

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

Miguel Spagnolo Martins

**VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS DE
CIRCULAÇÃO DE PRÉDIOS PÚBLICOS**

Santa Maria, RS
2018

Miguel Spagnolo Martins

VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS 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**.

Orientador: Prof^o. Dr. Diego Berlezzi Ramos

Santa Maria, RS

2018

Miguel Spagnolo Martins

VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS 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 2018

Diego Berlezzi Ramos, Dr. (UFSM)

(Presidente/Orientador)

Mairon Gallas, (UFSM)

Leonardo Medeiros, (UFSM)

Santa Maria, RS

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por tudo que Ele me reserva e por toda força que me nessa etapa.

Agradeço principalmente meus pais, Elenice e João, meu irmão Felipe, pelo suporte incondicional, ao meu primo Marcio pelos ensinamentos e puxões de orelha, a minha madrinha Juliana e meu padrinho Rodrigo pelo amor e apoio em minhas decisões, a minha tia Aida e meu tio Adroir por me acolherem sempre quando fora necessário e a todos de minha família que me deram apoio nessa caminhada.

À minha namorada Helenize, por sempre me apoiar, incentivar e ouvir as meus devaneios, por seu amor e dedicação.

A todos amigos que me ajudaram e torceram pelo meu sucesso, em especial a Yurguen Senger, Rafael Penna, Vinicuis Porto, Daniel Beltrame por me apoiarem desde antes da universidade. Aos meus amigos Tayrone Desconsi e Matheus Dallasta pelo suporte. Também agradeço a quem mostrou-me que posso ser mais do que penso ser, meu grande amigo Gabriel Colpo Por fim, aos amigos Lucas Rocha, Matheus Righi, Victor Refosco, Jean Rossini, Leonardo Medeiros, Guilherme Maschio, Giancarlo Daros. Igor Vegner, Lucas Jantsch, Thiago Ribas, Lucas Bonini o meu muito obrigado pelas longas noites de estudo partilhadas.

Ao professores Leonardo Guedes e Jonas Reichert pela confiança e aprendizado na etapa inicial do curso.

Ao professor Dr. Diego Berlezzi Ramos, pela confiança em mim depositada, pela orientação, apoio, atenção, disponibilidade e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência – CEESP, pela amizade e incentivo.

Por fim, a todos aqueles não citados nominalmente, mas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DAS ÁREAS DE CIRCULAÇÃO DE PRÉDIOS PÚBLICOS

AUTOR: Miguel Spagnolo Martins
ORIENTADOR: Diego Berlezzi Ramos

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a condição luminotécnica das áreas de circulação de um edifício público. Foram verificadas as conformidades normativas e, se necessárias, propõe-se mudanças visando maior eficiência energética. São conduzidas simulações e medições de iluminação nos corredores e os resultados obtidos são comparados. Como critérios avaliados, são escolhidos a iluminância média, o fator de uniformidade e o consumo energético. Os resultados mostram que é possível reduzir pela metade o número de lâmpadas instaladas sem prejuízo ao nível de iluminância requerida.

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

ABSTRACT

VERIFICATION OF LIGHTING CONDITIONS ON CIRCULATION AREAS OF PUBLIC BUILDINGS

AUTHOR: Miguel Spagnolo Martins

ADVISOR: Diego Berlezzi Ramos

This paper presents a case study about the lighting condition of the circulation areas of a public building. Regulatory compliance was verified and, if necessary, changes are proposed aiming at greater energy efficiency. Simulations and lighting measurements are conducted in the corridors and the results obtained are compared. As evaluated criteria, the mean illuminance, the uniformity factor and the energy consumption are chosen. The results show that it is possible to reduce by half the number of installed lamps without reduce the level of illuminance required.

Keywords: Energy efficiency, lighting, NBR ISO 8995.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do posicionamento do luxímetro para aquisição de dados.	16
Figura 2 - Influência da manutenção na vida útil da luminária genérica.	18
Figura 3 - Prédio principal do Centro de Tecnologia.	20
Figura 4 - Prédio do centro de tecnologia renderizado no DIALux™.	24
Figura 5 – Curvas isométricas do corredor do 3º andar (vista superior). Abaixo uma parte da figura ampliada permitindo melhor visualização das isolínhas.	25
Figura 6 - Corredor 3º andar renderizado.	25
Figura 7 – Curvas isométricas do corredor do 3º andar (vista superior). Abaixo uma parte da figura ampliada para melhor visualização das isolínhas.	26
Figura 8 - Cenário atual simulado.	26
Figura 9 – Corredor em falsas cores (204 lux a esquerda, 121 lux a direita).	27
Figura 10 - Escadarias (a esquerda mapa de calor, a direita a renderização).	27
Figura 11 - Gráfico referente a Tabela 7.	31

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Iluminância
$E_{média}$	Iluminância Média
$E_{mínima}$	Iluminância Mínima
F_{dl}	Fator de Depreciação
F_{ut}	Fator de Utilização
F_u	Fator de Uniformidade
$F_{u_{central}}$	Fator de Uniformidade Central
$F_{u_{entorno}}$	Fator de Uniformidade Entorno
g_{CO_2}	Gramas de Dióxido de Carbono
kWh	Kilowatt hora
lm	Lumens
lx	Lux
MWh	Megawatt hora
N_{la}	Número de lâmpadas
N_{lu}	Número de luminárias
ϕ_l	Fluxo Luminoso Emitido Por Uma Lâmpada
ϕ_t	Fluxo Luminoso Total
S	Área
W	Watt

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Computer-Aided Design
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
UGR _L	Índice limite de ofuscamento unificado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2	MOTIVAÇÃO.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivos Principal	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	NORMAS.....	14
2.2	METODOLOGIAS DE CÁLCULO E AFERIÇÃO.....	15
2.3	CRITÉRIOS DE ANÁLISE.....	17
2.4	POSSÍVEIS MODIFICAÇÕES	17
2.5	ROTINAS DE MANUTENÇÃO	18
2.6	CONCLUSÕES	19
3	METODOLOGIA.....	20
3.1	PROCEDIMENTOS.....	20
3.2	ESTUDO DE CASO.....	20
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.4	CONDIÇÕES LIMITES	21
3.5	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	22
4	RESULTADOS	23
4.1	PARÂMETROS DE CÁLCULO	23
4.2	SIMULAÇÕES E MEDIÇÕES REALIZADAS.....	23
4.2.1	Simulação	23
4.2.2	Estudo prático.....	28
<i>4.2.2.1</i>	<i>Rotação das luminárias.....</i>	<i>29</i>
4.3	PROPOSIÇÃO DE REPROJETO	30
4.4	ROTINA DE MANUTENÇÃO	31
4.5	CONCLUSÕES PARCIAIS	33
5	CONCLUSÃO.....	34
5.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	34
5.2	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	34
5.3	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo Gordon (2015), em apenas 130 anos, o mundo já passou por 3 revoluções em iluminação elétrica. A primeira em 1879 quando Thomas Edison criou a primeira lâmpada. A segunda ao final da primavera de 1938 quando as lâmpadas fluorescentes foram apresentadas na New York World's Fair. Conforme o autor, vivencia-se, agora, a terceira revolução com lâmpadas de estado sólido (como as lâmpadas de Diodo Emissor de Luz, em inglês *Light Emitting Diode* (LED) por exemplo).

A evolução tecnológica busca a redução do consumo de energia e, conseqüentemente, a redução da geração de poluentes. Os dados apresentados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) demonstram que, entre 2012 e 2014, houve um aumento de 82 para 137 gCO₂ por kWh gerado. Este aumento é causado, quase que exclusivamente, pelo maior uso de termoelétricas, fazendo com que exista uma preocupação com aumento de gases potencializadores do efeito estufa, bem como o aumento no custo da energia gerada.

Ainda conforme afirmado em Gordon (2015), um erro comum ao se projetar sistemas de iluminação é selecionar a luminária antes de decidir o que se deseja iluminar, ou seja, a substituição direta de lâmpadas para redução do consumo de energia, nem sempre é a solução mais adequada. Na substituição tecnológica necessita-se de um estudo luminotécnico que permita adequar a eficiência final do sistema de iluminação com as exigências normativas.

Conforme publicado no site da Universidade Federal da Santa Maria (UFSM) 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: 02 dez. 2018.), desenvolveu-se um projeto de eficiência energética juntamente com a Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL) e com a Rio Grande Energia (RGE) Sul onde um cronograma de ações visa à modernização do sistema de iluminação e de geração de energia do campus sede da universidade. Dentro deste há a substituição de 1,3 mil lâmpadas fluorescentes de 32W cada por 1,3 mil lâmpadas LED com 18W buscando melhor gestão dos recursos energéticos.

O presente estudo visa constatar se a nova iluminação do prédio principal e anexos do Centro de Tecnologia da UFSM atendem à norma vigente nas áreas de passagem (corredores e escadarias) e verificar a possibilidade de se obter melhores níveis de efficientização energéti-

ca através do projeto luminotécnico aplicado a essas áreas. A análise seguirá a metodologia a ser apresentada, a qual será constituída por simulação em software (DIALux) e testes práticos segundo o manual Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) Handbook e a normatização adequada aos sistemas de iluminação

1.2 MOTIVAÇÃO

Segundo HALL (2011), o olho humano apenas absorve a luz refletida pelos objetos e não a luz irradiada pela fonte luminosa. Mesmo que não possa ser vista, a iluminância tem um importante papel em nosso cotidiano, pois 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).

As normativas não proíbem níveis de iluminação acima do recomendado, desde que não causem problemas adicionais, tais como ofuscamento, por exemplo. No entanto, a energia adicional consumida poderia ser redirecionada para áreas deficitárias ou simplesmente reduzir o consumo energético. A iluminação excessiva também representa uma baixa eficiência energética.

Com isso, busca-se avaliar o projeto luminotécnico aplicado em áreas de passagem de um prédio público, sendo elas corredores e escadarias, visando averiguar se o atual projeto fora executado da maneira mais eficiente. Assim, além de melhorar o conforto visual, busca-se com o presente trabalho elaborar uma metodologia para coletar dados, avaliar e desenvolver soluções para aumentar a eficiência e eficácia de um projeto luminotécnico onde lâmpadas fluorescentes foram substituídas por lâmpadas LEDs.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Principal

Verificar a possibilidade de melhorar a eficiência energética através do projeto luminotécnico aplicado às áreas de circulação.

1.3.2 Objetivos Específicos

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

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho, primeiramente, apresenta a revisão bibliográfica com os conceitos-chaves para entendimento do mesmo e orientação para o desenvolvimento de uma metodologia, e esta será apresentada após a revisão.

A metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos, também neste capítulo é apresentado o meio que os dados serão trabalhados para obtenção dos resultados os quais serão apresentados no capítulo seguinte a metodologia.

Para os resultados, apresenta-se a simulação e seus resultados e posteriormente serão apresentados os dados obtidos em medições a campo para cada cenário proposto na metodologia. Após esses, apresenta-se um estudo financeiro para os resultados.

Por fim conclui-se o trabalho apresentando as conclusões gerais contendo o melhor cenário bem como a sua justificativa. Também se apresentam as contribuições deste trabalho e propostas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo a seguir apresenta a revisão bibliográfica e conceitos bases para o entendimento do presente trabalho. Este capítulo visa criar uma metodologia para o desenvolvimento do projeto luminotécnico das áreas de circulação, estabelecendo também os critérios de medição e avaliação dos resultados obtidos.

2.1 NORMAS

No Brasil, a norma vigente para avaliar esse trabalho é a NBR 8995-1:2013. Esta norma determina diversos parâmetros de iluminação, tais como: valores de iluminância média, metodologias de cálculos luminotécnicos entre outros conceitos utilizados nesse trabalho.

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).

Dentre as características de iluminação a serem observadas pela norma estão:

- 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 (R_a): Índice mínimo de IRC a ser atingido para a área analisada.

Conforme a NBR 8995, os valores recomendados dos parâmetros e suas tolerâncias para as áreas de passagem seguem os informados pela Tabela 1. A faixa de tolerância da iluminação média ($E_{média}$) que deve ser mantida na superfície de referência, segue o fator de 1,5, ou seja, 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	75	100	150
UGR _L	-	-	28
Ra	40	-	-

Fonte: Autor

Neste estudo, opta-se pela melhoria dos níveis de iluminância e os fatores de uniformidade. Os fatores de uniformidade central e de entorno devem ser maiores ou iguais a 0,7 e 0,5 respectivamente.

2.2 METODOLOGIAS DE CÁLCULO E AFERIÇÃO

Um dos métodos para o cálculo do número de luminárias necessárias em um ambiente é o método dos lumens ou Método do Fluxo Luminoso. Conforme Mamede (2018) a determinação do fluxo luminoso total pode ser calculado pela Equação 2.

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

Onde E é a iluminância média em lux, ϕ_t é o fluxo luminoso total das luminárias em lumens, S é a área do recinto em m², F_{dl} e F_{ut} são os fatores de depreciação e de utilização respectivamente.

Os fatores de depreciação e utilização são dependentes dos dados fornecidos pelo fabricante da luminária e de uma rotina de manutenção (presente no anexo D da NBR 8995-1:2013).

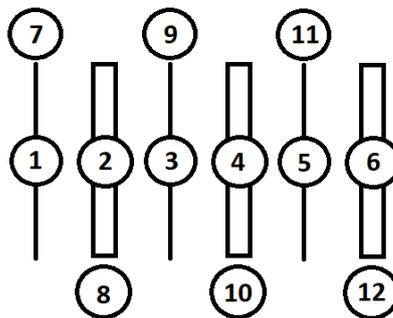
Sabendo-se o fluxo total é possível obter o número mínimo de luminárias para o ambiente a partir da Equação 3.

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

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

Segundo a *Illuminating Engineering Society Of North America* (IESNA) um método que permite aferir a luminosidade média consiste em fazer duas medições abaixo e entre as luminárias sendo uma ao centro e outra próxima a parede alternando os lados, conforme ilustra a Figura 1.

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



Fonte: Autor.

Para realizar as medições de iluminância utiliza-se um luxímetro (aparelho capaz de mensurar o iluminamento em uma superfície) nos pontos definidos pela IESNA. A seguir, calcula-se a média dos dados e obtém-se a iluminância média (Equação 4).

$$E_{média} = \frac{\sum_0^n E_n}{n} \quad (4)$$

O fator de uniformidade (Fu) é calculado conforme a Equação 5. Para o Fu central, utiliza-se a iluminância central mínima enquanto para o de entorno usa-se o menor valor obtido nos entornos. Ambos são divididos pela média obtida anteriormente.

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

2.3 CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Os resultados são analisados e avaliados observando as determinações normativas vigentes. Para os resultados obtidos, apresentara-se uma proposta de mudança no sistema para aproximar os resultados finais da iluminância descrita na norma.

Após a análise inicial do cenário, propõe-se modificações, tais como alteração no número de lâmpadas, troca de luminárias e reposicionamento de luminárias, visando resultados finais os mais próximos dos valores dados pela norma. As alterações possíveis serão discutidas a seguir.

2.4 POSSÍVEIS MODIFICAÇÕES

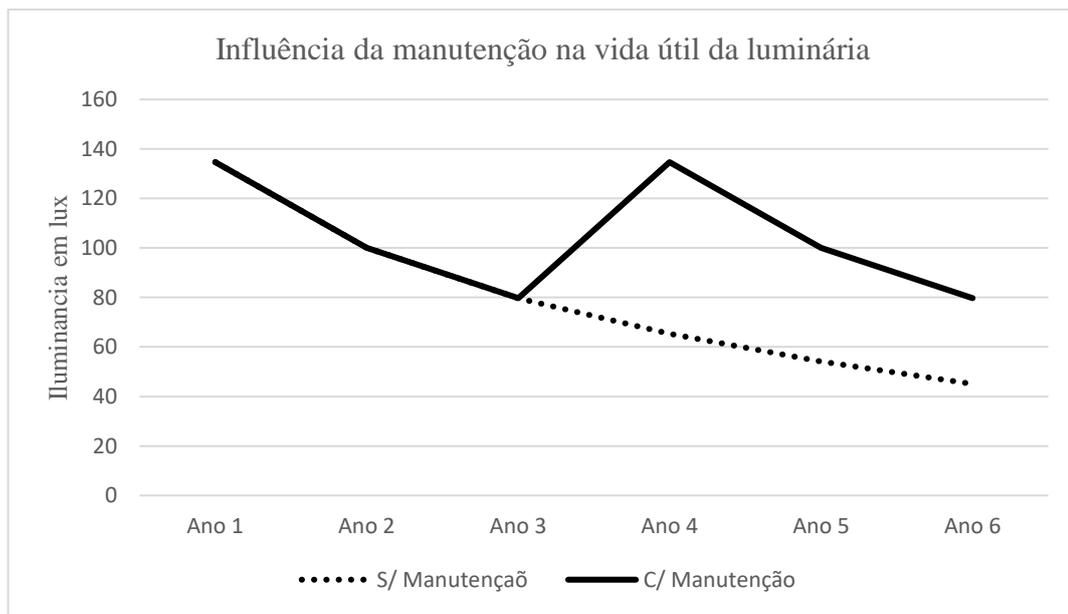
Para se obter um sistema luminoso mais eficiente e eficaz, é necessário melhorar a eficiência luminosa média, dada em lm/W. Com isso, aumenta-se o fluxo luminoso para lâmpadas de mesma potência. Por exemplo: uma lâmpada incandescente de 40 W possui um fluxo luminoso de 470 lumens, enquanto uma lâmpada fluorescente comum com os mesmos 40 W, pode atingir 3000 lumens (MAMEDE; 2018).

Uma alternativa seria realizar a troca ou modificação de luminárias, aumentando-se o fluxo luminoso da luminária. Desta forma, para o mesmo recinto pode-se reduzir o número de luminárias ou lâmpadas necessárias, conforme descrito na Equação 2. Se a luminária não possuir uma saída de fluxo uniforme, existe ainda a possibilidade de rotacioná-la, buscando maior uniformidade e maior área de cobertura do equipamento.

2.5 ROTINAS DE MANUTENÇÃO

É comum que com o aumento do tempo de serviço, a luminária acumule poeira, a lâmpada sofra com desgaste e, com isso, perca seu fluxo luminoso inicial. Para garantir maior longevidade do sistema, faz-se uma rotina de manutenção, definida pelo projetista. Este procedimento pode consistir em limpeza das luminárias, substituição de componentes com mau funcionamento, inspeções periódicas para garantir o nível de iluminação adequado, dentre outros. A Figura 2 ilustra a diferença entre um sistema com e sem rotina de manutenção. Nela é possível perceber que

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



Fonte: Autor.

O fator de manutenção (FM) é dado pela Equação 6 que é função dos seguintes fatores, descritos pela NBR 8995. São eles:

- 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).

Todos eles encontram-se descritos no Anexo D da norma, mas de forma sucinta. 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 em si e o FMSS a limpeza do ambiente.

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

2.6 CONCLUSÕES

Este capítulo apresentou os princípios básicos para a realização do projeto de um sistema de iluminação para interiores, incluindo as considerações sobre os principais fatores que contribuem para a degradação do serviço de iluminação. Além disso, discutiram-se potenciais soluções a serem implementadas para a melhoria dos níveis de iluminação e aproveitamento energético. Tais abordagens podem ser usadas em projetos luminotécnicos novos ou reforma de sistemas pré-existent.

As seções 2.4 e 2.5, trazem alternativas aplicáveis para melhorar a qualidade da iluminação. Aguarda-se os resultados posteriormente apresentados para determinar a melhor possibilidade.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o desenvolvimento metodológico adotado neste trabalho. Aqui são 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 verificação dos dados obtidos.

3.1 PROCEDIMENTOS

Para realizar a coleta de dados, faz-se uso das técnicas apresentadas na revisão bibliográfica, seguindo-as para todos os cenários definidos.

3.2 ESTUDO DE CASO

O presente estudo é feito nas dependências do prédio principal do CT e do prédio 10, ambos pertencentes a UFSM, onde, recentemente, houve a troca de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o prédio principal do Centro de Tecnologia.

Figura 3 - Prédio principal do Centro de Tecnologia.



Fonte: (UFSM, 2018).

Anteriormente, todos os corredores possuíam um sistema de iluminação composto por luminárias de duas lâmpadas fluorescentes de 32W cada. Estas lâmpadas foram substituídas por duas lâmpadas LEDs de 18W cada orientadas em sentido transversal ao corredor.

As avaliações luminotécnicas deste trabalho serão direcionadas aos corredores e demais áreas de passagem, do segundo e terceiro andares do prédio principal e os corredores do primeiro e segundo andares do prédio 10.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para validação do estudo, faz-se uma simulação utilizando o software DIALux™. Neste, usando as plantas do prédio do CT em formato CAD, cria-se um ambiente virtual onde verifica-se a atual situação do sistema luminotécnico. A partir das simulações, avalia-se as mudanças propostas discutidas no capítulo anterior propondo cenários que serão posteriormente discutidos.

Com as mudanças selecionadas, criam-se cenários onde estes são avaliados a partir de dados obtidos com um luxímetro (POL-10B da Politem), obedecendo o padrão de medições dado pela IESNA.

3.4 CONDIÇÕES LIMITES

Nesse trabalho propõem-se três cenários, nos quais propõem-se mudanças na quantidade de lâmpadas por luminária, buscando aproximar a iluminância do seu valor normativo.

O primeiro cenário é elaborado a partir do atual sistema de iluminação, sendo ele duas lâmpadas LEDs para cada luminária. No segundo cenário, propõe-se a retirada de uma lâmpada a cada duas luminárias, fazendo com que o corredor fique com luminárias de uma e duas lâmpadas 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 os avaliados. Espera-se que este possua a menor média de iluminância, porém se o mesmo estiver dentro da norma vigente, ele ainda é um cenário válido.

Os três cenários são representados pelas letras A, B e C onde:

A – Duas lâmpadas por luminárias (cenário atual);

B – Luminárias com uma e duas lâmpadas intercaladas;

C – Uma lâmpada por luminária.

Por fim, propõem-se rotacionar as luminárias deixando-as em sentido paralelo ao sentido do corredor. Repetem-se os mesmos testes com mesmos cenários anteriormente propostos e avaliam-se os resultados, estes apresentados no próximo capítulo.

3.5 CONCLUSÕES PARCIAS

Com o que fora apresentado, acredita-se que é possível desenvolver uma rotina sólida para aferir os dados e compara-los pelos cenários propostos. Os cenários apresentados são simples e de fácil execução, o que deve diminuir erros no processo. Também se apresenta o caso a ser estudado e os materiais necessários para desenvolvimento do presente trabalho

4 RESULTADOS

Os cálculos apresentados neste capítulo são realizados seguindo a metodologia apresentada, assim, nesta seção disserta-se sobre os parâmetros escolhidos e como estes impactam nos resultados finais.

Seguindo a metodologia, os resultados obtidos são apresentados nesse capítulo. Definem-se os parâmetros escolhidos para as simulações bem como seus resultados. Após, apresenta-se e discutem-se os resultados dos testes feitos em campo. Ao final, apresenta-se as conclusões desse capítulo.

4.1 PARÂMETROS DE CÁLCULO

Para as simulações, certos parâmetros de ambiente são necessários para obter uma simulação mais precisa, tais como as refletâncias de teto, paredes e pisos. Mamede (2018) sugere alguns valores de refletância os quais são adotados para configuração do software. Sendo assim, os valores são 0,7 para o teto, 0,5 para as paredes (apesar de não serem claras, adotou-se esse valor por possuírem muitos quadros com superfícies refletivas como vidro) e 0,2 para o piso.

4.2 SIMULAÇÕES E MEDIÇÕES REALIZADAS

4.2.1 Simulação

O software DIALux™ permite planejar, calcular e visualizar projetos luminotécnicos de interiores e exteriores, o que fez dele uma boa escolha para esse projeto. Com capacidade de importar as plantas diretamente do AutoCAD, buscou-se as plantas do CT para criar os ambientes das áreas de passagem.

Posteriormente, selecionaram-se luminárias próximas as encontradas nos corredores. Optou-se pela luminária AS-810 da linha comercial produzidas pela Intral. Estas possuem capacidade para duas lâmpadas tubulares T8 com a possibilidade de se usar um refletor satélite em alumínio.

Também, utilizou-se as informações fornecidas pelo fabricante das lâmpadas utilizadas atualmente (Golden modelo 3409C 18W LED), e assim, pode-se prosseguir para a simulação

O prédio do CT foi modelado no DIALux™ (Figura 4). Definiram-se as áreas de circulação como espaços de trabalho, para simular o sistema luminotécnico buscando melhor compreender a atual situação dos corredores.

Figura 4 - Prédio do centro de tecnologia renderizado no DIALux™.



Fonte: Autor.

Na

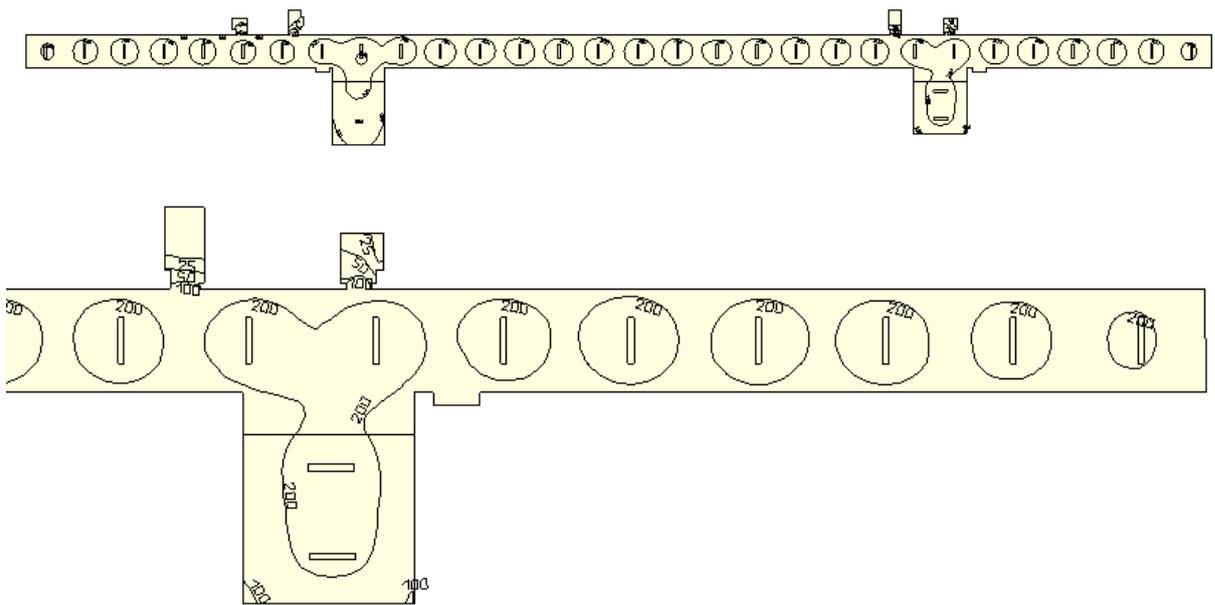
Figura 5 apresenta-se o corredor do 3º andar do prédio principal do centro. São mostradas as curvas isométricas de iluminação, essas curvas demonstram pontos onde a iluminância se mantém constante, enquanto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra-se o corredor já renderizado pelo *software*.

As figuras 5 e 6 permitem observar a distribuição das luminárias nos corredores. A

Figura 5 permite a visualização das isolínhas que mostram a uniformidade da iluminação, enquanto a

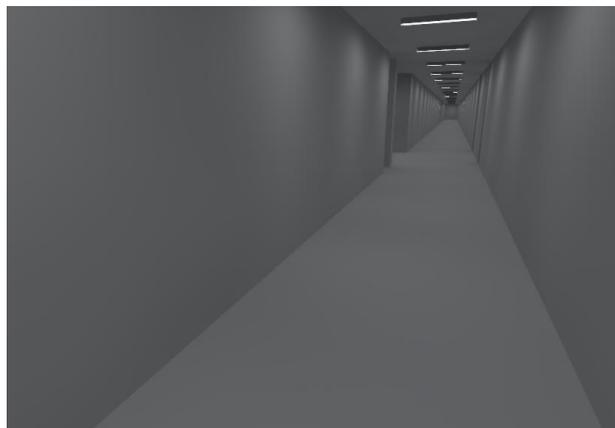
Figura 6 mostra uma visão geral do corredor renderizado pelo software. Segundo os dados obtidos na simulação, o corredor estudado possui a média de 204 lux, o corredor atualmente conta com 30 luminárias contendo duas lâmpadas LED cada.

Figura 5 – Curvas isométricas do corredor do 3º andar (vista superior). Abaixo uma parte da figura ampliada permitindo melhor visualização das isolíneas.



Fonte: Autor.

Figura 6 - Corredor 3º andar renderizado.



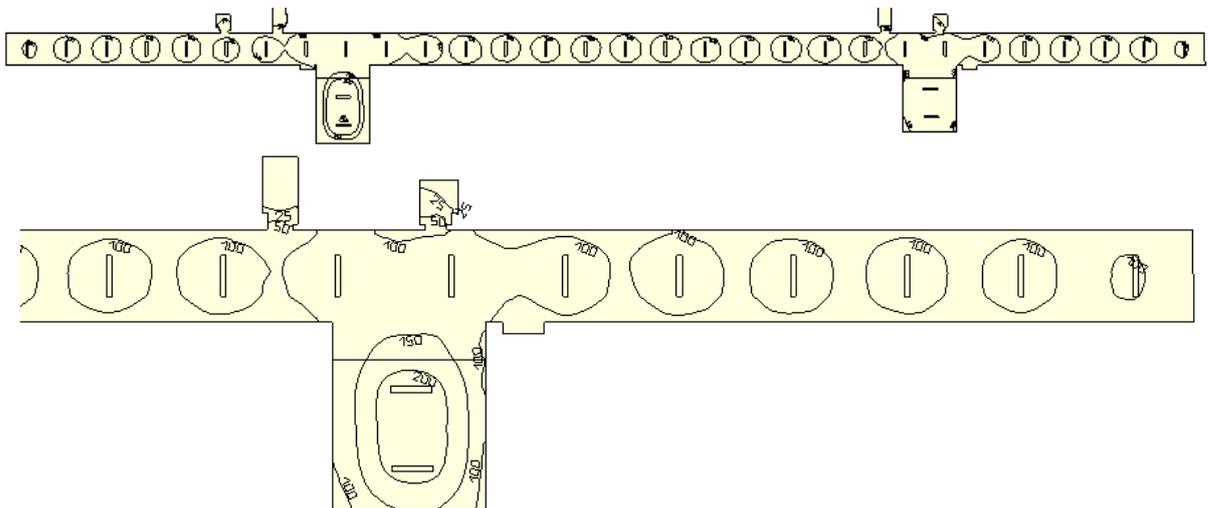
Fonte: Autor.

A seguir, é simulado o corredor com uma lâmpada por luminária. Os resultados são mostrados na Figura 7 e na

Figura 8. Do mesmo modo, a Figura 7 mostra as isolínhas enquanto a Figura 8 uma visão geral do corredor renderizado.

Esse cenário apresentou uma iluminância média de 121 lux, o que o enquadra dentro da norma. A uniformidade da iluminação também não foi afetada de maneira significativa como mostram as curvas isométricas.

Figura 7 – Curvas isométricas do corredor do 3º andar (vista superior). Abaixo uma parte da figura ampliada para melhor visualização das isolínhas.



Fonte: Autor.

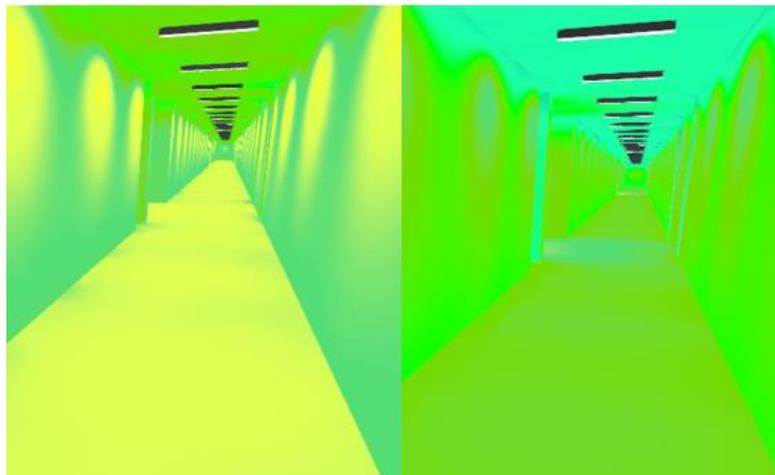
Figura 8 - Cenário atual simulado.



Fonte: Autor.

Na Figura 9 é mostrado uma comparação entre os resultados utilizando o modo de falsas cores. As cores mais quentes (como o amarelo) representam maiores níveis de iluminação enquanto as cores mais frias (verde) possuem menores níveis, mostrando assim prováveis locais com sombreamento. Mesmo que o primeiro cenário tenha uma maior média, nota-se pelo resultado que ambos os cenários têm baixa variabilidade de iluminância, pois possuem cores constantes ao longo do corredor. Outras regiões simuladas têm resultados semelhantes.

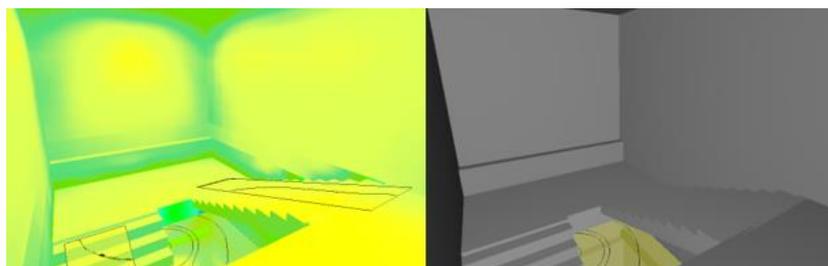
Figura 9 – Corredor em falsas cores (204 lux a esquerda, 121 lux a direita)



Fonte: Autor.

Também se observou os resultados obtidos nas escadarias (Figura 10). Ao se observar que foram atingidos 160 lux médios utilizando luminárias com duas lâmpadas, conclui-se que nesses espaços não há possibilidade para aplicar a redução de lâmpadas, pois a média normativa de escadarias é 150 lux.

Figura 10 - Escadarias (a esquerda mapa de calor, a direita a renderização)



Fonte: Autor

4.2.2 Estudo prático

Com os resultados apresentados na simulação possibilitando uma redução no número de lâmpadas nas áreas de corredores, aplicam-se os cenários propostos na seção 3.4. Esses cenários, representados pelas letras A, B e C, são aplicados em 4 ambientes de estudo, sendo eles os corredores do 2º e 3º andares do prédio principal do CT e 1º e 2º andares do prédio 10. Foram avaliados iluminação média e fatores de uniformidade central e de entorno.

Por questões de formatação, os resultados são representados em tabelas individuais para cada cenário. Avaliando os resultados apresentados, todos se enquadram dentro da normatização discutida nesse trabalho. Os fatores de uniformidade centrais e de entorno mantiveram-se acima de 0,7 e 0,5 respectivamente. Mesmo que alguns dados mostrem resultados abaixo de 100 lux, as iluminâncias médias apresentaram-se dentro do permitido pela norma.

Tabela 2 - Resultados obtidos para o cenário A.

Corredor	<i>E</i>_{média} (lux)	<i>Fu</i>_{central}	<i>Fu</i>_{entorno}
1º andar prédio 10	155	0,70	0,74
2º andar prédio 10	176	0,82	0,80
2º andar do prédio principal	175	0,83	0,80
3º andar do prédio principal	165	0,77	0,79

Fonte: autor.

Tabela 3 - Resultados obtidos para o cenário B.

Corredor	<i>E</i>_{média} (lux)	<i>Fu</i>_{central}	<i>Fu</i>_{entorno}
1º andar prédio 10	109	0,71	0,85
2º andar prédio 10	124	0,85	0,93
2º andar do prédio principal	114	0,80	0,75
3º andar do prédio principal	108	0,79	0,72

Fonte: autor.

Tabela 4 - Resultados obtidos para o cenário C.

Corredor	<i>E</i>_{média} (lux)	<i>Fu</i>_{central}	<i>Fu</i>_{entorno}
-----------------	---------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

1º andar prédio 10	87	0,73	0,76
2º andar prédio 10	100	0,75	0,85
2º andar do prédio principal	92	0,75	0,70
3º andar do prédio principal	86	0,76	0,75

Fonte: autor.

4.2.2.1 Rotação das luminárias

Os resultados anteriores não levam em consideração a rotação da luminária. O sistema atual possui luminárias orientadas no sentido transversal ao sentido do corredor. Nesse item será avaliado o efeito de orientá-las paralelas ao sentido do corredor. Como amostra, foi utilizado o corredor do segundo andar do CT. Os resultados são mostrados na

Tabela 5. Com isso pode-se extrapolar os resultados para o terceiro andar. Baseados nos resultados do capítulo 4.2 obtém-se os resultados exibidos na Tabela 6. Estes resultados mostram que ao redirecionar o fluxo luminoso pode-se melhorar a uniformidade uma vez que a luminária ilumina um maior comprimento do corredor.

Tabela 5 - Resultados do corredor do 2º andar.

Teste	A	B	C
E_m (lux)	144	109	79
Fu _{central}	0,95	0,87	0,91
Fu _{entorno}	0,90	0,85	0,79

Fonte: autor.

Tabela 6 - Resultados do corredor do 3º andar.

Teste	A	B	C
E_m (lux)	135	103	73
Fu _{central}	0,88	0,86	0,91
Fu _{entorno}	0,89	0,82	0,86

Fonte: autor.

Ao reposicionar as luminárias, melhora-se o fator de uniformidade, porém a iluminância média diminui. Assim, o resultado obtido com o cenário A no corredor do 3º andar é conside-

rado inválido, pois não atinge o mínimo dado pela norma (100 lux), nem a sua tolerância (75 lux).

Por outro lado, o 2º andar mantém-se dentro da tolerância normativa com 79 lux e fatores de uniformidade mais altos que os anteriores sendo assim um cenário válido. Para que o 3º andar se torne válido (com as luminárias orientadas no sentido do corredor) é necessário utilizar o cenário A ou B, pois estes estão em conformidade com a NBR8995.

4.3 PROPOSIÇÃO DE REPROJETO

Os resultados obtidos na seção anterior, mostram que é possível reduzir o consumo energético com o cenário C mantendo-se a conformidade com a norma vigente. Assim, acredita-se que esse é o melhor cenário para estudar e melhorar.

Considerando que o sistema de iluminação fique ativo por 8 horas por dia, são apresentados os cálculos com os consumos de energia do atual sistema e do sistema proposto. Contudo, a duração em que o sistema fica ativo pode variar em função das luminárias e assim, em alguns locais, permanecerem ligadas por mais tempo.

Os cálculos a seguir consideram o número total de luminárias nos dois prédios analisados (prédio 10 e o CT) que são 108 luminárias. Cada uma pode conter até 2 lâmpadas LEDs de 18 W. Cada cenário será analisado nos períodos de 1 mês, 6 meses, 12 meses, 24 meses e 36 meses. Os resultados são mostrados na Tabela 7 e na Figura 11 mostram a diferença no consumo que essa mudança representa e conforme aumenta-se o período analisado, tem-se uma mudança mais significativa.

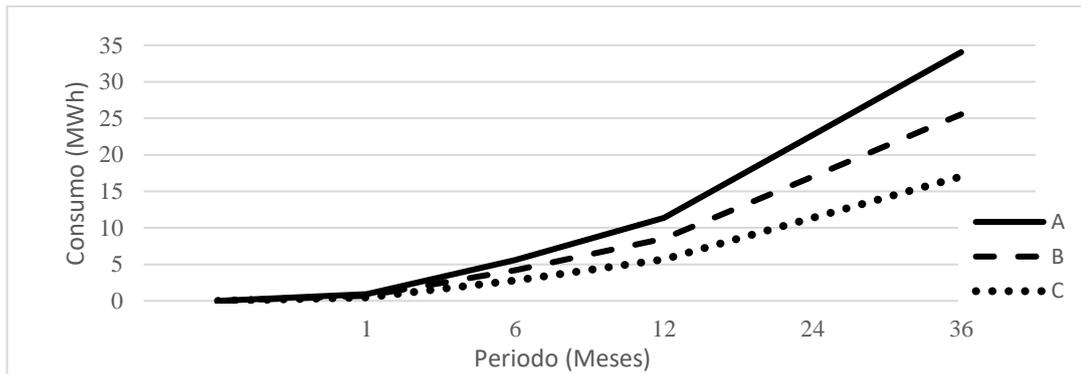
Tabela 7 - Consumo por Cenário em kWh.

Período	A	B	C
1 Mês	933,12	699,84	466,56
6 Meses	5598,72	4199,04	2799,36
12 Meses	11352,96	8514,72	5676,48
24 Meses	22705,92	17029,44	11352,96
36 Meses	34058,88	25544,16	17029,44

Fonte: autor.

Pode-se observar que há uma redução de quase 50% na demanda energética possibilitando que essa energia seja redirecionada para outras áreas. Vale ressaltar aqui que em 3 anos teve-se uma economia de aproximadamente 17 MWh somente aplicando o estudo a 4 corredores. Se o estudo for ampliado para outras áreas, a economia é cada vez mais expressiva quanto ao valor bruto.

Figura 11 - Gráfico referente a Tabela 7.



Fonte: autor.

4.4 ROTINA DE MANUTENÇÃO

Como dito anteriormente, o fator de manutenção (FM) é constituído pelo produto de quatro outros fatores. A tabela D.2 presente na NBR 8995 apresenta exemplos de referência para fatores de manutenção em ambientes que, mesmo sendo referenciados para lâmpadas fluorescentes, podem ser utilizados para esse estudo. A seguir apresenta-se a Tabela 8 com os valores de referência para cálculo do FM.

Tabela 8 - 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.

O fator de manutenção tem papel importante na conservação dos níveis iluminância média e o aumento da vida útil do sistema luminotécnico. A norma NBR 8995 em seu Anexo D traz exemplos e sugestões para elaborar uma rotina e assim obter melhores 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 9 - Rotina de manutenção das luminárias.

Projeto:	Rotina de manutenção das luminárias	
Ambiente:	Corredores e áreas de passagem	
Data:	02/12/2018	
Luminárias		
Descrição:	Intral AS-820 sem refletor	
Código:	05292	
Intervalo de limpeza:	1 ano	
FML		0,80
Lâmpada:		
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
Ambiente:		
Nível de limpeza	Normal	
Intervalo de limpeza	2 anos	
FMSS		0,90
Fator de manutenção		0,67

Fonte: NBR 8995-1:2013

4.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Com os dados apresentados, conclui-se que é possível reduzir o consumo e ainda mensurar a economia gerada. Os testes com o cenário C, o que possui menor gasto energético, teve resultados satisfatórios, pois os mesmos se encaixam dentro da norma e, frente as limitações dadas, é o cenário mais eficaz.

5 CONCLUSÃO

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um estudo no qual buscou-se avaliar a condição luminotécnica das áreas de passagem do prédio central e anexo do Centro de Tecnologia da UFSM e elaborar propostas no intuito de aumentar a eficiência e eficácia do sistema como um todo.

Primeiramente, foi introduzido o assunto a ser estudado de maneira que se contextualize e apresente o sistema que este trabalho avaliou. Nele, buscou-se citar a evolução da tecnologia de iluminação bem como a importância de estudos prévios que devem ser feitos anteriormente as práticas de *retrofit*.

No capítulo 2, apresentou-se a revisão bibliográfica e os conceitos básicos necessários para o entendimento desse trabalho. Com isso, pretende-se revisar conteúdos que auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho.

No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia utilizada. Nele é apresentado o caso a ser estudado e os métodos que esses são avaliados. Ao final, apresentam-se os cenários com as modificações que cada um propõe.

O capítulo 4 apresentou e discutiu os resultados obtidos a partir das simulações e amostragens em corredores e áreas de passagem do CT e Prédio 10. O cenário C, o qual propõe a mudança para uma lâmpada por luminária, apresenta o melhor resultado pois está dentro dos parâmetros normativos e possui o menor consumo energético, conforme visto na Tabela 4 e Tabela 7 respectivamente.

Portanto, conclui-se com esse trabalho a possibilidade de ter um sistema luminotécnico que seja composto de apenas uma lâmpada por luminária. O menor consumo e a diminuição de equipamentos podem ser redirecionados para áreas deficitárias melhorando ainda mais a eficiência do prédio.

5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Esse trabalho contribuiu para apresentar uma solução que minimize o uso de energia nas áreas de circulação de uma edificação pública, melhorando a eficiência do mesmo. Esse estudo também mostrou a importância de um estudo prévio a ser efetuado antes da simples troca de lâmpadas no sistema luminotécnico. A energia economizada com esse estudo poderia e pode ser redirecionada para outras áreas deficitárias ou diminuir despesas com energia.

Ainda, no processo de simulação todo o prédio do CT e seus anexos foram modelados no software DIALux, podendo ser utilizados para futuros estudos como os corredores dos anexos A, B e C e todas as salas de aula presentes neste prédio.

5.3 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Destaca-se a necessidade de um estudo mais amplo para avaliar a situação dos demais prédios da UFSM e do próprio CT. Conforme visto nesse trabalho, o estudo luminotécnico é importante para a melhor eficiência e eficácia frente a apenas realizar a simples substituição de lâmpadas.

Ainda, há possibilidade de aumentar as médias apresentadas utilizando luminárias que possuam refletores em alumínio melhorando a qualidade do sistema e diminuindo o sombreamento do local.

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 02/12/2018

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanco 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=GOL057-16%20R2%20Ficha%20Tecnica%20-%20Ultraled%20Tubular%20-%20PRO_rev_1.pdf Acesso em: 28 de setembro de 2018.

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

GUERRINI, D. P. **Iluminação - Teoria e Projeto**. 2. ed. [S.l.]: Érica, 2008.

HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Guyton & Hall tratado de fisiologia médica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F.; DUTRA, L. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1.ed. São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados Ltda, 1997.

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

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Centro de Tecnologia**. 2018. Disponível em: <https://www.ufsm.br/unidades-universitarias/ct/>. Acesso em: 02 dez. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Sobre o CT**. 2018. Disponível em <https://www.ufsm.br/unidades-universitarias/ct/sobre-o-ct/>. Acesso em: 02 dez. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **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%8Bbufsm-desenvolve-projeto-de-eficiencia-energetica-junto-com-a-cpfl-e-rge-sul/>. Acesso em: 02 dez. 2018.