

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

Gabriel Rodrigo Sotele

**ESTUDO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CIRCULAÇÃO  
DE UMA EDIFICAÇÃO HOSPITALAR**

Santa Maria, RS  
2020

**Gabriel Rodrigo Sotele**

**ESTUDO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CIRCULAÇÃO  
DE UMA EDIFICAÇÃO HOSPITALAR**

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**.

**Orientador: Profº Dr. Diego Berlezzi Ramos**

Santa Maria, RS  
2020

**Gabriel Rodrigo Sotele**

**ESTUDO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CIRCULAÇÃO  
DE UMA EDIFICAÇÃO HOSPITALAR**

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 dia de mês de ano:**

---

**Orientador: Profº Dr. Diego Berlezzi Ramos**

---

**Eng. Eduardo Giuliani**

---

**Eng. Me. Guilherme Braga da Costa**

Santa Maria, RS  
2020

## **AGRADECIMENTOS**

## RESUMO

### **ESTUDO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CIRCULAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO HOSPITALAR**

AUTOR: Gabriel Rodrigo Sotele  
ORIENTADOR: Diego Berlezzi Ramos

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o sistema de iluminação das áreas de passagem de um hospital. Como referência para este trabalho as atividades desenvolveram-se no âmbito do Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM). Analisou-se o sistema luminotécnico atualmente instalado. Com base nas normativas que regulamentam as características da iluminação em ambientes de trabalho e, caso necessário, propõe-se mudanças visando uma melhor conformidade com a norma vigente. Neste caso, utiliza-se a NBR8995 - Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 1: Interior. Após a coleta de informações sobre a iluminação no hospital são realizadas simulações e visitas de campo adicionais para avaliar de maneira otimizada os critérios essenciais para a realização deste trabalho: a iluminância média, o fator de uniformidade, o consumo energético e a eficiência do sistema como um todo. Os resultados mostram que a utilização de novas tecnologias contribui para uma iluminação até seis vezes mais eficiente, acompanhada de uma redução de custos com eletricidade.

**Palavras-chave:** NBR ISSO 8995. Sistema de iluminação. eficiência energética.

## ABSTRACT

### STUDY ABOUT THE LIGHT SYSTEM OF THE CIRCULATION AREAS OF A HOSPITAL BUILDING

AUTHOR: Gabriel Rodrigo Sotele

ADVISOR: Diego Berlezzi Ramos

This paper presents a case study about the lighting system of the circulation areas of a hospital. As a reference for this work, the activities were developed at the University Hospital of Santa Maria (HUSM). Were analyzed the luminotecnical system currently installed. Based on regulations that control the characteristics of lighting in work environments and, if necessary, changes are proposed, for a better compliance with the current regulations. In this work, the main norm is the “NBR8995 - Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 1: Interior”. After collecting information on the hospital lighting system, additional field visits and simulations were carried out to optimally assess the essential criteria for carrying this work: the medium illuminance, the uniformity factor, the energy consumption and the efficiency of the system as a whole. The results show that the use of new technologies contributes to a lighting system up to six times more efficient, accompanied by a reduction in electricity costs.

**Keywords:** NBR ISO 8995. Illumination system. energy efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição não ideal de isolinhas. ....	20
Figura 2 - Distribuição próxima a ideal de isolinhas. ....	20
Figura 3 - Diagrama de falsas cores de um corredor do HUSM. ....	21
Figura 4 - Modelo 3D do HUSM. ....	25
Figura 5 - Isolinhas do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico atual. ....	26
Figura 6 - Isolinhas do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico ideal com as luminárias atuais. ....	27
Figura 7 - Isolinhas do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico proposto (reprojeto). .....	27
Figura 8 - Diagrama de falsas cores do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico atual. .....	28
Figura 9 - Diagrama de falsas cores do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico ideal com as luminárias atuais. ....	29
Figura 10 - Diagrama de falsas cores do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico proposto (reprojeto). ....	30
Figura 11 - Gráfico do consumo de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM em MWh. ....	31
Figura 12 - Gráfico dos custos de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM em R\$. ....	32
Figura 13 – Curvas características de iluminação da luminária AS-810. ....	37

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Índices luminosos para áreas gerais de circulação por idade, em lux. ....	17
Tabela 2 - Parâmetros de iluminação em áreas de passagem definidos pela NBR-8995. ....	18
Tabela 3 - Escala de luminância (em lux) recomendada pela NBR 8995-1:2013. ....	18
Tabela 4 - Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores. ....	22
Tabela 5 - Consumo de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM. ....	31
Tabela 6 - Consumo de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM. ....	32
Tabela 7 – Rotina de manutenção das luminárias. ....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS

E	Iluminância;
$E_m$	Iluminância mantida;
UGR	Índice de ofuscamento unificado;
UGRL	Índice limite de ofuscamento;
IRC	Índice de reprodução de cores;
$R_a$	Índice de reprodução de cor mínimo;
$\psi$	Fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, em lumens;
E	Iluminamento médio requerido, em lux;
S	Área do recinto, em m <sup>2</sup> ;
$F_d$	Fator de depreciação;
$F_u$	Fator de utilização do recinto;
$N_{lu}$	Número de luminárias;
$N_{la}$	Número de lâmpadas;
$\psi_l$	Fluxo luminoso de cada lâmpada;
$N_{lu}$	Fluxo luminoso total a ser emitido pela luminária.

**LISTA DE ABREVIATURAS**

LED	Light Emitting Diode;
UV	Ultraviolet;
HUSM	Hospital Universitário de Santa Maria;
IR	Infrared;
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
kWh	Quilowatt-hora
MWh	Megawatt-hora
R\$/kW	Reais por Quilowatt-hora

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
1.2 MOTIVAÇÕES .....	14
1.3 JUSTIFICATIVAS .....	14
1.4 OBJETIVOS .....	15
<b>1.4.1 Objetivo Principal</b> .....	15
<b>1.4.2 Objetivos Secundários</b> .....	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 INTRODUÇÃO .....	16
2.2 ILUMINAÇÃO DE ÁREAS DE CIRCULAÇÃO .....	16
<b>2.4.1 Cálculos de Limites Toleráveis</b> .....	18
<b>2.4.2 Diagramas de Isolinhas</b> .....	20
<b>2.4.3 Diagramas de Falsas Cores</b> .....	20
<b>2.4.5 Demais Parâmetros</b> .....	21
2.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	22
2.6 ROTINA DE MANUTENÇÃO .....	22
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	23
3.1 INTRODUÇÃO .....	23
3.2 ESTUDO DE CASO .....	23
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3.4 CENÁRIOS APRESENTADOS .....	24
<b>4.RESULTADOS</b> .....	24
4.1 INTRODUÇÃO .....	24
4.2 SIMULAÇÕES .....	25
4.3ANÁLISE LUMINOTÉCNICA .....	25
<b>4.3.1 Isolinhas</b> .....	26
<b>4.3.2 Diagrama de Falsas Cores</b> .....	28
4.4 ANÁLISE ECONÔMICA .....	30
4.5 ROTINA DE MANUTENÇÃO .....	32
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	34
5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	34
5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO .....	34
5.3 TRABALHOS FUTUROS .....	34

<b>APENDICE A – CARACTERÍSTICAS DA ILUMINAÇÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>APENDICE B – CARACTERÍSTICAS DA LUMINÁRIA AS-810.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Conforme Gordon (2003), em um período de 130 anos o mundo sofreu três revoluções na iluminação elétrica: a primeira em 1879, com a invenção da lâmpada incandescente por Thomas Edison, a segunda em 1938, com a introdução das lâmpadas fluorescentes, e hoje vivencia-se a terceira revolução. Esta é marcada pela introdução e o desenvolvimento de tecnologias LED (light-emitting diode), bem como o estudo dos potenciais biológicos e comportamentais da iluminação nas pessoas, sem negligenciar a efetividade energética.

Além do avanço tecnológico obtido por meio das lâmpadas LEDs, outro campo também se beneficiou. É o caso da eficiência energética, cuja importância se dá por reduzir o consumo de energia concomitante. Esta redução de consumo impacta tanto na redução dos gastos do consumidor com energia elétrica quanto na liberação de emissões nocivas ao ambiente. De acordo com Sarwary & Pavlov (2019), estudos mostram que a eficiência energética aumentou em 13% entre os anos 2000 e 2017.

Conforme Espejel-Blanco et al. (2019), a renovação de um sistema de iluminação baseado em lâmpadas fluorescentes por um sistema baseado em tecnologia LED em conjunto com um sistema de controle para a iluminação, pode acarretar em uma redução de aproximadamente 55% nos gastos com energia elétrica.

Os seres vivos possuem complexas respostas psicofisiológicas ao longo do dia e são suscetíveis as variações sazonais da radiação solar as quais estão submetidos. O ramo que estuda os efeitos da luz sobre os organismos chama-se fotobiologia e avalia as respostas óticas as faixas do ultravioleta (UV), visível e infravermelha (IR) do espectro eletromagnético. Dentre os diversos ambientes nos quais as tecnologias da iluminação artificial se adaptam estão os ambientes de saúde. Isto se dá pela comprovação de que a iluminação afeta as condições psicofisiológicas dos seres humanos. Estes são os chamados “efeitos não visuais da luz” por Gordon, (2003). Incluem-se entre eles a produção de melatonina e de cortisol, a temperatura corporal, o desempenho cognitivo e psicomotor. Então, enfatiza-se a necessária revisão das condições luminotécnicas nos mais diversos ambientes de trabalho. Especialmente aqueles ambientes que dependem principalmente dos sistemas de iluminação artificial.

Considerando o exposto acima este trabalho propõe e avalia cenários luminotécnicos visando a eficiência energética e a conformação normativa para as áreas de circulação de pessoas do HUSM (Hospital Universitário de Santa Maria). O estudo realiza simulações

computacionais baseadas no software DIALux e ensaios práticos de acordo com o manual *Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) Handbook* e compara estes resultados a normatização brasileira referente aos sistemas de iluminação.

## 1.2 MOTIVAÇÕES

Dadas as frequentes restrições energéticas enfrentadas pelas mais diversas instituições, incluindo também os ambientes de tratamento de saúde, observa-se que, por meio da revisão luminotécnica pode-se favorecer, tanto operacionalmente como ergonomicamente, a manutenção destas edificações. Dado que, o contexto luminotécnico afeta o ambiente hospitalar de muitas maneiras, entende-se que é importante a condução de uma avaliação criteriosa neste ambiente antes de propor diferentes soluções de iluminação.

Neste contexto, optou-se por avaliar o projeto luminotécnico das áreas de circulação, escadas e corredores, do Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM). Por meio de visita técnica nas instalações desta instituição constatou-se a necessidade de se aferir a efetividade do projeto luminotécnico presente, e verificar novas possibilidades com a proposição de diferentes e mais modernos cenários luminotécnicos. Além disso, procura-se elaborar um procedimento para a coleta de informações para assim aprimorar a eficiência energética e a qualidade da luz, com base na substituição das lâmpadas, por outras de tecnologia superior LED.

## 1.3 JUSTIFICATIVAS

O primeiro contato entre o médico e paciente, muitas vezes, ocorre nos corredores dos hospitais, principalmente nas alas de pronto atendimento. Por não serem, teoricamente, áreas de longa permanência de pessoas, os corredores e escadarias são, por muitas vezes, negligenciados no quesito luminotécnico. Assim, é necessário um zelo maior ao tratar da iluminação dessas áreas, proporcionando um melhor conforto e segurança às pessoas que nelas permanecem.

O HUSM, até o primeiro semestre de 2019, possuía 403 leitos, com 17.435 internações, 263.778 consultas e 7.800 cirurgias em 2018, de acordo com a superintendência do Hospital. Este grande fluxo de pessoas, acompanhado da natureza das atividades ali realizadas, reforça a importância de uma reavaliação do sistema luminotécnico do hospital.

A média dos gastos com energia elétrica nos primeiros meses de 2018 do HUSM foi de R\$ 310.378,12. Uma parcela relevante deste valor vem da iluminação, visto que o cenário luminotécnico atual conta com lâmpadas fluorescentes, que tem um consumo maior do que as

lâmpadas LED. Portanto, a relevância desse trabalho é comprovada pelo viés econômico, aliado ao aumento do conforto proporcionado por um cenário luminotécnico adequado ao ambiente e seu contexto.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Principal

Realizar um estudo luminotécnico visando melhorar energética e qualitativamente o sistema de iluminação das áreas de circulação de uma instituição hospitalar.

### 1.4.2 Objetivos Secundários

Dentre os objetivos secundários deste trabalho destacam-se os seguintes:

- (i) Estudar as normativas vigentes sobre iluminação aplicada as áreas de circulação em instituições de saúde;
- (ii) Avaliar as metodologias de cálculo, dimensionamento e aferição de sistemas de iluminação internas em instituições de saúde;
- (iii) Determinar os critérios de análise para avaliar novos sistemas luminotécnicos aplicados a um hospital real;
- (iv) Propor possíveis modificações a serem implementadas em áreas de circulação de hospitais;
- (v) Estruturar um projeto luminotécnico com rotinas de manutenção do serviço de iluminação de um hospital.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sustentando os fundamentos teóricos e os procedimentos apresentados na literatura para avaliar as condições e parâmetros para a avaliação luminotécnica de áreas de circulação de edificações.

O capítulo 3 mostra a metodologia que será utilizada para a realização deste trabalho, bem como os métodos computacionais e os cenários luminotécnicos estudados.

O capítulo 4 apresenta os resultados experimentais obtidos após a realização das simulações e estudos de campo. Neste capítulo também é abordada a análise econômica e qualitativa dos cenários luminotécnicos apresentados no capítulo 3.

O capítulo 5 destaca as principais conclusões obtidas após a realização da avaliação dos cenários luminotécnicos estudados, as contribuições dos estudos realizados e também sugestões de trabalhos subsequentes a este.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo apresenta os conceitos teóricos para a fundamentação do trabalho. Aqui são caracterizados os sistemas de iluminação requeridos às áreas de passagem e quais são as normas aplicáveis para preencher os quesitos luminotécnicos destes locais. Além disso, também destacam-se as formas de avaliação dos resultados obtidos assim como a alternativa de cálculo de viabilidade para a comprovar a eficácia dos resultados atingidos.

### **2.2 ILUMINAÇÃO DE ÁREAS DE CIRCULAÇÃO**

Em *The Lighting Handbook* (IESNA), (2000), aborda-se a importância da iluminação nos perímetros das áreas iluminadas. Este tipo de iluminação é desenvolvido com a abordagem da iluminação perimetral, com a alocação das lâmpadas no perímetro da área, rente às paredes. Esse estilo de iluminação favorece as tarefas de sentar e ler nas áreas de passagem, uma vez que existindo cadeiras nessas áreas, elas são costumeiramente posicionadas rente às paredes, para um maior aproveitamento do espaço.

A idade das pessoas também tem efeitos sobre a percepção da iluminação. Conforme Gordon (2015), pessoas mais velhas necessitam de valores maiores de iluminância para realizar a mesma tarefa que pessoas mais jovens. Por exemplo, para se obter uma mesma percepção quantitativa da luz, comparando-se com um indivíduo de 20 anos, uma pessoa de 60 anos precisa de uma iluminação três vezes mais intensa e uma pessoa de 80 anos precisa de uma iluminação quatro vezes superior.

Essa diferença na percepção da luz conforme a idade do observador não é levada em conta na norma brasileira vigente, diferente da norma Americana. Conforme a IESNA os índices luminosos para áreas gerais de circulação de um ambiente hospitalar são os representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Índices luminosos para áreas gerais de circulação por idade, em lux.

<b>Idade (Anos)</b>	<b>&lt;25</b>	<b>25 - 65</b>	<b>&gt;65</b>
<b>Dia</b>	50	100	200
<b>Noite</b>	25	50	100

Fonte: *The Lighting Handbook (2000)*.

Outro fator a ser considerado, é a refletância das superfícies dos cômodos a serem iluminados. O teto, paredes e o chão têm propriedades reflexivas, ligadas intrinsecamente a natureza do material que compões essas superfícies. Conforme Gordon (2015), paredes, tetos e pisos são grandes refletores que redistribuem a luz no ambiente. Uma superfície composta por cores claras reflete mais comprimentos de onda do que uma composta por cores escuras, permitindo a escolha de lâmpadas de menor potência para alcançar a iluminância prevista na norma vigente para o ambiente em questão. Neste trabalho mantém-se as refletâncias originais das superfícies atualmente existentes no HUSM. Então, apesar das propostas luminotécnicas contidas neste trabalho não envolverem a pintura dos tetos e paredes com cores mais claras, as refletâncias atuais destas superfícies são consideradas em todos os cálculos expostos no capítulo 4.

### 2.3 Normatização

O presente trabalho toma como base a NBR 8995-1:2013, que tem como função regulamentar a iluminação em ambientes de trabalho. Esta norma padroniza valores de iluminância, metodologias de cálculo luminotécnico para que as pessoas desempenhem suas atividades de forma mais confortável e segura possível.

De acordo com a NBR-8995 (2013), os valores de **Iluminância mantida ( $E_m$ )**, **índice limite de ofuscamento unificado (UGRL)** e **índice de reprodução e cor mínimo ( $R_a$ )**, para as áreas de passagem de um hospital são dadas em lux na Tabela 2. Adicionalmente, a escala de luminância (em lux) recomendada pela norma, é dada na Tabela 3.

Tabela 2 - Parâmetros de iluminação em áreas de passagem definidos pela NBR-8995.

	Dia	Noite
$E_m$	200	50
$UGRL$	22	2
$R_a$	80	80

Fonte: NBR-8995 (2013).

Tabela 3. Escala de luminância (em lux) recomendada pela NBR 8995-1:2013.

20	30	50	75	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2000	3000	5000
----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------

Fonte: NBR-8995 (2013).

A faixa de valores requerida para a iluminação das áreas de passagem do hospital durante o período do dia é de **150 lux – 300 lux**. Por outro lado, para o período noturno, a iluminação das áreas de passagem do hospital é de **30 lux – 75 lux**. Valores abaixo das faixas determinadas para cada ocasião resultam em penumbra e valores acima das faixas resultam em ofuscamento. Em ambos os casos, o resultado é um ambiente insalubre, inseguro e desconfortável.

O fator de uniformidade é dado pela razão entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância. A uniformidade na área de tarefa não pode ser menor do que 0,7, e no entorno imediato, menor do que 0,5. Quando o fator de iluminação é muito baixo, há uma alteração brusca na intensidade da iluminação, o que característico de uma iluminação de baixa qualidade, com focos de luz, e pouco homogênea, o que não é almejado neste trabalho.

Como neste trabalho é analisada a iluminância no piso, acaba que toda a área iluminada é a área de tarefa, uma vez que o plano horizontal do corredor, em sua totalidade, é a área de passagem estudada.

## 2.4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS

### 2.4.1 Cálculos de Limites Toleráveis

Um dos métodos para o cálculo do número de luminárias necessárias em um recinto é o método dos lumens, amplamente conhecido na literatura. Conforme Mamede (2018), o fluxo luminoso total, de acordo com esse método, é calculado pela Equação (1):

$$\psi = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d} \quad (1)$$

Onde:

- $\psi$  - Fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, em lumens;
- $E$  - Iluminamento médio requerido, em lux;
- $S$  - Área do recinto, em m<sup>2</sup>;
- $F_d$  - Fator de depreciação. Estabelece uma relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária no fim do período limite para o processo de manutenção e o fluxo emitido no início de sua operação;
- $F_u$  - Fator de utilização do recinto. É a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho, com o fluxo luminoso emitido pela luminária.

O fator de depreciação do serviço de iluminação depende das informações fornecidas pelo fabricante da luminária, aliadas às rotinas de manutenção. Este fator pode ser calculado individualmente, para cada luminária ou pode ter valores de referência assumidos conforme o Anexo D da NBR 8995-1:2013.

Com o fluxo luminoso total requerido para o recinto sob análise pode-se determinar o número mínimo de luminárias de acordo com a Equação (2).

$$N_{lu} = \frac{\psi_t}{N_{la} \cdot \psi_l} \quad (2)$$

Onde:

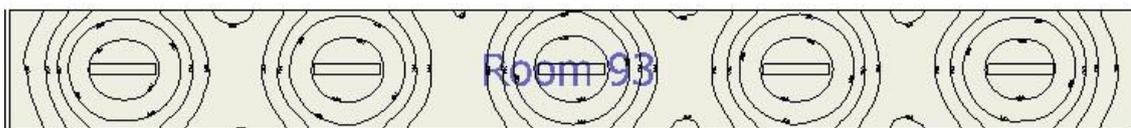
- $N_{lu}$  - Número de luminárias;
- $\psi_t$  - Fluxo luminoso total a ser emitido pela luminária (lux);
- $N_{la}$  - Número de lâmpadas;
- $\psi_l$  - Fluxo luminoso de cada lâmpada (lux).

### 2.4.2 Diagrama de Isolinhas

Os diagramas de isolinhas funcionam como curvas de nível em um mapa. Representam diferentes áreas de iluminância, onde cada área tem sua respectiva cota. É uma forma de melhor analisar, de forma bidimensional, a distribuição da intensidade da luz em um ambiente.

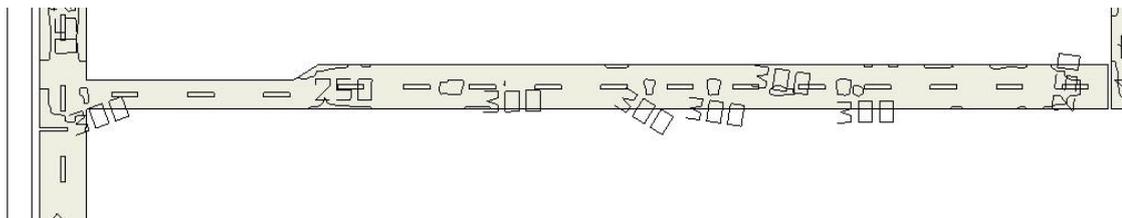
A análise dos isogramas pode ser obtida por meio de *softwares* de projeto de iluminação. Por exemplo, no *software* DIALux é fundamental para se obter uma maior uniformidade da iluminação. Isso permite ao projetista rever e/ou modificar o sistema luminoso de forma que as isolinhas se estendam por uma parte maior da área em questão, assim, aumentando o fator de uniformidade. Nas Figuras 1 e 2, tem-se respectivamente, uma distribuição irregular de isolinhas e uma distribuição mais homogênea.

Figura 1 - Distribuição não uniformizada de isolinhas.



Fonte: Autor.

Figura 2 - Distribuição próxima a ideal de isolinhas.



Fonte: Autor.

### 2.4.3 Diagrama de Falsas Cores

O diagrama de falsas cores é uma forma complementar para visualizar os níveis de iluminação da simulação do projeto luminotécnico. Nele pode-se ver a distribuição tridimensional da iluminação em um espaço desejado, podendo constatar os níveis da iluminação no chão, paredes e teto da sala. Pontos com um maior índice luminoso são representados por cores mais quentes (próximas ao vermelho), e pontos com menor índice luminoso são representados por cores mais frias (próximas ao violeta), conforme a Figura 3.

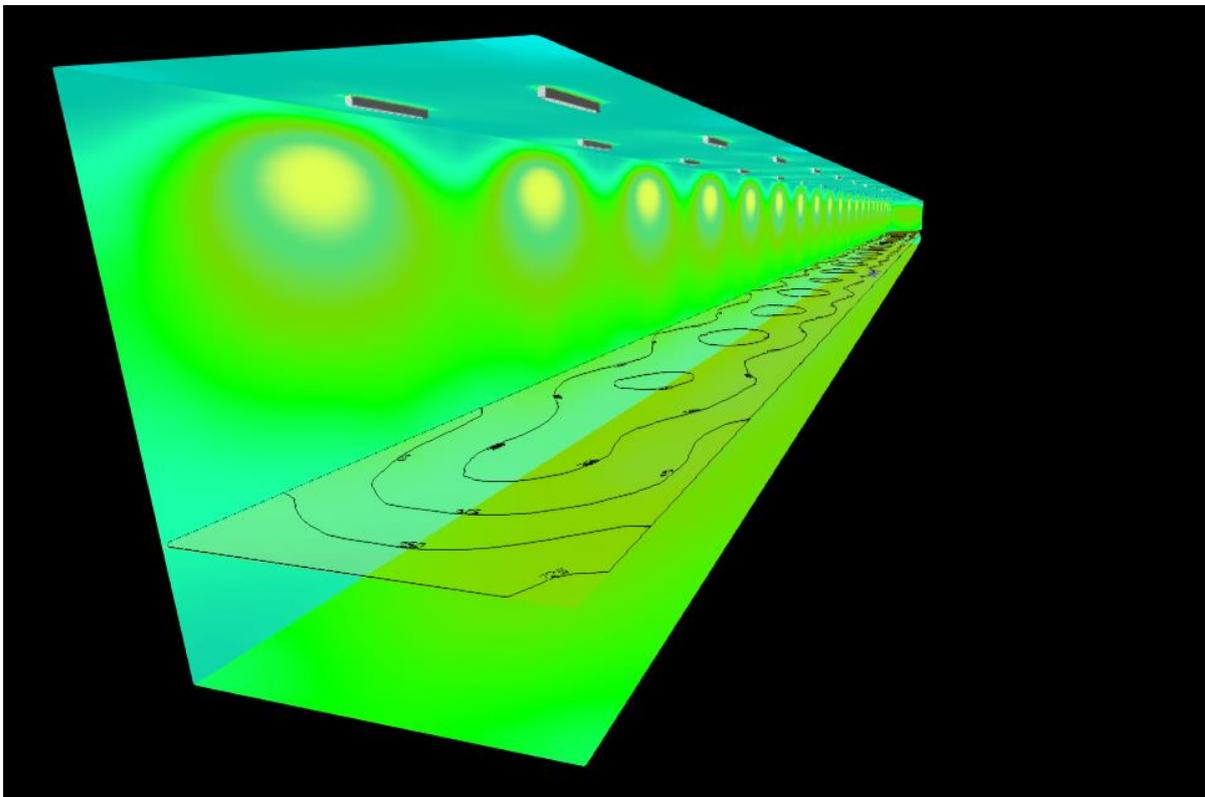
Como as isolinhas, o diagrama de falsas cores, é uma ótima ferramenta para detectar padrões indesejados na iluminação dos ambientes, como áreas de ofuscamento e/ou penumbra. Possibilita-se então, reajustar o projeto luminotécnico de forma que os obstáculos não atrapalhem na qualidade do projeto, preservando a uniformidade e qualidade da iluminação.

#### 2.4.5 Demais Parâmetros adicionais

Todos os resultados são analisados tendo como base as normas regulamentadoras vigentes na época de elaboração do trabalho. As mudanças propostas neste trabalho têm como função aproximar a iluminância à descrita na norma.

Após a análise do atual cenário, proporem-se alterações na quantidade e tipo de lâmpadas e luminárias, bem como sua disposição, tendo como objetivo os valores de iluminância propostos nas determinações normativas vigentes.

Figura 3 – Diagrama de falsas cores de um corredor do HUSM.



Fonte: Autor.

## 2.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A avaliação econômica será realizada levando em conta o consumo energético da iluminação nas áreas de passagem do HUSM. A demanda não será levada em conta, apenas a potência instalada, pois o gasto com iluminação representa um custo minoritário comparado com o consumo elétrico de outros sistemas elétricos do hospital. Serão comparados os impactos econômicos dos três cenários luminotécnicos propostos por este estudo, sob a modalidade tarifária Azul.

De acordo com a Resolução 414 da ANEEL (2010), a modalidade tarifária azul é aplicada considerando-se a demanda de potência (kWh), uma tarifa para o posto tarifário de ponta (R\$/kW) e outra para o posto tarifário de fora ponta (R\$/kW) e o consumo de energia (MWh). Também são consideradas tarifas distintas para os períodos de úmidos e períodos de seca.

## 2.6 ROTINA DE MANUTENÇÃO

Uma rotina de manutenção é fundamental para garantir o bom funcionamento de qualquer sistema de iluminação. Na Tabela D.2 da NBR 8995-1:2013 temos exemplificados cálculos para encontrar o Fator de Manutenção (FM). Na Tabela 4 deste trabalho temos estes exemplos.

Tabela 4 - 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.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se os métodos utilizados para a realização deste trabalho. Aqui serão abordados os procedimentos, métodos e condições sobre os quais serão submetidos os resultados catalogados, criando uma metodologia para o desenvolvimento do projeto luminotécnico das áreas de passagem de um hospital. É também estabelecido os critérios de medição e avaliação dos resultados obtidos.

#### 3.2 ESTUDO DE CASO

Este trabalho investiga a iluminação das áreas de passagem (escadarias e corredores) do HUSM. Neste contexto, são comparados, por meio de medições e simulações as condições de visibilidade luminosa nestes espaços. Por fim, serão propostos novos cenários por meio da avaliação de sistemas de iluminação mais modernos e melhor distribuídos.

#### 3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a investigação computacional dos cenários de iluminação utiliza-se o *software* DIALux™ para criar um modelo 3D das áreas de passagem do HUSM. Isso possibilita verificar as condições da iluminação atual ao replicar, no ambiente virtual, o posicionamento, a quantidade e o tipo de luminárias presentes nas áreas de passagem do HUSM. Assim, é possível analisar os pontos mais sensíveis da iluminação atual e projetar uma nova, melhor e mais eficiente. Os cenários modelados no *software* DIALux™ são projetados sobre as plantas baixas do hospital universitário. Os arquivos, em formato CAD, são transferidos ao simulador, a edificação é configurada e os arranjos de luminárias são distribuídos de maneira a conformar as simulações. Conforme os estudos de MARTINS (2018), que realizou medições com um

luxímetro, seguindo a metodologia do IESNA Handobook (2000), para uma medição coerente da iluminância. Simulando os mesmos cenários no software DIALux, foi concluído que os resultados obtidos por simulação computacional são verossímeis aos resultados obtidos a partir da medição com luxímetro. O que ratifica os resultados computacionais obtidos por meio deste software

### 3.4 CENÁRIOS APRESENTADOS

São apresentados três cenários luminotécnicos distintos para a realização deste trabalho. Todos os cenários são simulados desconsiderando-se a iluminação natural proveniente por vidraças e/ou janelas. Para a avaliação dos níveis de iluminação o plano de trabalho é considerado na altura do chão. Os cenários estudados são os seguintes:

- 1) O primeiro cenário (A) apresentado busca reproduzir a iluminação atual do HUSM, considerando o mesmo tipo de lâmpadas, luminárias e o posicionamento e quantidade das mesmas;
- 2) O segundo cenário (B) contém os mesmos tipos de lâmpadas e luminárias presentes atualmente no HUSM, porém com quantidade e posicionamento diversos do primeiro cenário, uma vez que este cenário pretende atingir os limites de iluminação presentes na NBR 8995-1:2013;
- 3) O terceiro cenário (C) apresenta um novo projeto luminotécnico. Consiste de um *retrofit* no qual os equipamentos de iluminação são atualizados, de modo que os limites de iluminação contidos na NBR 8995-1:2013 sejam alcançados de forma mais eficiente possível.

## 4.RESULTADOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

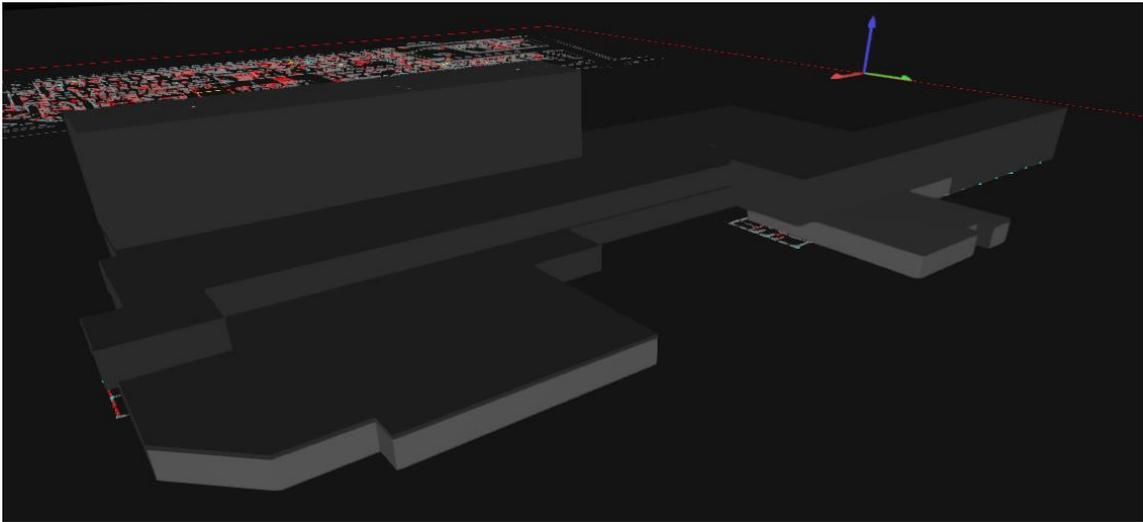
Os resultados aqui apresentados seguem a metodologia já descrita. Nesta seção é apresentado o processo de submissão dos dados coletados durante a realização deste trabalho à metodologia proposta e os resultados então obtidos.

Vale ressaltar que este trabalho não visa a iluminação perimetral. Contudo, nos cenários propostos toma-se cuidado para que as regiões nos cantos das áreas de passagem estejam adequadamente iluminadas, mesmo que isso demande um índice luminoso maior do que o previsto na norma nos centros destas áreas.

## 4.2 SIMULAÇÕES

As simulações foram realizadas com o *software* DIALux™ com base na planta baixa em formato CAD do HUSM. Assim, o HUSM foi modelado conforme mostra a Figura 4.aberturas

Figura 4 – Modelo 3D do HUSM.



Fonte: Autor.

## 4.3 ANÁLISE LUMINOTÉCNICA

No cenário A utilizam-se lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 60cm e 120cm. Prevalecem as de 120cm no térreo e subsolo, e nos demais andares (do segundo ao sexto) as lâmpadas de 60cm. Para fins de simplificação, uma vez que a iluminação do HUSM não é padronizada, as lâmpadas de 60cm foram consideradas de 20W, e as de 120cm, 32W. As luminárias são de fecho fechado, de fabricante e modelo não especificados, visto que o HUSM não dá preferência para uma única marca e/ou fabricante, porém elas foram ensaiadas e seu modelo matemático foi compactado em um arquivo .ies, para ser utilizado nas simulações do *software* DIALux™.

Como mostrado nessa seção, muitas áreas estão com os níveis luminosos muito abaixo do que os estabelecidos pela NBR 8995-1:2013, de forma pouco energeticamente eficiente.

Ao aumentar a quantidade e otimizar o arranjo das luminárias atuais, tem-se o cenário luminotécnico B, que atinge os índices requeridos de iluminância pela NBR 8995-1:2013, porém mantém um fator de uniformidade indesejável.

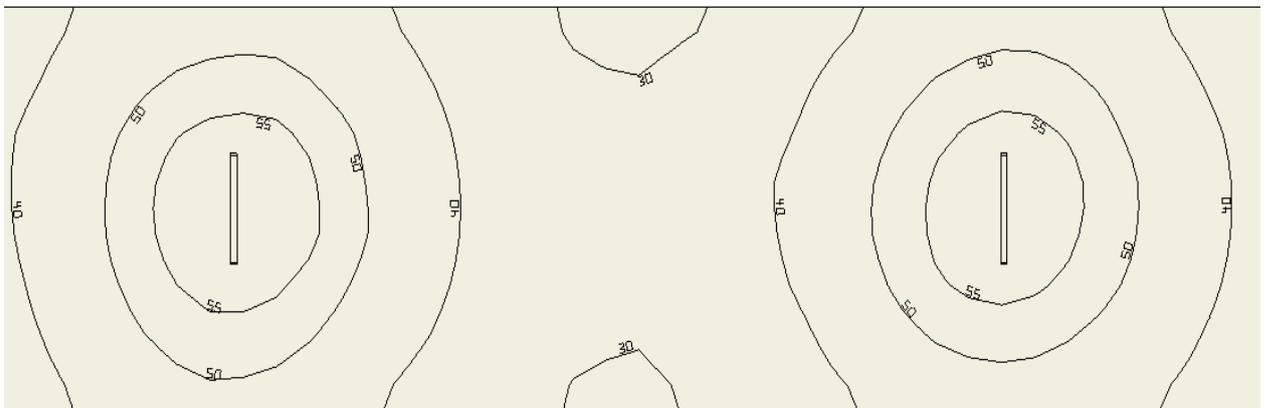
No cenário luminotécnico proposto C utilizam-se luminárias Intral AS-810, com rendimento longitudinal de 80% e lâmpadas LED T8 120cm de 18W. Mais detalhes sobre esta luminária estão presentes no Apêndice B.

#### 4.3.1 Isolinhas

Nas Figuras 5, 6 e 7, visualizam-se os diagramas isolinhas do corredor do sexto andar do HUSM, para os três cenários luminotécnicos presentes neste trabalho.

Uma parcela do cenário luminotécnico atual, que exemplifica bem todo o sistema atual de iluminação está exposto na Figura 5. Não só a iluminância média (de 41,1lux) está em níveis abaixo dos estabelecidos pela legislação atual (200 Lux), mas o fator de uniformidade também não está aceitável, assumindo um valor de 0,5, inferior ao mínimo estabelecido pela NBR 8995 (2013) (0,7), com focos de luz que tornam a iluminação pouco uniforme, o que é característico de luminárias sem refletores.

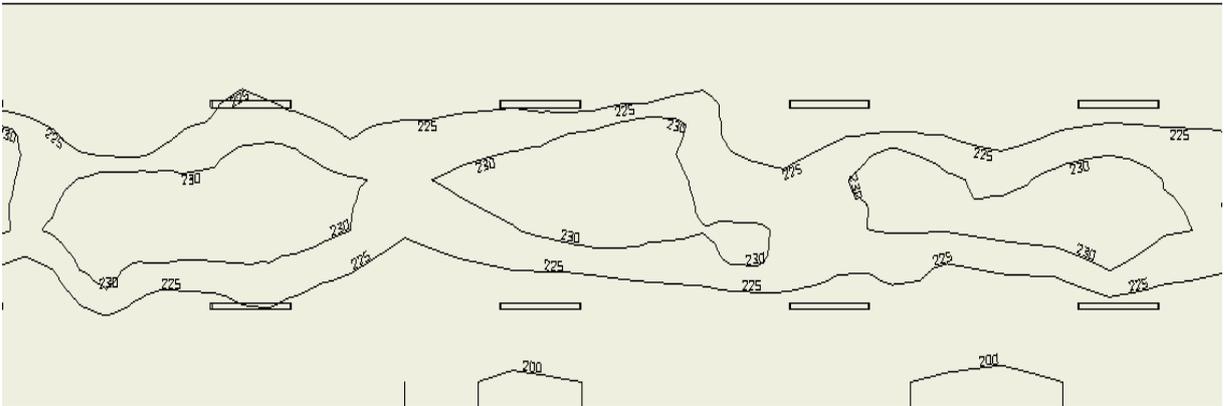
Figura 5 – Isolinhas do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico atual.



Fonte: Autor.

Na Figura 6 temos o mesmo trecho de corredor, porém sob o cenário B. Apesar do índice luminoso médio aumentar para níveis aceitáveis (215 lux), bem como o fator de uniformidade quase ideal (0,66), a quantidade de luminárias é muito superior, o que afeta negativamente os custos do sistema luminotécnico. Mais à frente veremos a importância de luminárias adequadas para cada situação do ponto de vista econômico, o que torna menos atrativa a implementação do cenário luminotécnico B.

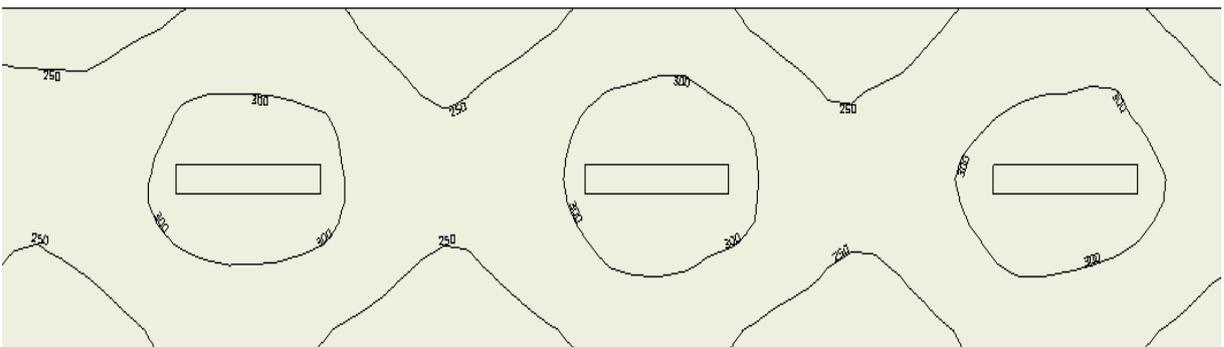
Figura 6 – Isolinhas do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico ideal com as luminárias atuais.



Fonte: Autor.

Na Figura 7 exibe-se os resultados para o cenário C. No cenário proposto, o índice luminoso médio está de acordo com a NBR 8995-1:2013 (270 lux), mas o fator de uniformidade assume um valor de 0,59, ainda abaixo do recomendado pela norma, mas com pouca diferença de valores entre as isolinhas. Os valores de iluminância estão levemente superiores aos indicados na NBR 8995-1:2013, porém se têm uma melhor uniformidade da iluminação do que no cenário atual e também, é melhor ter uma iluminação pouco superior ao ideal do que uma iluminação deficitária e pouco uniforme. A uniformidade superior, com um menor número de luminárias, também se dá devido ao uso de luminárias com refletores.

Figura 7 – Isolinhas do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico proposto (reprojeto).



Fonte: Autor.

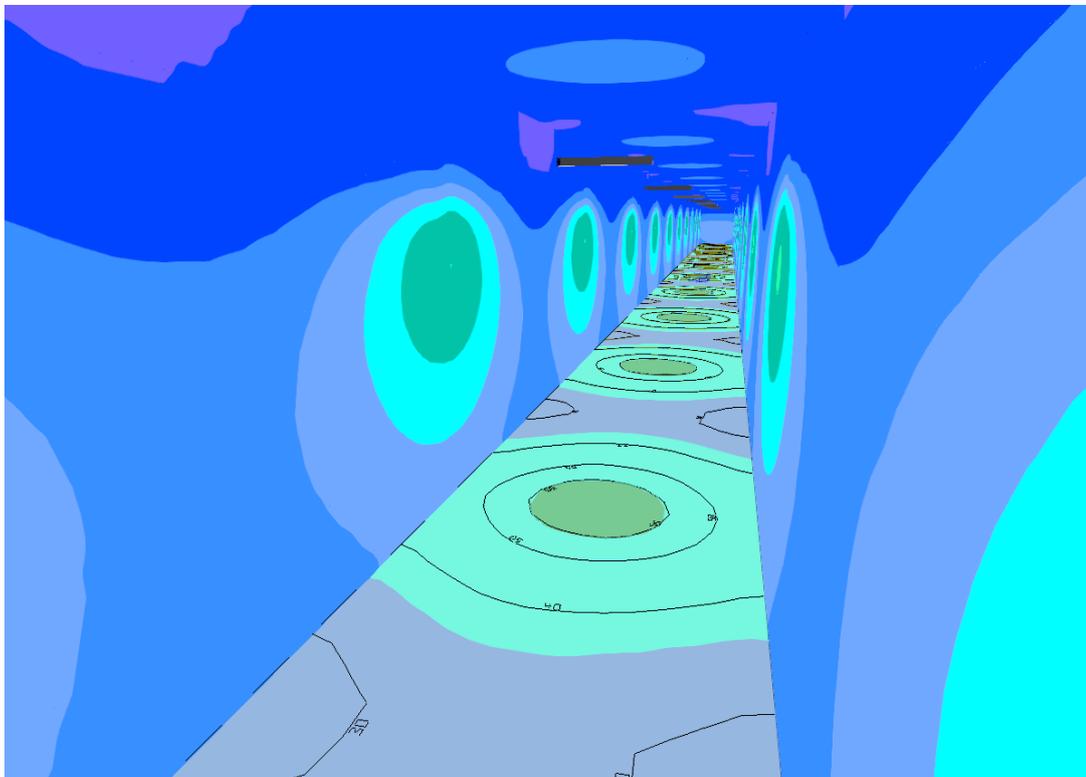
### 4.3.2 Diagrama de Falsas Cores

Com o diagrama de falsas cores podemos visualizar com mais facilidade a distribuição da luz dentro do ambiente em questão. Locais com índices de iluminância inferiores são representados por cores mais frias, como o azul. Os espaços com maiores índices de iluminância são representados por cores mais quentes, como o amarelo.

Vale ressaltar que a simulação não considera lâmpadas queimadas, defeitos na instalação elétrica e outras deficiências que se tornam mais aparentes com a falta de manutenção. As Figuras 8, 9 e 10 apresentam os diagramas de falsas cores para o corredor do sexto andar do HUSM, para os três cenários luminotécnicos presentes neste trabalho.

Na Figura 8 percebe-se que além dos valores de iluminância média estarem 150 lux abaixo dos recomendados, a iluminação atual causa focos de luz (evidentes nas áreas mais claras do diagrama, tanto nas paredes quanto nos pisos), que são característicos das luminárias sem refletores usadas atualmente.

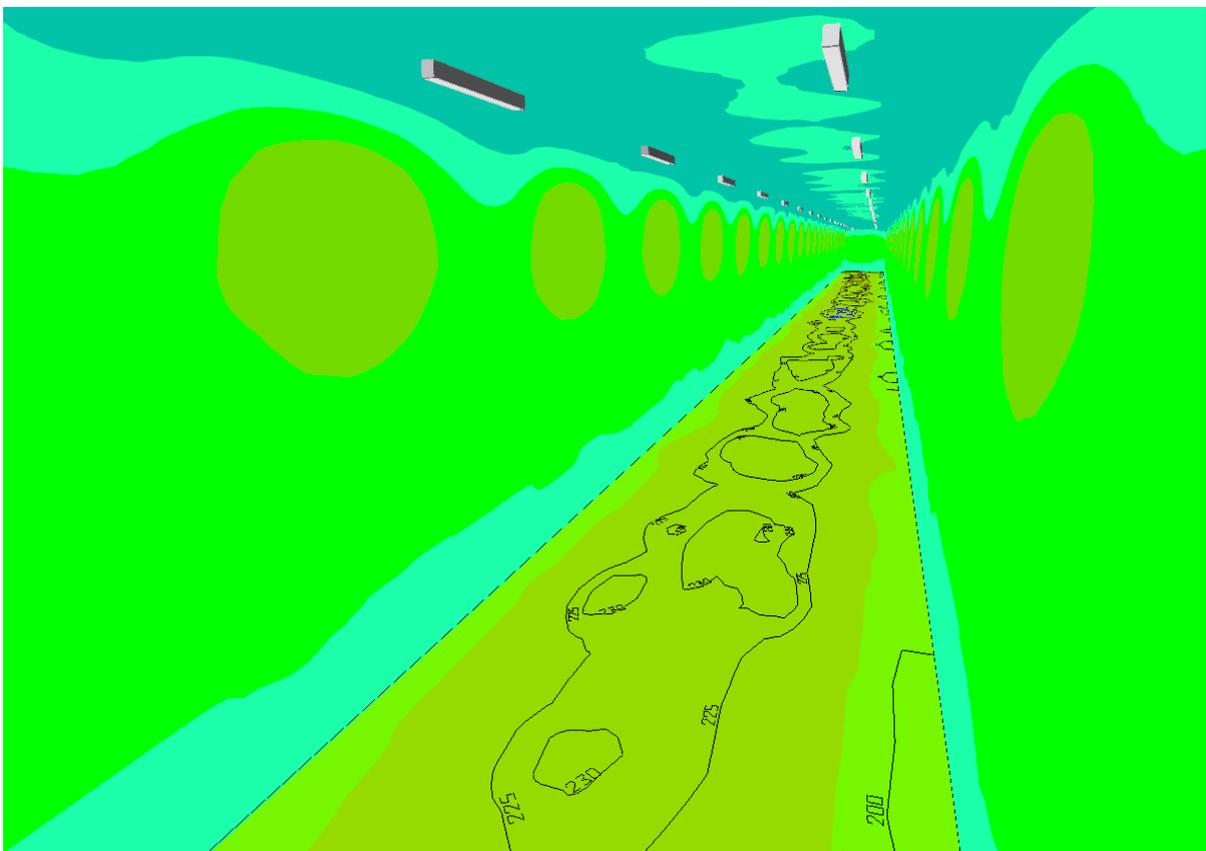
Figura 8 – Diagrama de falsas cores do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico atual.



Fonte: Autor.

Na Figura 9 o diagrama de falsas cores permite visualizar melhor as características da iluminação, como o zebreamento da mesma, representado pelas diferentes cores presentes no piso e paredes, apesar do índice luminoso estar ideal. Como discutido anteriormente, a distribuição da luz é afetada pela falta de refletores nas luminárias, criando focos indesejáveis de luz. Porém, a quantidade impraticável de luminárias presente nesta simulação sobrepõem estes focos, causando uma impressão de homogeneidade.

Figura 9 – Diagrama de falsas cores do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico ideal com as luminárias atuais.

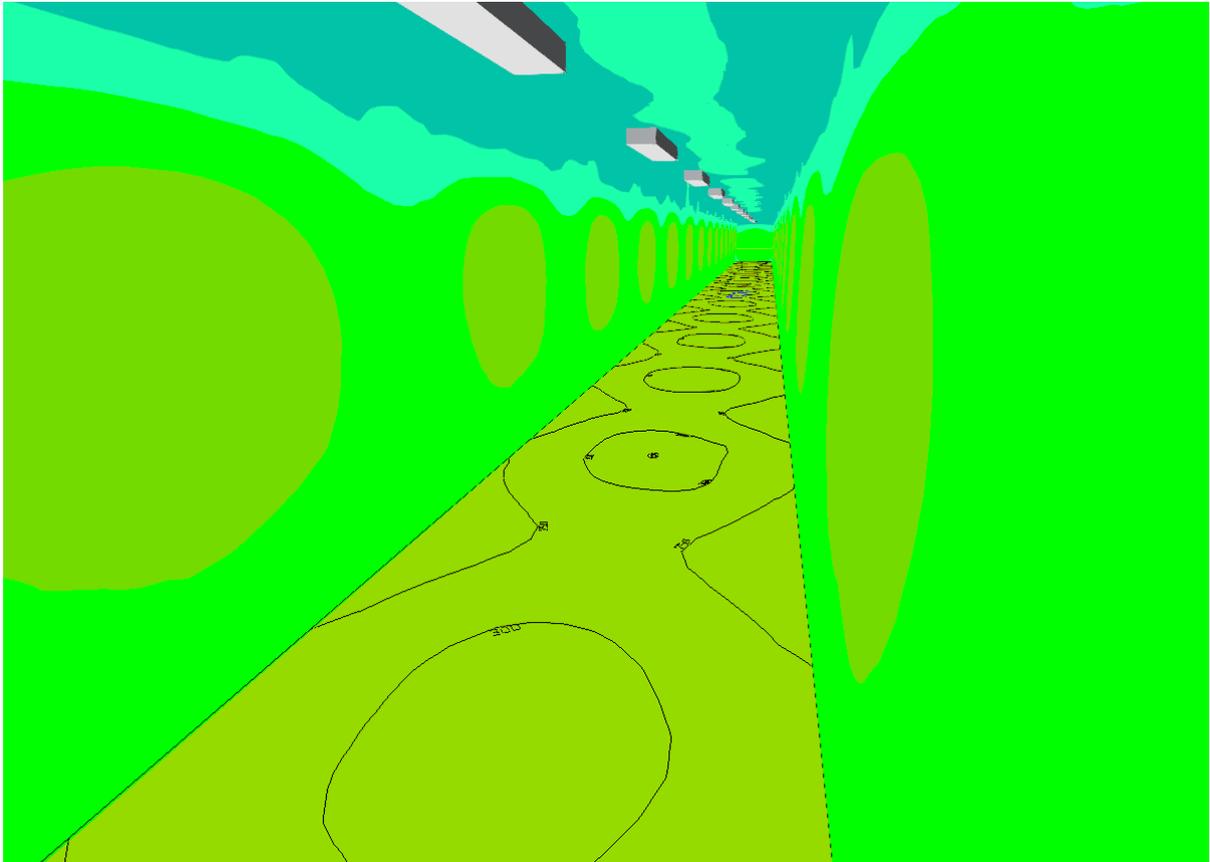


Fonte: Autor.

No cenário proposto em C, apresentado na figura 10 nota-se, com o auxílio do diagrama de falsas cores, que a uniformidade é, de forma geral, superior ao dos outros cenários, mesmo com um fator de uniformidade inferior ao do cenário B, visto a qualidade da distribuição da iluminação no piso do corredor. Mantendo também os índices de iluminância dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira. É complexo buscar índices de iluminância

idealizados em todo o recinto, como nas paredes, onde há alguns focos de luz, mas a diferença de iluminância deve ser atenuada ao máximo possível.

Figura 10 – Diagrama de falsas cores do corredor do sexto andar no cenário luminotécnico proposto (reprojeto).



Fonte: Autor.

#### 4.4 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica considera o período mensal (30 dias) com 20 desses dias úteis. A demanda não é levada em contabilizada. Apenas o consumo é avaliado aqui, visto que o custo da iluminação é minoritário se comparado ao consumo elétrico de outros sistemas elétricos do hospital. O estudo econômico foi realizado levando em conta a tarifa azul da concessionária RGE Sul.

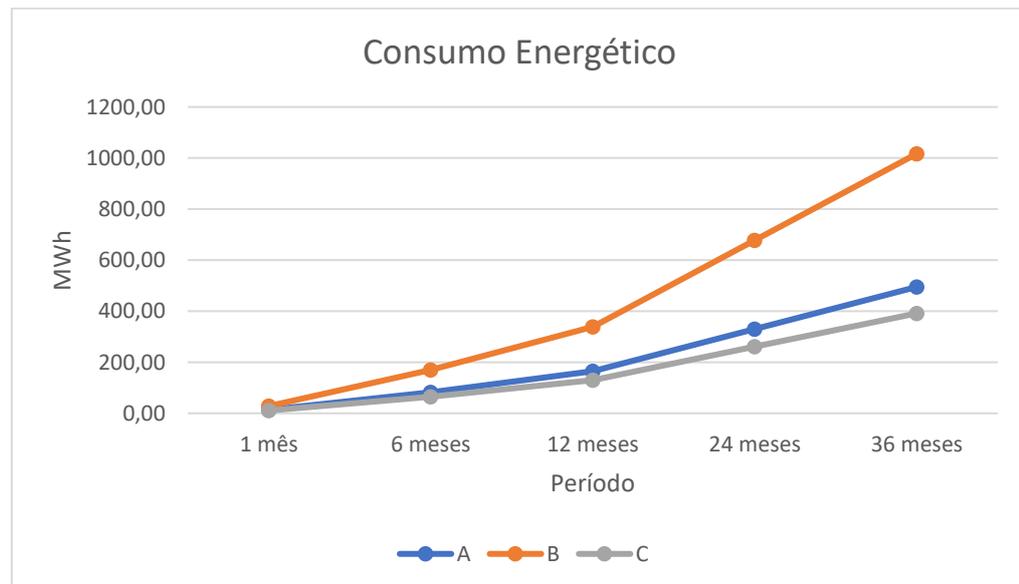
Como no período noturno a iluminância requerida é de 50 lux (quatro vezes inferior a iluminância requerida durante o dia), das 19:45 até as 7:15 o custo da iluminação das áreas de passagem foi considerado proporcionalmente quatro vezes menor também. A estimativa de energia consumida em diferentes períodos de tempo é expressa na Tabela 5 e na Figura 11.

Tabela 5 – Consumo de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM.

Período	MWh		
	A	B	C
1 mês	13,75	28,24	10,87
6 meses	82,50	169,47	65,25
12 meses	164,99	338,93	130,50
24 meses	329,99	677,87	261,00
36 meses	494,98	1016,80	391,49

Fonte: Autor.

Figura 11 – Gráfico do consumo de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM em MWh.



Fonte: Autor.

Convertendo-se o consumo de energia em Reais, conforme a tabela tarifária adotada pela concessionária RGE Sul, chega-se aos valores expressos na Tabela 6 e Figura 12. Nota-se que há uma redução mensal pequena (R\$1.073,44), nos custos de energia elétrica quando comparamos o cenário atual A com o cenário de reprojeto proposto C. Este pensamento pode conduzir para um raciocínio equivocado, uma vez que a iluminância média chega a ser quase 6 vezes maior no cenário C quando comparado com o cenário A, vide Figuras 5 e 7.

É necessário analisar também a quantidade de lúmens por Watts do sistema, para um estudo mais preciso de cada caso. Neste trabalho, o cenário A tem uma média de 32,9 lm/W, o

cenário B 32,5 lm/W e o cenário C 104,4 lm/W. Então, a eficiência luminosa para o cenário C é, pelo menos, três vezes superior ao do cenário c.

Tabela 6 – Consumo de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM.

Período	R\$		
	A	B	C
<b>1 mês</b>	198.384,46	203.795,36	197.311,01
<b>6 meses</b>	1.190.306,74	1.222.772,15	1.183.866,08
<b>12 meses</b>	2.380.613,47	2.445.544,29	2.367.732,16
<b>24 meses</b>	4.761.226,94	4.891.088,58	4.735.464,32
<b>36 meses</b>	7.141.840,42	7.336.632,87	7.103.196,48

Fonte: Autor.

Figura 12 – Gráfico dos custos de energia com iluminação nas áreas de passagem do HUSM em R\$.



Fonte: Autor.

#### 4.5 ROTINA DE MANUTENÇÃO

Tomando os parâmetros contidos na NBR 8995-1:2013 e apresentados na tabela 6, foi criada uma rotina de manutenção para o sistema de iluminação dos corredores e áreas de passagem do HUSM, conforme a tabela 7.

Tabela 7 - Rotina de manutenção das luminárias.

<b>Projeto</b>	Rotina de manutenção das luminárias
Ambiente	Corredores e áreas de passagem
Data	25/10/2020
<b>Luminárias</b>	
Descrição	Intral AS-810 com refletor
Código	5185
Intervalo de limpeza	1 ano
FML	0,9
<b>Lâmpada</b>	
Descrição	LED - 120cm - 2300lm - 6000k
Potência Nominal	18W
Substituição da lâmpada	Individual
Reator	Inexistente
Manutenção da lâmpada em anos	4 anos
FMFL	0,92
FSL	1
<b>Ambiente</b>	
Nível de limpeza	Muito limpo
Intervalo de limpeza	1 ano
FMSS	0,96
<b>Fator de manutenção</b>	0,8

Fonte: NBR 8995-1:2013.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Este trabalho constituiu um estudo que buscou avaliar o cenário luminotécnico atual das áreas de passagem do HUSM, e elaborar um novo cenário com a intenção de ampliar a eficiência do sistema luminotécnico.

Primeiramente, o assunto foi apresentado e contextualizado por meio das motivações e justificativas da realização deste trabalho, citando também a evolução das tecnologias em iluminação.

No capítulo 2, apresentou-se os conceitos básicos para o bom entendimento deste trabalho, revisando conteúdos e estudos prévios sobre luminotécnica.

No capítulo 3, apresentou-se a metodologia utilizada para a realização deste trabalho, bem como os cenários luminotécnicos estudados e os métodos computacionais também utilizados.

No capítulo 4, os resultados foram apresentados e detalhados, justificando tanto economicamente quanto pela qualidade da iluminação o reprojeto do sistema luminotécnico das áreas de passagem do HUSM, com índices de iluminância dentro dos previstos pela norma ao mesmo tempo que gera uma economia R\$1.073,44 por mês quando comparado ao cenário luminotécnico atual.

Desta forma, este trabalho propõe um novo sistema luminotécnico, baseado em tecnologias mais eficientes e também, a substituição das luminárias por luminárias com refletores, o que acarreta em uma melhor distribuição e aproveitamento da luz.

### 5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho contribuiu para apresentar uma solução para a iluminação deficitária e de baixo rendimento das áreas de circulação de um hospital. Também foi mostrada a importância de um estudo prévio à troca de componentes de um sistema luminotécnico, de modo a ter certeza sobre os impactos das modificações no sistema.

Também, no processo de elaboração deste estudo, o HUSM foi modelado em 3D no software DIALux. Este modelo pode ser utilizado para estudos futuros nas áreas de passagem ou quaisquer outras áreas do hospital.

### 5.3 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho contemplou apenas as áreas de passagem do HUSM. Uma possibilidade de estudo subsequente a este é um estudo luminotécnico que abranja as demais áreas do HUSM, como salas de atendimento, escritórios, refeitórios, salas de espera, dentre outros.

Com o constante advento de novas tecnologias, o mesmo estudo feito neste trabalho pode ser revisado em alguns anos, considerando tecnologias mais modernas em iluminação.

## APENDICE A – CARACTERÍSTICAS DA ILUMINAÇÃO

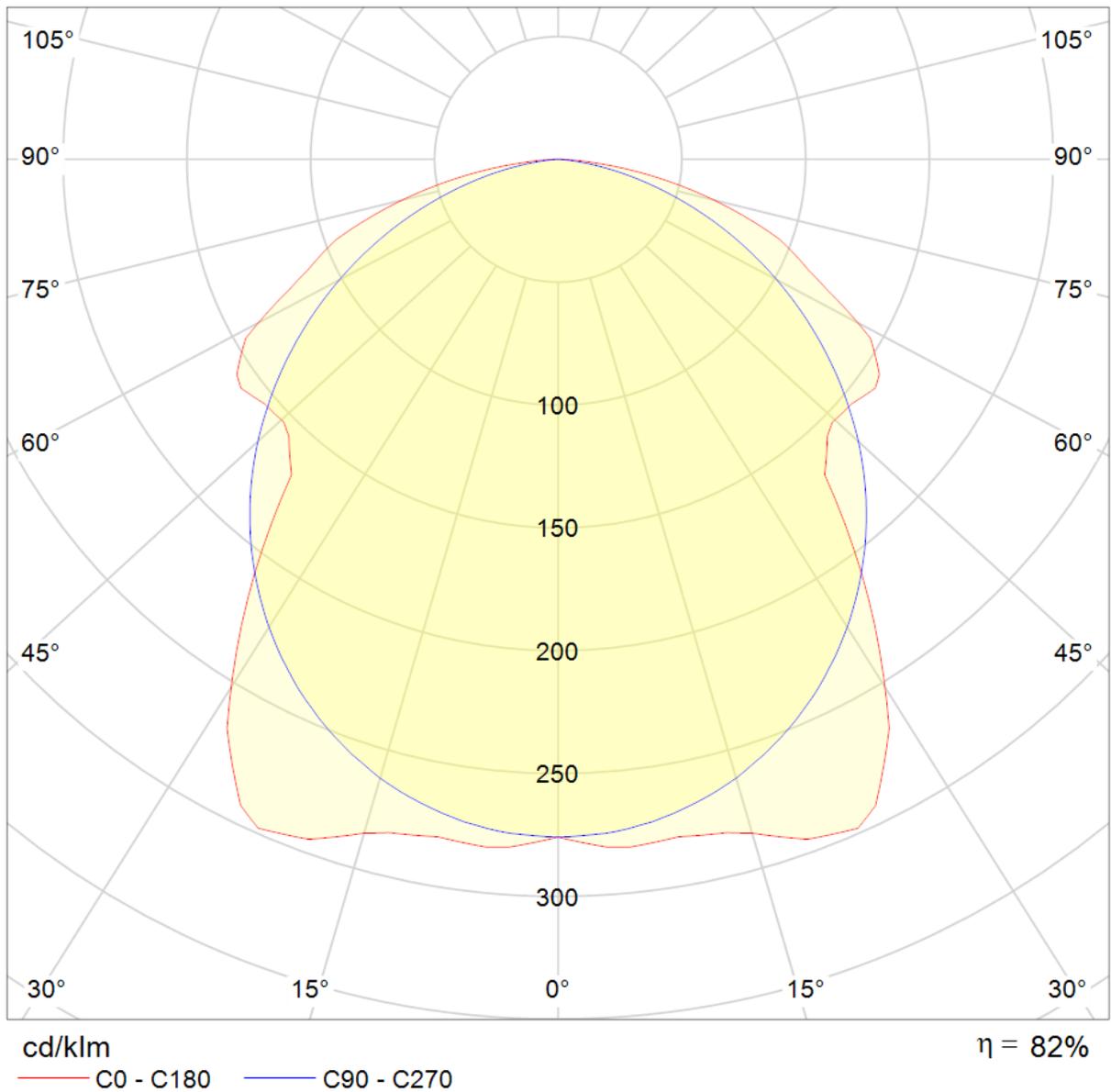
Dentre as características de iluminação pertinentes a este trabalho e contidas na norma estão:

- I. **Iluminância (E):** 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;
- II. **iluminância mantida ( $E_m$ ):** Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida.
- III. **Índice de ofuscamento unificado (UGR):** Definição da CIE para o nível de desconforto por ofuscamento.
- IV. **Índice limite de ofuscamento unificado (UGRL):** Valor máximo permitido do nível de ofuscamento unificado de projeto para uma instalação de iluminação.
- 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.
- VII. **Uniformidade:** A uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio. A iluminância deve se alterar gradualmente.
- VIII. **Ofuscamento:** Ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador.

## APENDICE B – CARACTERÍSTICAS DA LUMINÁRIA AS-810

A luminária AS-810 da Intral é uma luminária de instalação externa (não é embutida) com refletores em alumínio. As curvas de iluminação transversal (em vermelho) e longitudinal (em azul), bem como o rendimento da luminária estão representadas na figura 13.

Figura 13 – Curvas características de iluminação da luminária AS-810.



Fonte: Fabricante.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010**. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em 18/09/2020

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

D. F. Espejel-Blanco; J. A. Hoyo-Montano; J. A. Orrante-Sakanassi; J. A. Federico-Rivera, Comparison of Energy Consumption of Fluorescent Vs LED Lighting System of an Academic Building. **2018 IEEE Conference on Technologies for Sustainability, SusTech 2018, 2019**. doi: 10.1109/SusTech.2018.8671348.

DIAL. **DIALux**. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux-desktop/>> Acesso em: 28 out. 2020.

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

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE SANTA MARIA. **Indicadores**. 2020. Disponível em: <http://www2.ebserh.gov.br/web/husm-ufsm/sobre/superintendencia/indicadores>. Acesso em 04 jul. 2020.

M. H. Sarwary; D. Pavlov. Energy efficiency and Economic aspects of Lighting. **2019 2nd Balkan Junior Conference on Lighting, Balkan Light Junior 2019 - Proceedings**, 2019, doi: 10.1109/BLJ.2019.8883648.

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

MARTINS, M. S. **Verificação das condições de iluminação das áreas de circulação de prédios públicos**. 2018, 37 f. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2018.

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.