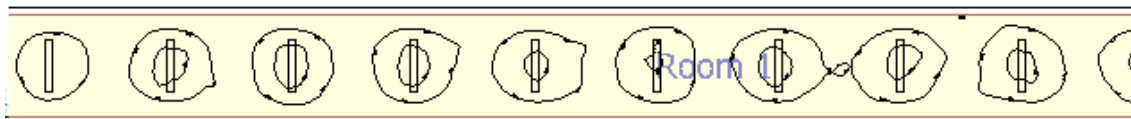
As Figuras 43 e 44 demonstram a distribuição de lâmpadas e as curvas isométricas de iluminação nos corredores avaliados. Essas curvas demonstram pontos onde a iluminância se mantém constante.

Figura 43 - Linhas Isométricas do 19\_C1 e C2 para o cenário A



Fonte: Autor

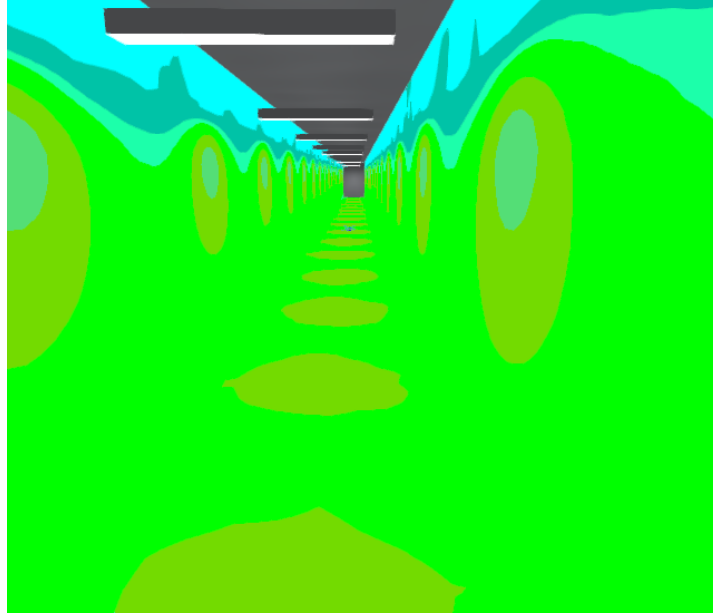
Figura 44 - Linhas Isométricas do 19\_Sub para o cenário A



Fonte: Autor

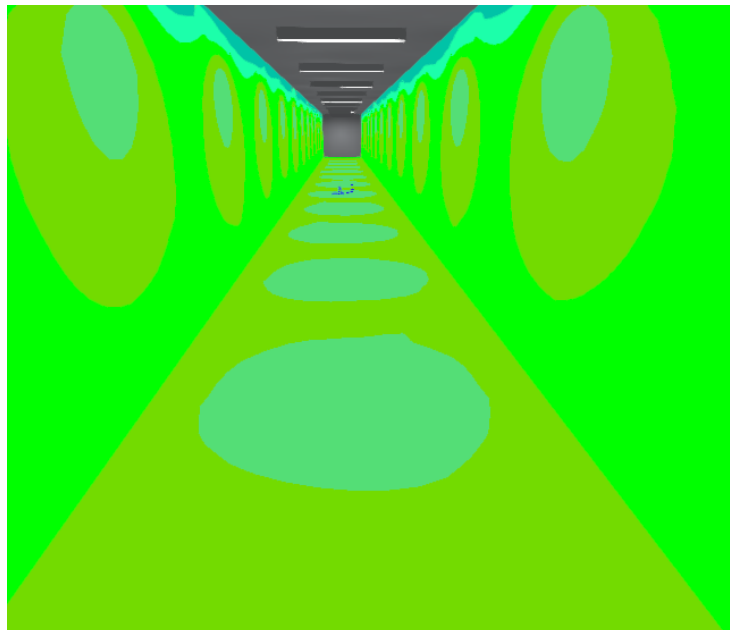
A Figuras 45 e 46 representam o modo de *falsas cores* dos mesmos corredores

Figura 45 - Diagrama de falsas cores do 19\_C1 e C2 para o cenário A



Fonte: Autor

Figura 46 - Diagrama de falsas cores do 19\_Sub para o cenário A



Fonte: Autor

A simulação do cenário B não se faz necessária, visto que o cenário C representa uma configuração de maior eficiência energética e sua simulação atende às normas.

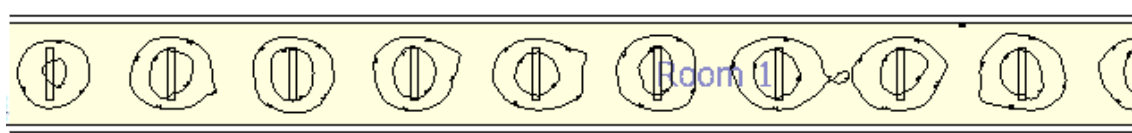
Passando-se agora para o cenário C, as figuras abaixo representam graficamente os sistemas já citados, como curvas isométricas, renderização e *falsas cores*.

Figura 47 - Linhas Isométricas do 19\_C1 e C2 para o cenário C



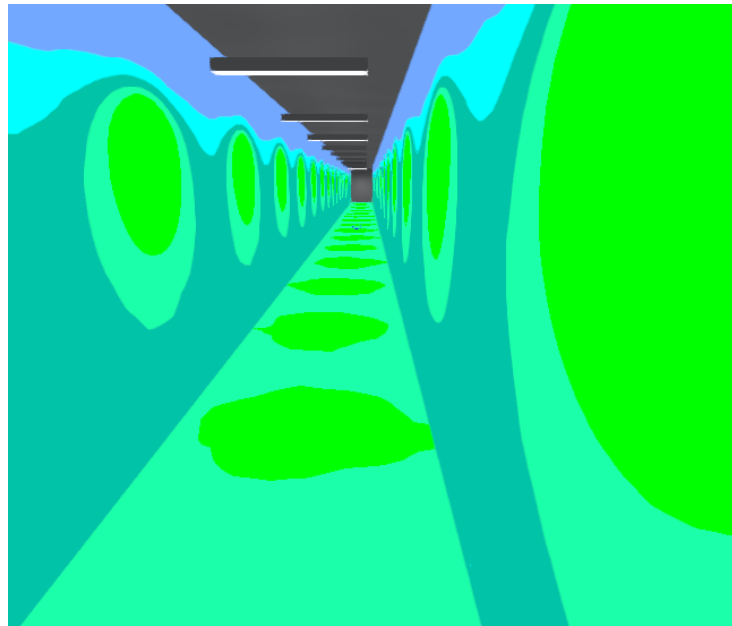
Fonte: Autor

Figura 48 - Linhas Isométricas do 19\_Sub para o cenário C



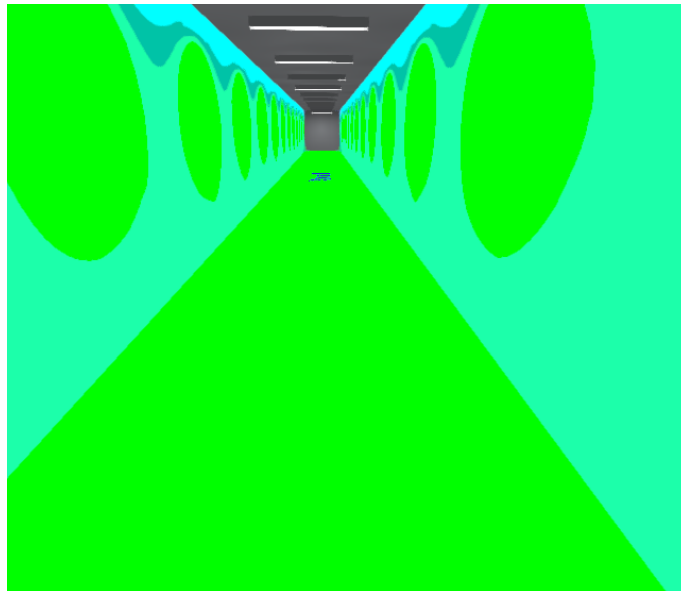
Fonte: Autor

Figura 49 - Diagrama de falsas cores do 19\_C1 e C2 para o cenário C



Fonte: Autor

Figura 50 - Diagrama de falsas cores do 19\_Sub para o cenário C



Fonte: Autor

As tabelas abaixo demonstram os valores obtidos das simulações dos cenários para o prédio 19-Morfologia.

Tabela 15 - Corredor 19\_C1 e C2

<b>Cenário</b>	<b>A</b>	<b>C</b>
$E_m$ (lux)	195	97,3
Fu	0,61	0,61

Fonte: Autor

Tabela 16 - Corredor 19\_Sub

<b>Cenário</b>	<b>A</b>	<b>C</b>
$E_m$ (lux)	289	145
Fu	0,57	0,57

Fonte: Autor

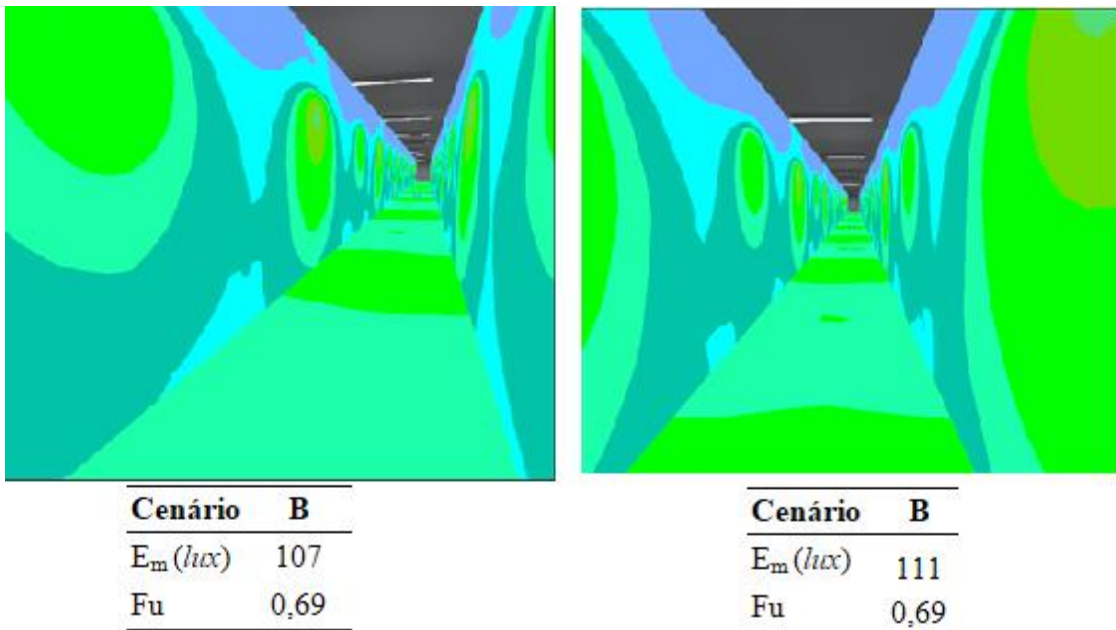
#### 4.4 PROPOSIÇÃO DE PROJETO

##### 4.4.1 Escolha dos Cenários Ideais

Analisando os resultados obtidos nas simulações, percebe-se que é possível adotar cenários de maior eficiência energética atendendo às normas, ou ficando muito próximo do cumprimento destas. Será considerado, primeiramente, que a utilização de lâmpadas LED, em totalidade, já reduz o consumo. A seguir foram eleitos os melhores cenários para cada caso, visando esses objetivos citados.

Para o prédio CCNE, onde as luminárias se encontram dispostas muito longe umas das outras e o aumento do número de luminárias é inviável, devido à natureza da instalação, o cenário B, de luminárias de uma e duas lâmpadas intercaladas, se mostrou a melhor solução, trazendo uma redução de nove lâmpadas por andar. A Figura 51 retoma o diagrama e os valores do cenário eleito como melhor opção dentro dos objetivos deste trabalho.

Figura 51 - Diagrama de falsas cores para o cenário eleito nos corredores do CCNE

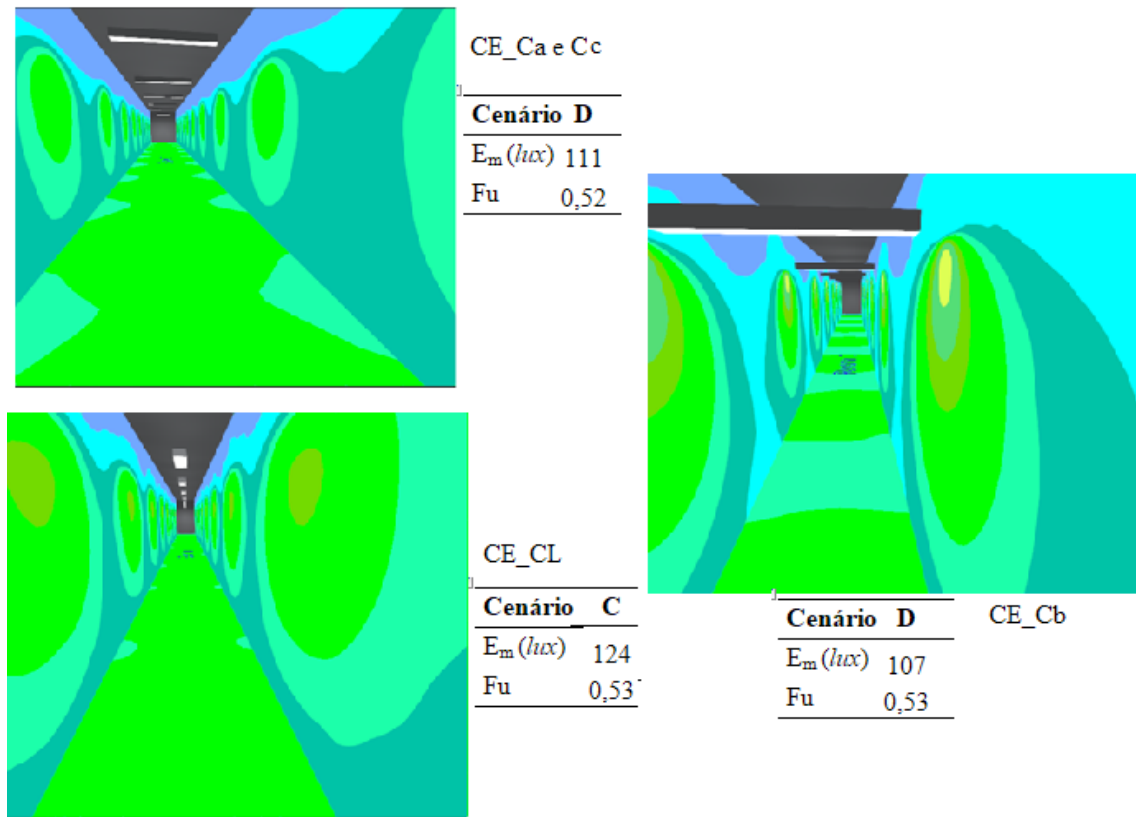


Fonte: Autor

Percebe-se que a transição de iluminância no solo é suave e que os valores estão dentro da norma.

Já para o prédio CE, onde as luminárias também são bastante espaçadas, mas sua forma de instalação, em trilhos suspensos por onde passa a fiação, permite o aumento do número de luminárias, o cenário D se mostrou a melhor opção para os corredores principais (*Ca*, *Cb* e *Cc*). Aqui o cenário D consiste em rotacionar as luminárias de forma transversal ao corredor, visando o aumento da uniformidade, além de acrescentar uma luminária no corredor *Cb* e três luminárias nos corredores *Ca* e *Cc*. Para o corredor *CL*, onde as luminárias estão mais próximas, o cenário C atingiu as normas e representa o menor consumo energético. A Figura 52 retoma o diagrama e os valores do cenário eleito como melhor opção dentro dos objetivos deste trabalho.

Figura 52 - Diagrama de falsas cores para o cenário eleito nos corredores do CE



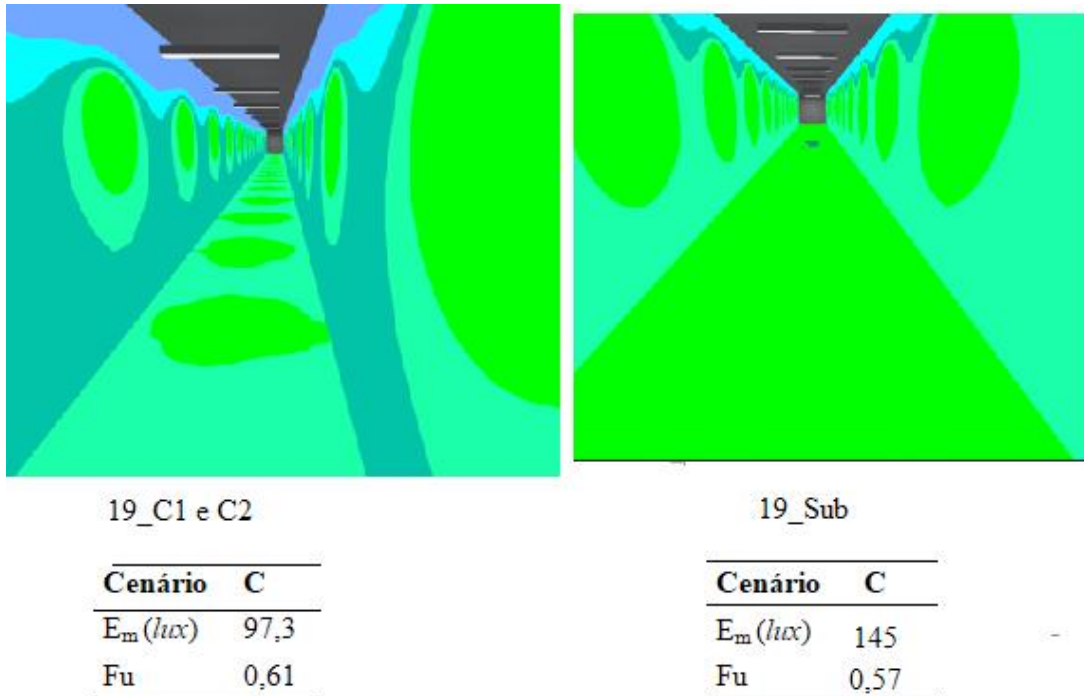
Fonte: Autor

Nota-se aqui que os valores de continuidade estão um pouco abaixo da norma, mas os diagramas mostram que a transição de iluminância é quase inexistente nos corredores Ca, Cc e CL, e suave no corredor Cb. Como o cálculo de continuidade é feito a partir da divisão no menor valor de iluminância pela iluminância média, o resultado, na simulação, pode dar um pouco abaixo do esperado, devido ao fato de que as extremidades dos corredores possuem valores menores desta grandeza. Esse erro é admitido, visto que a renderização dos corredores isoladamente produz esses pontos de menor iluminância nas extremidades.

Para o prédio 19-Morfologia, onde as luminárias estão mais próximas entre si, o cenário C é a melhor escolha. A Figura 53 retoma o diagrama e os valores do cenário eleito como melhor opção dentro dos objetivos deste trabalho.



Figura 53- Diagrama de falsas cores para o cenário eleito nos corredores do Prédio 19-Morfologia



Fonte: Autor

Novamente tem-se uma situação onde o valor de continuidade retornado pela simulação deu abaixo do valor normativo, mas seu respectivo diagrama mostra uma ótima continuidade. Foi observado que o fator de continuidade tende a ser menor quando a iluminância média é alta, como pode ser deduzido da Equação 5.

#### 4.4.2 Comparação de consumo entre os cenários

Considerando que o sistema de iluminação fique ativo por 8 horas por dia, são apresentados os cálculos com os consumos de energia de três cenários: A situação real que foi levantada em campo, o cenário A, e o cenário escolhido como melhor opção. Porém o tempo que o sistema fica ativo pode variar devido à baixa incidência de luz natural, exigindo que as lâmpadas fiquem ligadas por mais horas.

Os cálculos as seguir consideram, para o *cenário real*, o consumo das lâmpadas operantes atualmente instaladas nas áreas medidas. Já para o *cenário A*, são duas lâmpadas LED 18w por luminária. E para o *cenário escolhido*, o número de lâmpadas está de acordo

com o que foi descrito na seção 3.4. Cada cenário será analisado nos períodos de 1 mês, 6 meses, 12 meses, 24 meses e 36 meses. Os resultados são mostrados nas Tabelas 17, 18, 19 E 20 e nas Figuras 54, 55, 56 E 57, que mostram a diferença no consumo que a mudança proposta no sistema de iluminação representa. Conforme aumenta-se o período analisado, tem-se uma mudança mais significativa.

Tabela 17 – Prédio CCNE: Consumo por Cenário

<b>Período (meses)</b>	<b>Consumo no cenário Real (MWh)</b>	<b>Consumo no cenário A (MWh)</b>	<b>Consumo no cenário Escolhido (B) (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário Real e o Escolhido (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário A e o Escolhido (MWh)</b>
1	0,569	0,510	0,393	0,176	0,117
6	3,416	3,059	2,359	1,057	0,700
12	6,831	6,117	4,717	2,114	1,400
24	13,663	12,234	9,435	4,228	2,799
36	20,494	18,351	14,152	6,342	4,199

Fonte: Autor

Tabela 18 - Prédio CE: Consumo por Cenário

<b>Período (meses)</b>	<b>Consumo no cenário Real (MWh)</b>	<b>Consumo no cenário A (MWh)</b>	<b>Consumo no cenário Escolhido (D e C) (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário Real e os Escolhidos (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário A e os Escolhidos (MWh)</b>
1	1,232	1,063	0,531	0,701	0,531
6	7,393	6,376	3,188	4,205	3,188
12	14,786	12,753	6,376	8,410	6,376
24	29,572	25,505	12,753	16,819	12,753
36	44,358	38,258	19,129	25,229	19,129

Fonte: Autor

Tabela 19 – Prédio 19-Morfologia: Consumo por Cenário

<b>Período (meses)</b>	<b>Consumo no cenário Real (MWh)</b>	<b>Consumo no cenário A (MWh)</b>	<b>Consumo no cenário Escolhido (B) (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário Real e o Escolhido (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário A e o Escolhido (MWh)</b>
1	0,402	0,467	0,233	0,168	0,233
6	2,411	2,799	1,400	1,011	1,400
12	4,821	5,599	2,799	2,022	2,799
24	9,642	11,197	5,599	4,044	5,599
36	14,463	16,796	8,398	6,065	8,398

Fonte: Autor

Constata-se que a economia no CCNE, do sistema real para o cenário escolhido, é de 31%, a do prédio CE é de 57% e a do Prédio 19-Morfologia é de 42%. Ainda se nota que o prédio com maior área estudada gera uma economia de consumo, em 3 anos, de 25MWh.

Agora o somatório dos três prédios, segundo a Tabela 20:

Tabela 20 - Consumo Total dos três prédios estudados, por cenário

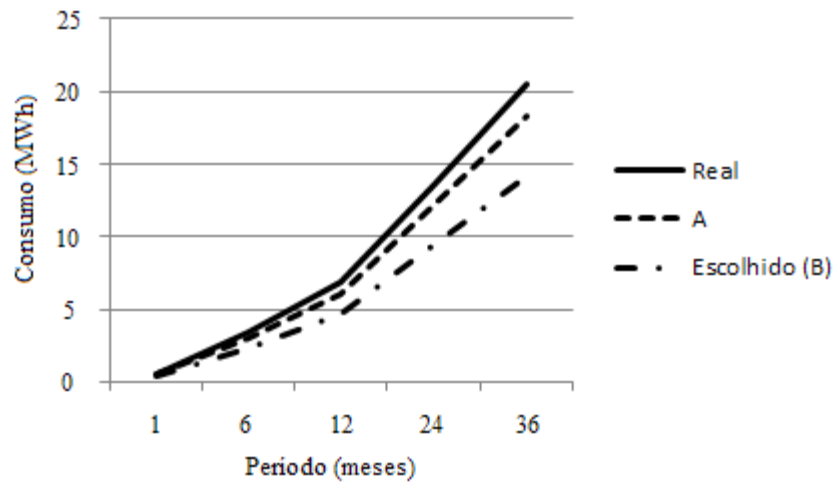
<b>Período (meses)</b>	<b>Consumo nos cenários Real (MWh)</b>	<b>Consumo nos cenários A (MWh)</b>	<b>Consumo nos cenários Escolhidos (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário Real e os Escolhidos (MWh)</b>	<b>Diferença entre o cenário A e os Escolhidos (MWh)</b>
1	2,203	2,039	1,158	1,045	0,881
6	13,219	12,234	6,947	6,273	5,288
12	26,438	24,468	13,893	12,545	10,575
24	52,877	48,937	27,786	25,091	21,151
36	79,315	73,405	41,679	37,636	31,726

Fonte: Autor

Percebe-se que a economia no consumo energético é, no somatório dos três prédios estudados, de 47%, representando, em 3 anos, 38MWh, do sistema atualmente instalado para o sistema representado pelos respectivos cenários escolhidos para cada corredor estudado.

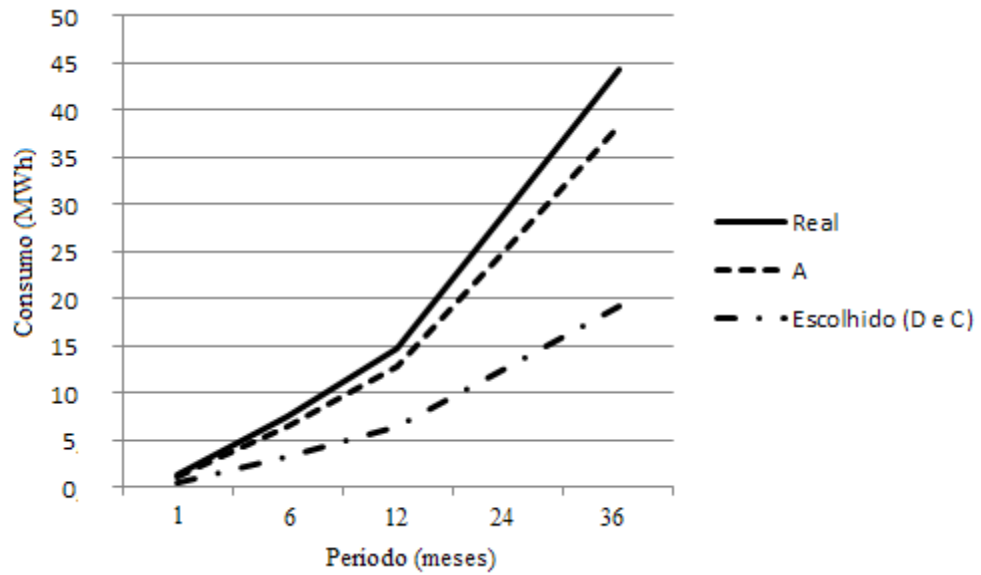
Abaixo, os gráficos trazem os resultados obtidos, permitindo uma visualização complementar da redução do consumo energético:

Figura 54 - Gráfico relativo à Tabela 17 (CCNE)



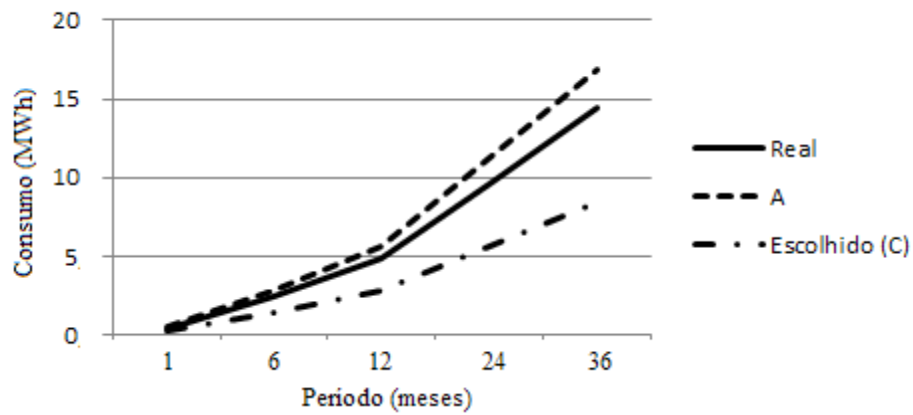
Fonte: Autor

Figura 55 - Gráfico relativo à Tabela 18 (CE)



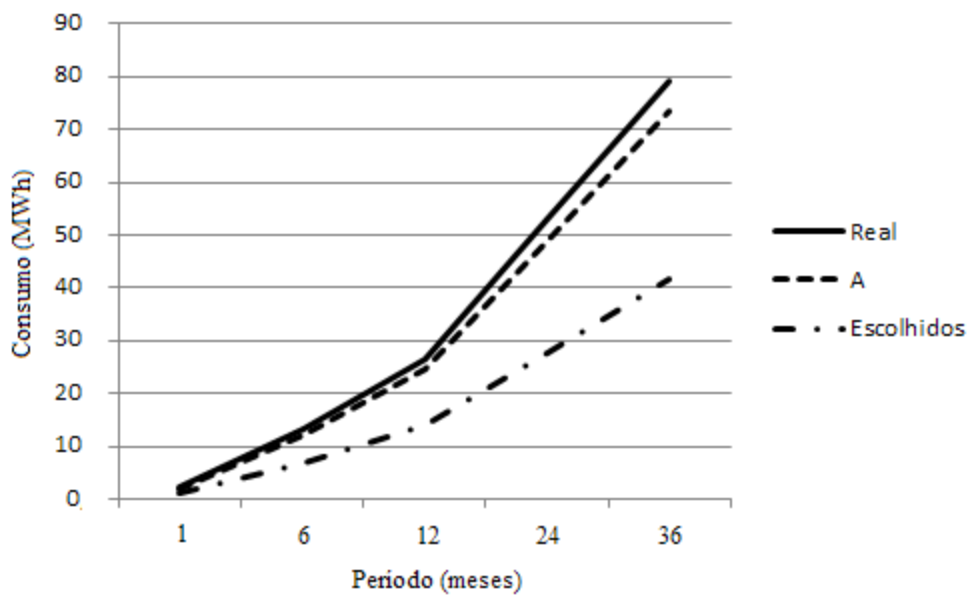
Fonte: Autor

Figura 56 - Gráfico relativo à Tabela 19 (Prédio 19-Morfologia)



Fonte: Autor

Figura 57 - Gráfico relativo à Tabela 20 (Total)



Fonte: Autor

#### 4.4.2.1 Payback

A fim de se traçar um estudo financeiro, pode ser feita uma estimativa de retorno de investimento, utilizando pressupostos valores de mercado, tanto dos equipamentos, quanto do preço do MWh. Para pressupor preços de MWh aproximados aos reais, será utilizado uma

tabela de preços de fácil acesso, disponibilizada por uma concessionária que atende outra região do Rio Grande do Sul, a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). Já o preço de luminárias e lâmpadas foi aproximado a partir de pesquisa em diversas lojas brasileiras com sites de compras contendo os produtos citados. Sendo a UFSM cliente do grupo A, subgrupo A4, tarifa Azul, as estimativas de preço, com impostos, são:

- R\$/MWh ponta: 627,233
- R\$/MWh fora de ponta: 376,401
- R\$/MWh equivalente (considerando 3, das 8 horas de luzes ligadas, como horário de ponta): 470,463
- Preço da compra de lâmpadas necessárias (174 a R\$15): R\$ 2.610,00
- Preço da compra de luminárias necessárias (21 a R\$150): R\$ 3.150,00

Com esses dados, o retorno de investimento total (R\$ 5.760,00), seria de aproximadamente 11 meses e 21 dias. Cabe observar que o custo de compra de luminárias é elevado, sendo que o tempo de retorno de investimento levando em consideração somente o custo das lâmpadas será de 5 meses e 10 dias. Visto isso, o cenário D se prova, mais uma vez, a última opção a ser considerada.

#### 4.5 ROTINA DE MANUTENÇÃO

A tabela D.2 da NBR 8995 apresenta exemplos de referência para fatores de manutenção em ambientes que podem ser utilizados para esse estudo. Abaixo apresenta-se a Tabela 8 com os valores de referência para cálculo do FM.

Tabela 21 - Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores

Fator de manutenção	Exemplo
0,80	Ambiente muito limpo, ciclo de manutenção de um ano, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 1,00; FML = 0,90; FMSS =

	0,96
0,67	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,80; FMSS = 0,90
0,57	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,74; FMSS = 0,83
0,50	Ambiente sujo, ciclo de manutenção de três anos, 8.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, LLB, substituição em grupo, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 0,93; FML = 0,65; FMSS = 0,94

Fonte: NBR 8995-1:2013

A durabilidade da iluminância e vida útil das lâmpadas dependem significativamente do fator de manutenção. A norma NBR 8995 em seu Anexo D traz sugestões para elaborar uma rotina e se manterem bons resultados ao longo do tempo de serviço. A partir da Tabela 8 é possível elaborar a documentação para a rotina de manutenção, também exemplificado no anexo D da NBR 8995.

Tabela 22 - Rotina de manutenção das luminárias

<b>Projeto:</b>	Rotina de manutenção das luminárias	
<b>Ambiente:</b>	Corredores e áreas de passagem	
<b>Data:</b>	02/12/2018	
<b>Luminárias</b>		
Descrição:	Intral AS-820 sem refletor	
Código:	05292	
Intervalo de limpeza:	1 ano	
FML		0,80
<b>Lâmpada:</b>		
Descrição:	T8 LED – Golden 3904 C	
Potência nominal:	18 W	
Substituição da lâmpada:	Individual	
Reator:	Não existente	
Manutenção da lâmpada em anos:	4 anos	
FMFL		0,91
FSL		1
<b>Ambiente:</b>		
Nível de limpeza	Normal	
Intervalo de limpeza	2 anos	
FMSS		0,90
<b>Fator de manutenção</b>		
		0,67

Fonte: NBR 8995-1:2013

#### 4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a realização das medições em campo, pôde-se constatar a situação precária dos atuais sistemas de iluminação nos corredores estudados, principalmente nos andares menos acessados, como o terceiro andar dos prédios ou o subsolo. Muitos sistemas não atingem as normas, possuem alto consumo energético e baixa eficiência luminotécnica, com inúmeras lâmpadas defeituosas. Apesar dos valores calculados de  $F_u$  estarem em sua maioria dentro das normas, isso se deve ao fato da grandeza calculada  $E_m$  estar abaixo dos valores normativos em muitas situações, o que favorece o resultado de  $F_u$ , segundo a Equação 5. Então se tem uma boa continuidade na iluminância, mas é uma iluminância continuamente baixa.



Na parte de simulações se obtiveram valores satisfatórios para alguns cenários propostos, sendo que cada configuração de alturas e espaçamento de luminárias requer um cenário diferente. Foi constatado que valores baixos de  $F_u$ , nas simulações, podem ser resultado da baixa iluminância nas extremidades dos corredores, por estes terem sido renderizados separadamente. Porém o diagrama de falsas cores se mostrou um ótimo complemento na avaliação da eficácia dos cenários propostos, mostrando que a descontinuidade indicada pelos valores muitas vezes não é visível.

As simulações ainda revelaram que as grandes distâncias entre as luminárias são o maior problema dos sistemas de iluminação dos corredores estudados. Já a curta distância entre luminárias facilita a implementação do cenário C, o de maior economia energética. Outra revelação constatada é de que a instalação de luminárias em alturas elevadas favorece a continuidade, mas não impacta tanto na iluminância média, pelo fato de que o valor normativo para áreas de circulação, de 100 lux, é relativamente baixo e as lâmpadas escolhidas dão conta dessa exigência sem muitas dificuldades. Já as lâmpadas instaladas em alturas menores retornam grandes valores de  $E_m$ , mas ficam suscetíveis a menores valores de  $F_u$ .

A mudança no número de luminárias instaladas geralmente é pouco viável, por isso o cenário D foi uma opção utilizada apenas quando não se conseguiu atingir os objetivos nos demais cenários.

As simulações mostraram a viabilidade de implementação dos cenários escolhidos, visto a grande economia de energia (47%, do gasto no sistema atualmente instalado, ou 1,04 MWh/mês) e o atendimento normativo.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou um estudo no qual se objetivou avaliar a condição luminotécnica das áreas de circulação de parte dos prédios CCNE, CE e 19-Morfologia da UFSM e elaborar propostas com a finalidade de aumentar a eficiência e eficácia dos sistemas de iluminação.

Previamente, foi introduzido o assunto a ser estudado, contextualizando e apresentando as situações aqui avaliadas. Foram citadas a importância da eficiência energética no mundo, a situação orçamentária da UFSM, ações e estudos de objetivos similares a este trabalho que estão sendo promovidos nesta instituição.

O capítulo 2 trouxe a revisão bibliográfica e os conceitos básicos necessários para o entendimento deste trabalho. Com isso, pretendeu-se revisar conteúdos que auxiliaram no seu desenvolvimento.

A metodologia utilizada é apresentada no terceiro capítulo. Nele são apresentados os casos a serem estudados e os métodos para análise destes. Ao final, apresentam-se os cenários com as modificações de sistema de iluminação que cada um propõe.

Os resultados são apresentados no capítulo 4, onde também foram discutidos na conclusão o respectivo capítulo. Os resultados obtidos a partir das simulações e amostragens em corredores puderam ser comparados e trouxeram importantes revelações. Todos os cenários que possibilitam reduzir o número de lâmpadas instaladas tiveram utilidade, dependendo do corredor estudado. Esses cenários, B, C e D, trazem reduções no consumo de energia, ficando para o cenário C a redução mais significativa, pois propõe que seja instalada apenas uma lâmpada LED por luminária. Todos os cenários representaram alternativas para os sistemas de iluminação atingirem os valores normativos e trazerem alguma redução no consumo de energia, de aproximadamente 47% do gasto no sistema atualmente instalado, ou 1,04 MWh/mês, proporcionando ao sistema, como um todo, mais eficiência energética.

Visto isso, conclui-se com este trabalho a possibilidade de implementação de sistemas luminotécnicos mais eficientes, tanto para as normas quanto para o consumo energético. Esses sistemas podem ser compostos por apenas uma lâmpada por luminária, ou luminárias com duas e uma lâmpada intercaladas, ou ainda, novamente, por luminárias de lâmpada única, mas com incrementação no número de luminárias e rotação das mesmas. O menor consumo e a

diminuição de equipamentos podem ser redirecionados para áreas de sistemas de iluminação precárias, nos inúmeros prédios onde esta situação pode ser constatada, melhorando a eficiência luminotécnica de toda a UFSM.

## 5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho contribuiu com soluções que reduzem o uso de energia nas áreas de circulação de um prédio público, melhorando a eficiência energética do mesmo. Também se provou a importância de um estudo prévio a ser efetuado antes da simples troca de lâmpadas no sistema luminotécnico. A energia economizada a partir das modificações propostas neste trabalho podem ser redirecionadas para outras áreas deficitárias ou diminuir despesas com energia, que atualmente é de suma importância para a situação orçamentária UFSM e demais instituições federais de ensino.

A situação revelada na coleta de dados em campo mostra que a contribuição não é somente em redução de gastos, mas também em proporcionar a iluminação necessária para circulação com conforto e segurança, com eficácia, configurando um amplo conceito de eficiência energética.

## 5.3 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo dos prédios aqui relacionados demonstra a necessidade deste tipo de estudo continuar sendo feito nos demais prédios da UFSM, principalmente num momento onde se tem metas de redução de gastos com energia elétrica. Mais ainda, em outras instituições federais de ensino que se encontrem com necessidade de reduzir tais gastos.

## REFERÊNCIAS

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

DIAL. DIALux. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux-desktop/>> Acesso em: 28 nov. 2019.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Custos e Tarifas. Disponível em: <[http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/Folder%20Grupo%20A\\_2019\\_5508.pdf](http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/Folder%20Grupo%20A_2019_5508.pdf)> Acesso em: 28 nov. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço Energético Nacional 2017 - Ano base 2016. Rio de Janeiro.

GOLDEN. Ultraled Tubular. Modelo 3904 Disponível em: [http://lampadasgolden.com.br/albuns/produtos/baixar.php?arquivo=GOL05716%20R2%20Ficha%20Tecnica%20-%20Ultraled%20Tubular%20-%20PRO\\_rev\\_1.pdf](http://lampadasgolden.com.br/albuns/produtos/baixar.php?arquivo=GOL05716%20R2%20Ficha%20Tecnica%20-%20Ultraled%20Tubular%20-%20PRO_rev_1.pdf) Acesso em: 28 nov. 2019.

GORDON, G. Interior Lighting for Desingners. 5. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.

MAMEDE FILHO, João, Instalações elétricas industriais. 9. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2018

MARINS, MIGUEL S. **Verificação das Condições de Iluminação de Áreas de Circulação de Prédios Públicos** - UFSM 2018.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e a população mundial**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>. Acesso em: 28 nov. 2019.

POLITERM. Luxímetro digital modelo POL-10B. Disponível em: <http://www.politerm.com.br/Produto-PRODUTOS-Luximetro-Luximetro-Digital-modeloPOL-10B-versao-175-191.aspx>. Acesso em: 28 nov. 2019.

REA, M. S. Illuminating Engineering Society of North America. The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application. 9. ed. [S.l.]: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

SEÇÃO SINDICAL DOS DOCENTES DA UFSM. **Energia elétrica é a grande vilã nos gastos da UFSM, diz vice-reitor**. 2019. Disponível em: <https://www.sedufsm.org.br/index.php?secao=noticias&id=5625>. Acesso em: 28 nov. 2019.

TAVARES, José da Cunha Tópicos de administração aplicada à segurança do trabalho. 5ª ed.rev. e ampl. – São Paulo: Editora Senac, São Paulo, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **UFSM divulga recomendações de racionamento de energia**. 2019. Disponível em: <https://www.ufsm.br/unidades-universitarias/ccne/2019/10/16/ufsm-divulga-recomendacoes-de-acionamento-de-energia/>. Acesso em: 28 nov. 2019.

---

**UFSM desenvolve projeto de eficiência energética junto com a CPFL e RGE Sul.** 2018. . Disponível em: <https://www.ufsm.br/2018/04/10/%E2%80%8Bufsm-desenvolve-projeto-de-eficiencia-energetica-junto-com-a-cpfl-e-rge-sul/>. Acesso em: 28 nov. 2019.