

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR DO AMARAL PEREIRA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DAS SALAS DE  
AULAS DA UFCG - CAMPUS POMBAL**

Pombal - PB

Maio de 2021

ARTHUR DO AMARAL PEREIRA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DAS SALAS DE  
AULAS DA UFCG - CAMPUS POMBAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Rodrigo Mendes Patrício Chagas

Pombal - PB

Maio de 2021

P436a

Pereira, Arthur do Amaral.

Análise do sistema de iluminação artificial das salas de aulas da UFCG - Campus Pombal. / Arthur do Amaral Pereira. - Pombal, 2021.

63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas."

Referências.

1. Engenharia de iluminação. 2. Iluminação. 3. Iluminação artificial. 4. Sala de aula - iluminação - artificial. 5. Sala de aula - iluminação - Pombal - Paraíba. I. Chagas, Rodrigo Mendes Patrício. II. Título.

CDU 628.9(043)

**ANÁLISE DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DAS SALAS DE  
AULAS DA UFCG, CAMPUS POMBAL**

**Aprovado em: 13 de maio de 2021.**

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas

(UACTA/UFCG – Campus Pombal)

*Orientador*

Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

(UAEC/UFCG – Campus Campina Grande)

*Avaliador Externo*

Prof. Dra. Ricélia Maria Marinho Sales

(UACTA/UFCG – Campus Pombal)

*Avaliadora Interna*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho representa a conclusão de um ciclo, e aqui deixo meus agradecimentos aos que contribuíram com o desenvolvimento dele e aos que fizeram parte da minha vida para chegar a esse momento.

A Universidade Federal de Campina Grande, ao Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, a Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental pela sua estrutura e corpo docente e técnico a quem devo muito pelo conhecimento adquirido.

Ao meu orientador Professor Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas por aceitar me orientar, que me ajudou com muita sabedoria, atenção e paciência, e possibilitou a conclusão com êxito deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora Professor Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho UFCG - Campina Grande, Professora Dr.<sup>a</sup> Ricélia Maria Marinho Sales UFCG - Pombal.

Ao professor Dr. Gerald Norbet Souza da Silva pelas suas correções e incentivo no tempo em que foi meu orientador neste trabalho.

A toda minha família, em especial a minha mãe, Maria Gerlania Pereira do Amaral, que sempre acreditou, apoiou e possibilitou a conclusão do curso.

Aos professores Dr. Bruno Farias da Silva e Dr. Hugerles Sales Silva pelas ideias iniciais e estímulos para produção deste trabalho, e pela sincera amizade que formamos.

Aos grandes amigos que formei durante graduação, Matheus Dias, Tulio Henrique, Yago Wiglife e Yanneson Marlon, por todos os dias e noites de estudo que compartilhamos, bem como as outras experiências compartilhadas durante esses anos.

Aos amigos que formei durante o estágio na Prefeitura Municipal de Pombal, em especial Aline Florentino e Giordano Ugulino que me ensinaram muito sobre ser um profissional.

E por fim a todas os demais que estiveram presentes em minha vida durante este curso.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplificação das Temperaturas de Cor.....	18
Figura 2: Fluxo de iluminação direta.....	20
Figura 3: Fluxo de iluminação indireta.....	21
Figura 4: Modelo de iluminação geral.....	21
Figura 5: Modelo de iluminação de tarefa.....	22
Figura 6: Modelo de iluminação de destaque.....	22
Figura 7: Fluxograma do método os lumens.....	28
Figura 8: Localização das Centrais de Aula I, II e III.....	33
Figura 9: Sala de aula.....	34
Figura 10: Sala de desenho.....	35
Figura 11: Disposição das luminárias das salas de aula das centrais I e III.....	36
Figura 12: Disposição das luminárias da sala de desenho.....	36
Figura 13: Disposição das luminárias das salas de aula da central II.....	37
Figura 14: Luxímetro Digital Escala 0 A 999.900 Lux Com Rs-232 E Datalogger MOD. LDR-225.....	38
Figura 15: Fluxograma de atividades.....	39
Figura 16: Malha para o conjunto I.....	41
Figura 17: Malha para o conjunto II.....	42
Figura 18: Iluminância média em função das salas de aulas da central I.....	42
Figura 19: Iluminância média em função das salas de aulas da central II.....	43
Figura 20: Iluminância média em função das salas de aulas da central III.....	44
Figura 21: Luminária de sobrepor 4010.....	45
Figura 22: Luminária de alto rendimento 2x36 t8.....	46
Figura 23: Luminária XP-513.....	50
Figura 24: Lampada TL-D 36W/840 1SL/25.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Índice de reprodução de cor por ambiente.....	17
Tabela 02: Aparência de cor por temperatura de cor.....	31
Tabela 03: Tabela da Nbr 8995-1 Indicando Os Níveis Adequados de Iluminância do Entorno Imediato de Acordo com a Área de Tarefa .....	25
Tabela 04: Níveis adequados de iluminância do entorno imediato.....	26
Tabela 05: Fatores determinantes da iluminância adequada.....	28
Tabela 06: Índice de reflexão típica.....	29
Tabela 07: Fator de manutenção .....	30
Tabela 08: Fator de utilização da luminária de sobrepor 4010 .....	44
Tabela 09: Fator de Utilização da Luminária de Embutir RE800 .....	45
Tabela 10: Lâmpadas fluorescentes lineares .....	46
Tabela 11: Lâmpadas fluorescentes T8.....	46
Tabela 12: Iluminâncias em lux, por tipo de atividade.....	47
Tabela 13: Planejamento dos ambientes (áreas).....	47
Tabela 14: Iluminamento Alcançado pelo Sistema Utilizado .....	47
Tabela 15: Redimensionamento do Sistema Utilizando Lâmpadas e Luminárias Existentes .....	48
Tabela 16: Fator de Utilização da Luminária de Embutir XP-513 .....	50
Tabela 17: Dimensionamento do Novo Sistema de Luminárias .....	51

## LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÖES

a.C	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira e Normas Técnicas
CIE	International Commission on Illumination
c	Comprimento
d <sub>1</sub>	Fator de depreciação ou de manutenção;
d <sub>2</sub>	Maior dimensão do ambiente
E	Iluminância
Em	Iluminância Mantida
hm	distância da fonte luminária ao plano de trabalho;
I <sub>1</sub>	Intensidade Luminosa
l <sub>2</sub>	Largura
IRC	Índice de Reprodução de cor
ISO	International Organization for Standardization
K	Kelvin
K	Índice de reflexão
L	Luminância
Lx	Lux
LED	Light Emitting Diode
lm	Lúmen
lm/w	Eficiência Luminosa
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
n <sub>1</sub>	Pontos medidos
n <sub>2</sub>	Quantidade de luminárias;
NBR	Norma Brasileira
p	Tamanho da malha
Ra	Índice de reprodução de cor
S	Área do recinto
S/N	Sem número
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UGLR	Índice de ofuscamento

w	Watt
u	Fator de utilização ou coeficiente de utilização;
$\varphi$	Fluxo por luminárias;
$\phi$	Fluxo luminoso total

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01: Consumo de energia.....	18
Equação 02: Fluxo luminoso total.....	27
Equação 03: Quantidade de luminárias .....	27
Equação 04: Índice do local .....	29
Equação 05: Tamanho da malha.....	29
Equação 06: Iluminância Média .....	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2</b>	<b>REFENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>HISTÓRIA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
2.2.1	FLUXO LUMINOSO .....	14
2.2.2	ILUMINÂNCIA (E).....	14
2.2.3	LUMINÂNCIA (L) .....	15
2.2.4	CONTRASTE .....	15
2.2.5	INTENSIDADE LUMINOSA (I).....	16
2.2.6	EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W).....	16
2.2.7	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC) .....	16
2.2.8	TEMPERATURA DE COR (K) .....	17
2.2.9	POTÊNCIA (W).....	18
2.2.10	TRANSMISSÃO E TRANSMITÂNCIA .....	19
2.2.11	REFLEXÃO E REFLETÂNCIA .....	19
<b>2.3</b>	<b>ILUMINAÇÃO EFICIENTE .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5</b>	<b>ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6</b>	<b>NORMA DE DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7</b>	<b>MÉTODOS DE CÁUCLOS DE ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>26</b>
2.7.1	MÉTODO DOS LUMENS .....	27
2.7.2	DETERMINAR NIVEL DE ILUMINÂNCIA MANTIDA.....	28
2.7.3	ESCOLHA DA LUMINARIA .....	29
2.7.4	ÍNDICE DE LOCAL E REFLETÂNCIA.....	29
2.7.5	FATOR DE MANUTENÇÃO .....	30
2.7.6	FLUXO LUMINOSO .....	31
2.7.7	ESCOLHA DA LÂMPADA .....	31

2.7.8	ESCOLHA DA LUMINÁRIA .....	31
2.8	EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA AS MEDIÇÕES.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	CARACTERIZAÇÃO.....	33
3.1	MATERIAIS .....	37
3.1	MÉTODO.....	38
3.1.1	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO .....	38
3.1.2	DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO PARA O TIPO DE LÂMPADAS E LUMINÁRIAS EXISTENTE .....	40
3.1.3	CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA MANTIDA DO SISTEMA EXISTENTE .	40
3.1.4	DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO DO NOVO SISTEMA .....	40
4	RESULTADOS .....	41
4.1.1	DIVISÃO DAS SALAS DE AULA .....	41
4.1.2	ILUMINÂNCIA MÉDIA.....	42
4.1.3	REDIMENSIONAMENTO LUMINOTECNICO .....	45
4.1.4	DIMENSIONAMENTO LUMINOTECNICO PROPOSTO .....	49
5	CONCLUSÃO .....	52
	REFERÊNCIAS.....	54

## **RESUMO**

Nos ambientes onde o nível de iluminação encontra-se ou com deficiência ou em excesso, compromete a saúde visual dos indivíduos que ali desempenham alguma tarefa. Assim este trabalho objetiva analisar, avaliar e redimensionar o sistema de iluminação das salas de aula dos blocos I, II e III da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Pombal. Para isso, foi utilizada o método dos lumens com base na ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1, que mostrou que levando em conta as dimensões e características do recinto, os tipos de luminárias e lâmpadas o nível de iluminamento das salas de aula e de desenho está abaixo do exigido, e assim foi proposto uma soluções apropriada para se ter maior eficiência luminotécnica.

**Palavras-Chave:** Iluminação. Salas de Aula. Avaliação.

## **ABSTRACT**

In environments where the lighting level is either disabled or in excess, it compromises the visual health of individuals who perform a task there. As is the case with performance in classrooms of students and teachers. That said, this work aims to analyze and evaluate the lighting of classrooms in blocks I, II and III of the Federal University of Campina Grande (UFCG), Pombal campus. For this, the methodology adopted was the bibliographic research that served as a basis for the Case Study carried out at the University mentioned above, which showed that taking into account the dimensions and characteristics of the enclosure, the types of luminaires and lamps, the lighting level of the rooms of class and design is below the required, and therefore an appropriate solution was proposed to have greater luminotechnical efficiency.

**Keywords:** Illumination. Classrooms. Assessment.

## 1. INTRODUÇÃO

A iluminação artificial existe desde o início do controle do fogo no período neolítico, porém só em 1879 ela começou a se tornar arrojada, quando Thomas Edison criou a primeira lâmpada comercial (Costa, 2006), baseada em uma corrente elétrica que passa por uma resistência-filamento, que aquece até chegar ao estado de incandescência (Silva, 2004).

Ainda que a lâmpada de Edison tenha iniciado um grande passo para a iluminação artificial, o verdadeiro impulso foi quando Coolidge conseguiu trefilar tungstênio, e no ano de 1907 ser criada a lâmpada incandescente de tungstênio. Em sequência, as evoluções das lâmpadas aconteceram baseadas principalmente em fatores como: iluminância, reprodução de cor e economia de energia (Costa, 2006).

Para tanto não se pode imaginar o mundo globalizado hoje sem o potencial da iluminação artificial, e os grandes avanços que ela proporciona. A luz é essencial para nossa vida na realização de inúmeras tarefas diárias, no trabalho, na vida doméstica, para a segurança, afirma Adene (2009).

A iluminação é um dos parâmetros essenciais para a concepção de qualquer projeto. O tipo de iluminação empregado irá caracterizar a edificação, adequando-se a sua função e possibilitando o exercício das atividades visuais. Em edificações escolares, é o projeto de iluminação que possibilitará o desenvolvimento das tarefas visuais que auxiliarão no aprendizado.

O sistema de iluminação artificial apresentado atualmente em salas de aulas, principalmente na rede pública de ensino, não leva em conta a diversidade das atividades executadas nestes ambientes e, muitas vezes, desconsidera parâmetros importantes como: a orientação, as dimensões e as atividades visuais desenvolvidas.

Conforme Lamberts, Dutra e Pereira, a escolha adequada e a ponderação entre as fontes de luz de um ambiente tornam-se difíceis devido às diferentes preferências pessoais quanto à iluminação, fator este que é subjetivo e oscila conforme o sexo e a idade da pessoa, a hora do dia e as atividades desempenhadas no local.

Além disso, quanto mais for complicada a tarefa a ser executada e maior for a idade da pessoa, maior deve ser o nível de iluminamento de um ambiente. Pois, iluminação insuficiente pode causar fadiga visual, dor de cabeça e irritabilidade, além de comprometer a qualidade da tarefa executada.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A importância da iluminação vem do fato dela ser um dos requisitos para se conseguir a execução de atividades, principalmente as que exigem atenção e precisão. E a motivação para produção deste trabalho veio da experiência e insatisfação como usuário dos ambientes do estudo.

## **1.2 OBJETIVOS**

Levantar informações a respeito do nível de iluminação permite avaliar e melhorar os sistemas adotados em ambientes específicos.

Este trabalho tem como objetivos:

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise luminotécnica em termos do nível de iluminação nas salas de aula dos blocos de aulas I, II e III da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Pombal.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Medir e avaliar o nível de iluminação existente nas salas;
- Analisar o sistema de iluminação existente utilizando o método dos lumens; e
- Propor soluções apropriadas para se ter maior eficiência luminotécnica levando em conta as dimensões e características do recinto, os tipos de luminárias e lâmpadas;
- Atingir os níveis de iluminação artificial recomendados para salas de aula, com baixo custo de implementação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 HISTÓRIA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Em busca da sobrevivência no seu habitat, o Homem paleolítico primeiramente descobre como manter aceso o fogo, e começa a vivenciar seu espaço através da iluminação feita de forma artificial. Na Era Neolítica foi uma grande evolução para o homem, quando passou a utilizar o fogo para assar as caças, e com isso percebe que a gordura em contato com a brasa aumenta a chama. Assim surgem as “luminárias de pedra”, feitas com óleos tanto animal quanto vegetal e fibras que mantinham o fogo aceso por mais tempo, afirma Vianna (2001)

Segundo Mascaró (1990) com a evolução do Homem, surgem as tochas feitas com pedaços de madeira encerrados com a terebintina e com elas, passou-se a transportar a luz. Outro fato importante para a iluminação é que o homem percebe que quanto mais alta a tocha ficava, maior a superfície iluminada. Assim surgiram os castiçais que ajudavam a elevar a chama da luz. As cidades do Império Romano usavam as tochas para a iluminação pública em eventos importantes.

No antigo Egito e na Grécia. Feitas com a gordura animal agora em estado pastoso (sebo), não mais líquido e, posteriormente, com a cera de abelha e outros ingredientes. Cada um originando novas descobertas, como por exemplo, a cera que originava uma chama mais brilhante que o sebo. Na Idade Média as velas eram artigos de luxo colocados em detalhados castiçais de prata e madeira.

Szabo (2002) diz que por anos foram sendo aprimoradas as técnicas para manter o fogo aceso para iluminar e soluções para a fumaça e o odor dos óleos, já que os queimadores até então, eram abertos. No ano de 1783, o suíço François Pierre Ami Argand descobriu que ao se colocar um cilindro de vidro sobre um queimador, a chama tornava-se ficava mais estável, mais brilhante e gerando menos fumaça e odor.

De acordo com Bonali (2001), em 1792 que o escocês Willian Murdoch através de uma experiência com a destilação de carvão fóssil armazenou o gás obtido e iluminou a sua casa, ela possibilitava um maior controle da luz e tinha uma luz mais intensa, um candelabro a gás equivalia a luz de 12 velas. No ano de 1859 passou-se a produzir a lâmpada de querosene, pois a matéria era de fácil armazenagem e de custo mais barato que o sistema a gás.

Segundo Gonçalves (2005), na segunda metade do século XIX entra em ação a eletricidade. Foi quando Thomas Edison inventou a primeira lâmpada realmente

prática no mundo, de viabilidade comercial. A preocupação desta lâmpada era encontrar um filamento resistente. A grande evolução da época, atualmente já está com os dias contados. Na Europa foi proibida a sua comercialização em 2008 e, aqui no Brasil, deverá ser extinta do mercado até 2015.

Atualmente a evolução das lâmpadas vem sendo muito rápida. Depois das lâmpadas incandescentes vieram às fluorescentes, as halógenas, a vapor e, estamos desvendando, as de LED. Essas por sua vez, entraram no mercado em 1999 e prometem ser a revolução dos próximos anos, pois são ricas em eficiência energética, durabilidade e economia. É a lâmpada ideal para a atual evolução do mundo que busca a sustentabilidade social e dos recursos energéticos.

## **2.2 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO**

Os itens a seguir apresentam os principais conceitos e grandezas que norteiam os estudos e dimensionamentos de sistemas de iluminação artificial e natural. Tais ferramentas servem de base para todo o desenvolvimento deste trabalho, de forma a fundamentar as discussões e análises aqui realizadas.

### **2.2.1 FLUXO LUMINOSO**

O ambiente sob o qual o sistema de iluminação está exposto, bem como as condições de operação deste determinam a diminuição de forma antecipada do fluxo luminoso, segundo ABNT NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Silva (2004, p. 40) afirma que, fluxo luminoso “É a quantidade total de luz emitida por uma fonte e medida em lumens (lm)”. Costa (2005, p. 197), define fluxo luminoso como “[...] a potência luminosa emitida ou observada, ou ainda, representa a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções sob a forma de luz.”.

### **2.2.2 ILUMINÂNCIA (E)**

A iluminância é definida como o “Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende a zero.” ABNT NBR 5413/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1).

Para Vianna e Gonçalves (2001), o fluxo luminoso não apresenta uma distribuição uniforme, logo a iluminância não apresentará valores iguais em todos os pontos da área analisada. Sendo assim, para verificar se a área trabalhada está de acordo com os parâmetros requeridos se faz necessária a avaliação em termos de valor médio de iluminâncias dos pontos da área em questão.

### 2.2.3 LUMINÂNCIA (L)

Moreira (1999, p. 18) conceitua luminância como:

O limite da relação entre a intensidade luminosa irradiada em uma direção determinada, a partir de uma superfície elementar contendo um ponto dado e a área aparente dessa superfície para uma direção considerada, quando essa área tende a zero.

A unidade representativa de luminância é candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Conforme a norma ABNT NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 4) a luminância é experimentada por um ser humano:

“Quando uma parte da luz incidente sobre uma superfície é refletida, o olho humano perceberá a superfície como uma fonte de luz. O brilho observado é chamado de luminância, que depende da posição e da direção em que o usuário olha [...]”.

### 2.2.4 CONTRASTE

A norma NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991), diz que contraste permite a avaliar a diferença de aspectos, devido à diferença de luminosidade percebida, de duas ou mais partes do campo de observação. Segundo Lamberts et al. (2004, p. 58):

“Contraste é definido pela relação entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Em pleno dia podemos perceber diferenças de luminância de até 1%, mas sob condições precárias de iluminação até diferenças de 10% podem passar despercebidas”.

### 2.2.5 INTENSIDADE LUMINOSA (I)

“Expressa em candelas (cd), é a intensidade do fluxo luminoso (lm) projetado em determinada direção.” (SILVA, 2004, p. 40).

Segundo Costa (2005), a intensidade luminosa é a grandeza de base do sistema internacional de iluminação humana. Diferentemente das demais, consiste numa grandeza biofísica e incorpora a reação humana para a visão da luz

Ou seja, é a percepção da quantidade de luz emitida em determinada direção. Quanto menor o fecho de abertura da lâmpada, mais “forte” é aquela luz, ou seja, maior quantidade de candelas. Quando mais aberto for o ângulo da lâmpada, mais a luz se distribui e, portanto, menor quantidade de candelas.

### 2.2.6 EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W)

A eficiência ou eficácia luminosa corresponde ao quociente entre o fluxo luminoso em lumens, pela potência consumida em watts. Sendo assim, correspondendo à definição física de rendimento (COSTA, 2005).

Para Vianna e Gonçalves (2001, p. 68), a eficiência luminosa é:

“Um parâmetro de comparação entre lâmpadas, sendo assim muito útil quando utilizado em análises de consumo energético e consequentemente econômicas para instalações de sistemas de iluminação artificial”.

É “a maior ou menor capacidade de produzir luz a partir do mesmo consumo de energia” (VIANNA; GONÇALVES, 2001). A eficiência é, portanto, a razão entre o fluxo luminoso emitido e a potência (lm/W). Quanto mais eficiente for a lâmpada, maior o seu fluxo luminoso (lm) e menor a sua potência (W).

### 2.2.7 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)

De acordo com a norma NBR ISO 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 9), o índice de reprodução de cor:

É importante tanto para o desempenho visual quanto para a sensação de conforto e bem-estar que as cores do ambiente, dos objetos e da pele

humana sejam reproduzidas natural e corretamente, e de modo que façam com que as pessoas tenham uma aparência atrativa e saudável.

Avalia numa escala de 0 a 100% a capacidade de uma luz artificial reproduzir a luz natural. Quanto mais próximo de 100%, mais fidedigna é a reprodução das cores, e conseqüentemente maior a qualidade da fonte de luz. Considerando lâmpadas como fontes de luz, estas são consideradas boas para a reprodução de cores quanto possuem índice acima de 80, afirma Silva (2004).

A Tabela 1 apresenta a relação entre o IRC, a qualidade de reprodução de cor e locais de uso.

Tabela 1: Índice de reprodução de cor X ambientes.

100	EXCELENTE	NÍVEL 1	1a – Ra - 90 a 100	Testes de cor, floricultura, escritórios, residências, lojas
	MUITO BOM		1b – Ra - 80 a 89	
80	BOM	NÍVEL 2	2a – Ra - 70 a 79	Áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios esportivos
	RAZOÁVEL		2b – Ra - 60 a 69	
60	REGULAR	NÍVEL 3	Ra - 40 a 59	Depósitos, postos de gasolina, pátio de montagem industrial
40	INSUFICIENTE	NÍVEL 4	Ra - 20 a 39	Vias de tráfego, canteiros de obras, estacionamentos

Fonte: SILVA, 2004, p.39

## 2.2.8 TEMPERATURA DE COR (K)

As lâmpadas apresentam como uma característica, a aparência da cor, que se refere a aparência da cor da luz que esta reproduz. Para cada aparência de cor definida, há um intervalo de temperaturas de cor relacionado, segundo a ABNT NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A temperatura de cor é, portanto, a aparência cromática da luz emitida pela fonte. Na iluminação, quanto maior a temperatura de cor (K), diz-se que a tonalidade de luz é mais “fria”, enquanto quanto mais baixa for a temperatura, mais “quente”, com um tom amarelado.

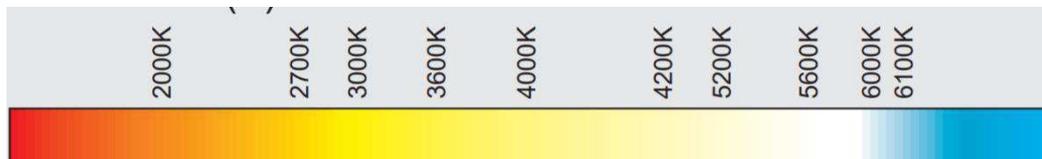
Em ambientes internos, normalmente usa-se temperaturas de cor variando de 2500K à 6500K.

Tabela 2: Aparência de cor X temperatura de cor.

Aparência da cor	Temperatura da cor correlata
Quente	Abaixo de 3300K
Intermediária	3300K a 5300K
Fria	Acima de 5300k

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 9

Figura 1: Exemplificação das temperaturas de cor.



Fonte: Manual luminotécnico pratico, Osram, 2011.

Quanto as qualidades da cor de uma lâmpada, a ABNT NBR 8995-1 as caracteriza por dois atributos: a aparência de cor da própria da própria lâmpada; e a sua capacidade de reprodução de cor, que afeta a aparência da cor do que for iluminado pela lâmpada.

### 2.2.9 POTÊNCIA (W)

A potência é a unidade de medida para a quantidade de energia elétrica necessária para determinada fonte de luz. O consumo de energia é calculado pela potência do equipamento multiplicado pelo tempo de uso. As potências dos equipamentos são necessárias para dimensionar os circuitos e a carga de energia total.

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potência (kW)} * \text{Tempo de uso (h)} \quad (1)$$

### 2.2.10 TRANSMISSÃO E TRANSMITÂNCIA

De acordo com a ABNT NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p.22) define-se transmissão como sendo a “Passagem de uma

radiação através de um meio, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos dessa radiação.”.

Ainda segundo a norma, a transmissão pode-se apresentar sob três formas, transmissão direta, difusa e mista. Já transmitância apresenta-se sob forma regular e difusa e é definida como a razão entre o fluxo radiante ou luminoso transmitido, para o fluxo incidente, uma radiação com determinada composição espectral e distribuição geométrica.

### 2.2.11 REFLEXÃO E REFLETÂNCIA

Quando uma radiação incide sobre uma superfície ou um meio qualquer e retorna sem que haja alteração na frequência dos seus componentes monocromáticos esta radiação experimenta o fenômeno de reflexão ABNT NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991).

A reflexão pode ocorrer na forma de reflexão especular, difusa ou mista. A norma também apresenta o conceito de refletância como sendo “[...] a razão do fluxo radiante ou luminoso refletido, para o fluxo incidente, nas condições dadas.”.

## 2.3 ILUMINAÇÃO EFICIENTE

Um projeto luminotécnico eficiente deve sempre buscar os seguintes pontos:

- Boas condições de visibilidade;
- Boa reprodução de cores;
- Economia de energia elétrica;
- Facilidade e menores custos de manutenção;
- Preço inicial compatível;
- Utilizar iluminação local de reforço;
- Combinar iluminação natural com artificial.

Um projeto de iluminação deve prover uma distribuição da luminosidade razoavelmente uniforme nos planos iluminados, deve também evitar o deslumbramento das pessoas que utilizam o local, pois o deslumbramento é uma impressão de mal-estar que o ambiente gera nos olhos.

Ressalta-se que a iluminação não é um complemento, mas sim, parte de um projeto global, e que se deve planejar uma iluminação que responda a todos os requisitos que o usuário exige do espaço que está utilizando (RODRIGUES, 2002).

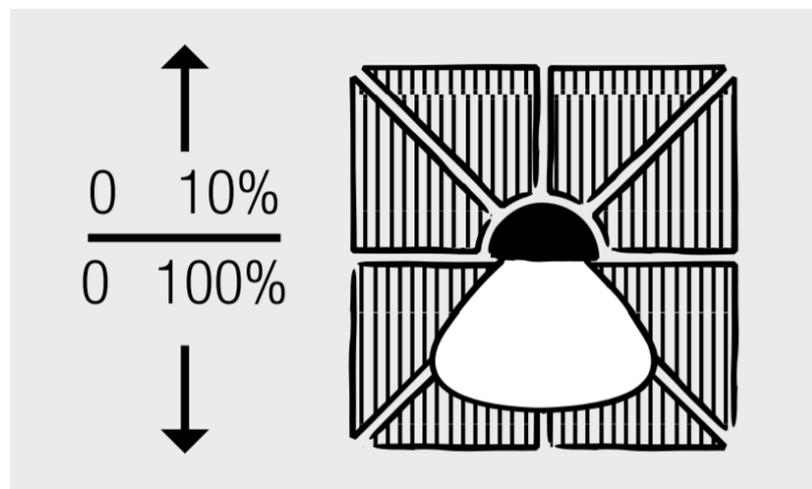
A iluminação é um fator determinante na produtividade das atividades que são desenvolvidas no ambiente, por isso, para sistemas que não foram projetados adequadamente, ou que por qualquer outra causa não satisfaça as condições de uso, devem passar por um estudo de revitalização, estudo que considera várias características do sistema atual e apresenta uma saída que atende aos requisitos expostos anteriormente, sempre da maneira mais eficiente e econômica possível.

## 2.4 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Os sistemas de iluminação são classificados de acordo com a sua distribuição e seu efeito produzido no ambiente. São comumente definidos como:

- a) Iluminação Direta: quando o fluxo luminoso é incidido diretamente sobre a superfície que se quer iluminar. A luz direta pode estar associada à iluminação geral ou de destaque, dependendo de como for a luminária e sua aplicação. A luz direta pode ser dirigida, quando é direcionada para iluminar determinada superfície ou difusa, quando a luminária possui um difusor (normalmente de vidro ou acrílico), suavizando e distribuindo a luz para várias direções, proporcionando uma iluminação mais uniforme.

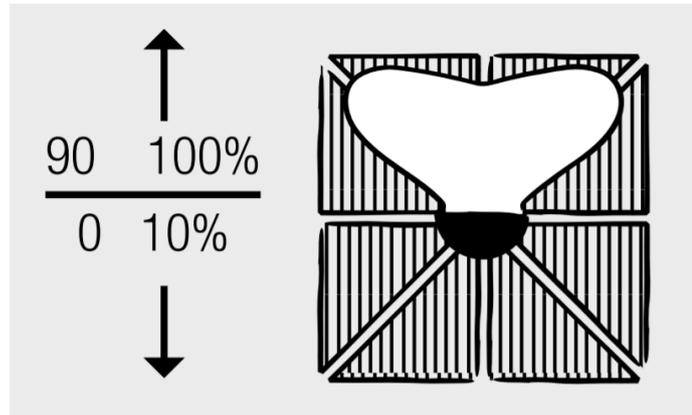
Figura 2: Fluxo de iluminação direta.



Fonte: Osram, 2008

- b) Iluminação Indireta: quando a fonte de luz não é vista e o ambiente é iluminado pela luz refletida. É um recurso muito utilizado para criar ambiências mais confortáveis, em locais de descanso, criando efeitos de luz ou uma iluminação geral mais amena.

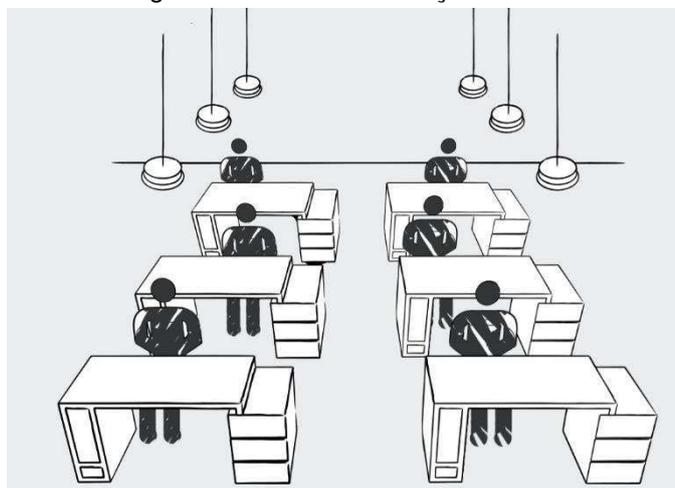
Figura 3: Fluxo de iluminação indireta.



Fonte: Osram, 2008

- c) Iluminação geral: quando a luz é direcionada a iluminar o ambiente por completo, podendo ser de forma indireta ou direta. A iluminação geral pode ser projetada com luz indireta, criando uma ambiência mais amena. Em ambientes de trabalho, procura-se ter uma iluminação geral mais uniforme, normalmente com iluminação direta, dispondo as luminárias numa configuração mais regular de maneira que a luz seja distribuída de forma mais homogênea. É uma iluminação que proporciona maior flexibilidade na disposição do layout, já que o fluxo luminoso é distribuído de forma mais uniforme no ambiente.

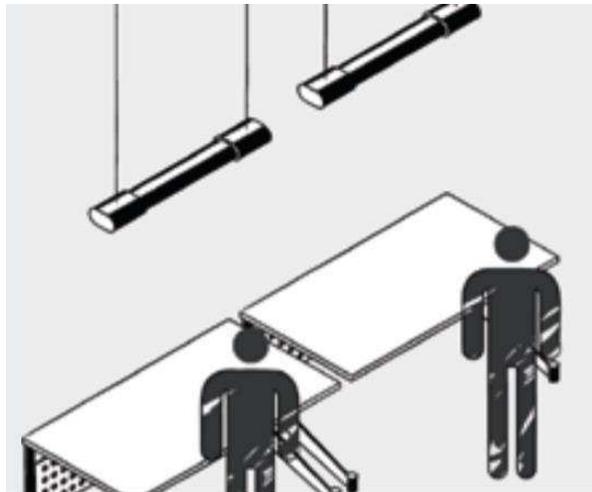
Figura 4: Fluxo de iluminação indireta.



Fonte: Osram, 2008

- d) Iluminação localizada ou de tarefa: quando a luminária é direcionada para concentrar a luz em determinado local de interesse. É muito utilizada em áreas de trabalho, como mesas de escritório, ou tarefas de fábricas, por exemplo. As luminárias devem ser instaladas de forma que a iluminância seja uniforme na área de trabalho, de acordo com o nível mínimo adequado indicado na norma ABNT NBR 8995-1. É um sistema que limita o layout, pois se houver mudanças perde-se o planejamento do sistema de iluminação. Ela proporciona uma iluminância que a iluminação geral precisaria de um alto consumo energético para conseguir atingir o mesmo resultado.

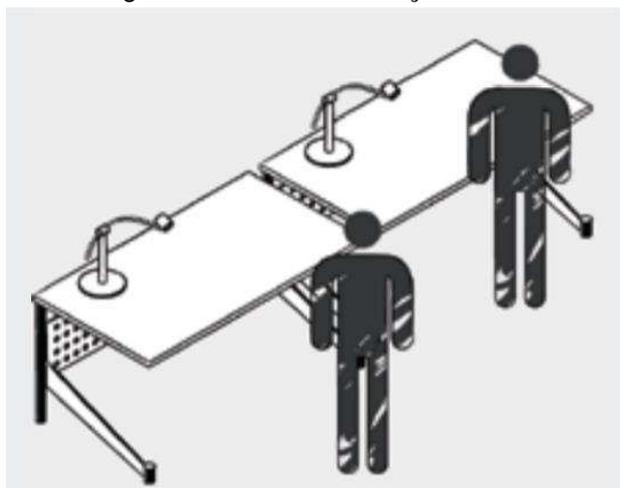
Figura 5: Fluxo de iluminação indireta.



Fonte: Osram, 2008

- e) Iluminação de destaque: quando há uma concentração maior de luz em determinada direção para destacar uma região específica. Para este efeito, é necessário um alto contraste entre a iluminação de destaque e a iluminação geral. É uma iluminação comumente utilizada em exposições, por exemplo, locais onde há uma preocupação em destacar determinados objetos contra o pano de fundo.

Figura 6: Fluxo de iluminação indireta.



Fonte: Osram, 2008

Os sistemas e efeitos de iluminação, num mesmo ambiente, podem ou não serem utilizados em conjunto, de acordo com a necessidade e proposta de projeto. Assim como, pode-se aliar os sistemas de controle, adaptando os acendimentos, circuitos e fluxos luminosos, através de equipamentos auxiliares.

#### 2.4.1 LUMINÁRIAS

Para Mamede (2007) principal função das luminárias é a fixação das lâmpadas, além disso, elas devem ser visualmente agradáveis ao observador, alterar o fluxo luminoso da lâmpada, e facilitar instalação e manutenção desta.

#### 2.4.2 LÂMPADAS

As lâmpadas elétricas utilizadas comercialmente podem ser classificadas de acordo com seu processo de emissão de luz (Fiorini, 2006). As com filamento convencional ou halógenas produzem luz pela incandescência, as de descargas aproveitam a luminescência, assim como os relâmpagos, e os diodos utilizam fotoluminescência, como os vaga-lumes (Rodrigues, 2002).

### 2.5 ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA

Para Krüger (2002) A iluminação em salas de aula deve servir para atividades como escrita e leitura, sempre desenvolvida confortavelmente de acordo com as necessidades particulares. Por muito tempo, os sistemas de iluminação nos ambientes de trabalho foram dimensionados de modo a poupar energia. Os valores

recomendados até a década de 50 oscilavam em torno de 10 a 50 Lux, muito abaixo dos níveis atualmente usados

A iluminância recomendada para iluminação de escolas, para uso em salas de aula, estabelecida pela ABNT NBR 5413/92, é no mínimo 300 lux, para usuários com idade inferior a 40 anos, em que a velocidade e a precisão de execução da tarefa visual sejam importantes e em que a refletância de fundo de tarefa esteja entre 30% a 70%.

Determina, também, que se verifique uma iluminância de 500 lux no quadro-negro, observando-se se a luz incidente no mesmo não está criando reflexos prejudiciais à leitura em nenhum ponto da sala; caso necessário deve-se colocar iluminação complementar.

## **2.6 NORMA DE DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO**

De acordo com a NBR 8995-1 Iluminação em ambientes de trabalho, uma "boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto".

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. Em geral a iluminação assegura: conforto visual, dando aos trabalhadores uma sensação de bem-estar; desempenho visual, ficando os trabalhadores capacitados a realizar suas tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos; segurança visual, ao olhar ao redor e detectar perigos. (NBR ISO 8995-1/2013)

Para satisfazer as exigências do ambiente, a NBR 8995-1 indica que que é necessário dar atenção a todos os parâmetros que contribuem para a boa iluminação do ambiente, como a distribuição da luminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, níveis de iluminância, aspectos da cor da luz, presença de iluminação natural, manutenção dos equipamentos, entre outros.

A boa distribuição da luminância é importante para conforto visual do usuário. Para tal, a NBR 8995-1 indica evitar luminâncias muito altas, que podem levar ao ofuscamento; contrastes muito altos, que causam fadiga visual devida à continua

readaptação dos olhos; e luminâncias e contrastes muito baixo, gerando um ambiente de trabalho sem estímulo.

A norma determina índices de iluminância de acordo com diversos tipos de ambientes e atividades, a fim de proporcionar segurança visual no trabalho e as necessidades do desempenho visual. Para determinados ambientes de trabalho em escritórios e edifícios educacionais, algumas das recomendações estão demonstradas na Tabela 3, onde a iluminância média para cada tarefa não pode estar abaixo dos valores indicados, independentemente da idade dos usuários e condições da instalação.

Tabela 03: Recorte da tabela da NBR8995 com indicações de alguns casos em ambientes educacionais.

28. Construções educacionais				
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	$T_{cp} > 5\ 000\ K$ .
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
Salas de preparação e oficinas	500	22	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 1984.

Fonte: NBR ISO 8995-1

A Tabela 3 estabelece o nível de iluminância mantida (Em, em lux) recomendado para a superfície de referência para a tarefa ou atividade do ambiente indicado; o índice limite de ofuscamento (UGRL) aplicável; o índice de reprodução de cor (Ra) mínimo; e algumas observações com recomendações específicas.

É possível perceber que onde há tarefa de leitura e escrita o indicado é 500lux. Para alguns ambientes de atividades mais específicas, como atividades mais técnicas,

que podem requerer maior acuidade, a iluminância média aumenta para 750lux. Para lugares onde a área específica é desconhecida, a área do ambiente onde a tarefa pode ocorrer é considerada a área de tarefa.

Convém o aumento da iluminância se as condições visuais forem diferentes, com alguma especificidade. Exemplo disso são situações em que a capacidade de visão dos trabalhadores está abaixo do normal, ou quando o trabalho visual é crítico e requer maior exatidão.

Também é possível reduzir o nível de iluminância em locais onde a tarefa é realizada em um tempo excepcionalmente curto, ou se os detalhes da atividade forem de um tamanho muito grande, por exemplo. Mesmo havendo redução, a iluminância em ambientes de trabalho não deve ser inferior a 200lux.

Além da iluminância na área de tarefa é também preciso atenção para a iluminância no seu entorno imediato, provendo uma distribuição bem balanceada da luminância no campo de visão.

Segundo a NBR 8995-1, mudanças drásticas nas iluminâncias ao redor da área de tarefa podem levar a um esforço visual estressante e desconforto. A Tabela abaixo indica os níveis de iluminância do entorno imediato de acordo com a iluminância da área de tarefa.

Tabela 04: Tabela da NBR 8995-1 indicando os níveis adequados de iluminância do entorno imediato de acordo com a área de tarefa.

Iluminância da tarefa Lux	Iluminância do entorno imediato Lux
≥750	500
500	300
300	200
≤200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: NBR ISO 8995-1

A uniformidade da iluminância é outro critério importante, calculado pela razão entre o valor mínimo e o valor médio de iluminância do ambiente. O cálculo é feito medindo (ou fazendo simulação em software de iluminação) a quantidade de luz em vários pontos da área de tarefa e área de entorno.

A uniformidade é então calculada com os valores da maior e da menor iluminância medida. A iluminância deve se alterar gradualmente. A área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível e seu índice não pode ser menor que 0,7. A uniformidade da iluminância no entorno imediato não pode ser inferior a 0,5.

O ofuscamento visual ocorre quando há uma perturbação causada pelo brilho em excesso, indesejado, causado pela luz em grande intensidade. O ofuscamento pode se dar por uma luz direta ou indireta, refletida por alguma superfície em direção do campo visual do observador (luminâncias muito altas). É importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes.

## **2.7 MÉTODOS DE CÁLCULOS DE ILUMINAÇÃO**

Segundo Creder (1984), para determinar o número de luminárias necessárias para iluminação dos ambientes, pode ser realizada através de três maneiras:

- 1<sup>a</sup> - pela carga mínima exigida para o ambiente (NB-3);
- 2<sup>a</sup> - pelo método dos lumens
- 3<sup>a</sup>- pelo ponto por ponto;
- 4<sup>a</sup> - pelo método das cavidades zonais.

A determinação do número de luminárias através do método da carga mínima é uma aproximação, não tendo grande precisão (CREDER, 1984). Os métodos dos lumens e das cavidades zonais são considerados precisos pelos projetistas.

O método ponto por ponto, porém é um método bastante especializado. Baseia no fluxo médio de luz numa área, na quantidade de luz que incidirá em um determinado ponto da área, sendo necessário pelo projetista o conhecimento da distribuição da luz das diversas fontes de luz existentes, tornando um método pouco utilizado (CREDER, 1984).

### 2.7.1 MÉTODO DOS LUMENS

O método adotado para calcular a iluminação adequada foi o método dos lumens, encontrando em Creder (2016), que define o fluxo luminoso total necessário para um determinado ambiente e após isso determinar a quantidade de luminárias a serem instaladas.

As equações de dimensionamento são dadas por:

$$\phi = \frac{S * Em}{u * d} \quad (2) \quad \text{e} \quad n = \frac{\phi}{\varphi} \quad (3)$$

Onde:

$\phi$  = fluxo luminoso total, em lumens;

S = área do recinto, em metros quadrados;

Em = nível de iluminância mantida, em luxes;

u = fator de utilização ou coeficiente de utilização;

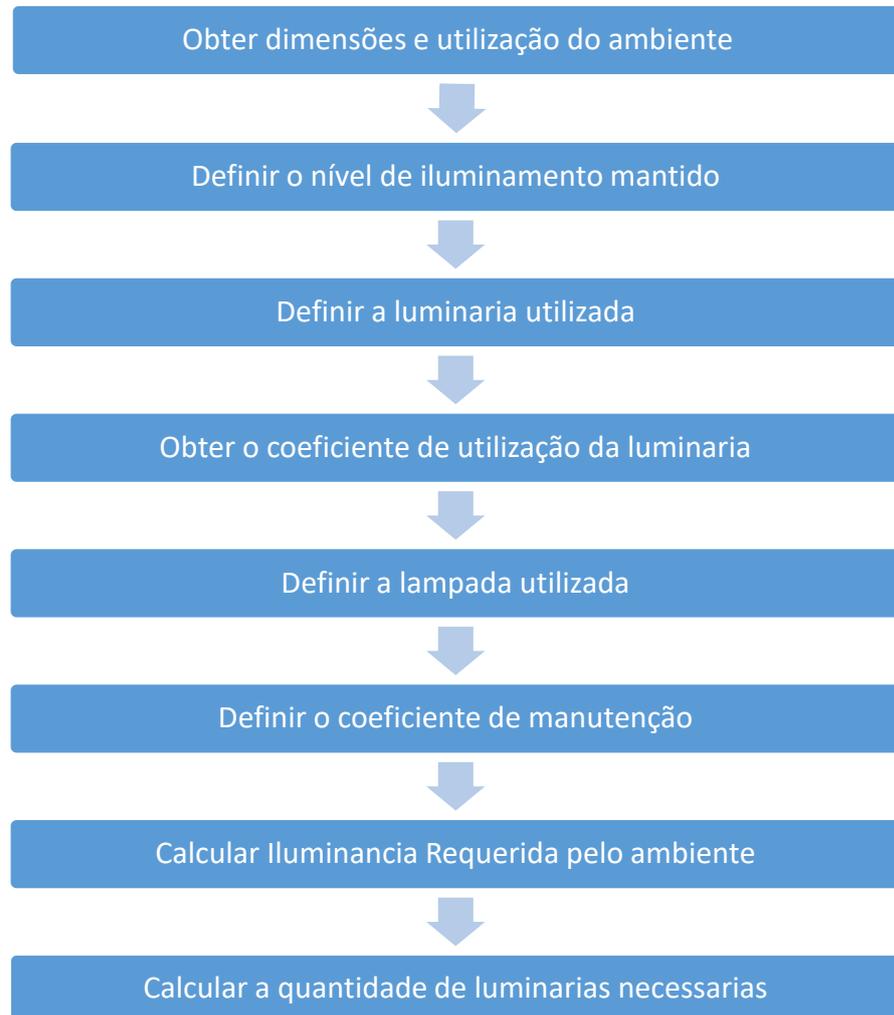
d = fator de depreciação ou de manutenção;

n = número de luminárias;

$\varphi$  = fluxo por luminárias, em lumens.

### 2.7.2 Determinar o nível de iluminância mantida

Figura 8: Fluxograma do método os lumens.



Fonte: Autor.

Obter o nível de iluminância mantida ( $E_m$ ) depende do tipo de atividade exercida no ambiente, como mostrado na tabela 04.

Para determinar qual valor será utilizado é analisada a tabela de fatores determinantes da iluminação adequada.

Tabela 5: Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: NBR 5413:1992

As características do observador têm peso de -1 para a idade, 0 para a velocidade e precisão e +1 para refletância de fundo. Realizar o somatório dos pesos e se o resultado for igual a -2 ou -3, usar a iluminância superior; se for +2 ou +3; e entre -1 e 1 utilizar iluminância média segundo NBR 5413 (ABNT, 1992). No caso em específico a soma é igual a 0, portanto é empregada a iluminância média.

### 2.7.3 Escolha da luminária

A escolha das luminárias, depende do objetivo da instalação, economia, decoração e manutenção, para isso é utilizado os catálogos dos fabricantes.

### 2.7.4 Índice do local e Refletância

O índice do local ( $k$ ), é calculado a partir das dimensões do ambiente. Obtido pela seguinte equação:

$$k = \frac{c \cdot l}{h_m \cdot (c + l)} \quad (4)$$

Em que:

$c$  = comprimento do local;

$l$  = largura do local;

$h_m$  = distância da fonte luminária ao plano de trabalho.

Subsequentemente é identificado o índice de reflexão típica ou refletância, dependente da cor do teto, parede e piso:

Tabela 6: Índice de reflexão típica.

Índice	Reflexão	Significado
1	10 %	Superfície escura
3	30 %	Superfície média
5	50 %	Superfície clara
7	70 %	Superfície branca

Fonte: Creder, 2016

A partir do índice do local e do índice de reflexão, é obtido o coeficiente de utilização, uma relação entre o fluxo luminoso emitido pela luminária e o fluxo recebido pelo plano de trabalho.

### 2.7.5 Fator de manutenção

O fator de manutenção (d) depende das condições do ambiente, como apresenta a tabela 8.

Tabela 7: Fator de manutenção.

<b>Fator de manutenção</b>	<b>Exemplo</b>
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.
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.
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.
0,5	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.

Fonte: Creder, 2016.

### 2.7.6 Fluxo luminoso

Com todas as suas variáveis conhecidas, aplica-se a fórmula do fluxo luminoso total ( $\Phi$ ), apresentada anteriormente e então é obtido a quantidade de fluxo luminoso necessário para o ambiente.

### 2.7.7 Escolha da lâmpada

Imediatamente após calcular o fluxo luminoso requerido é feita a escolha da lâmpada a partir dos catálogos dos fabricantes e obtido o fluxo luminoso emitido pela mesma, avaliando a compatibilidade com a luminária escolhida.

### 2.7.8 Quantidade de luminárias

Por último é calculado a quantidade de luminárias (n) a partir da relação entre o fluxo luminoso total requerido pelo ambiente e o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas instaladas na luminária.

## 2.8 EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA A MEDIÇÃO DAS ILUMINACIAS

Para Moreira (1999, p. 25) "A Fotometria consiste em uma série de métodos e processos de medida das grandezas luminosas, ou seja, transformam variações de fluxo luminoso em grandezas elétricas e fotômetros".

O Luxímetro é um equipamento utilizado nas medições de nível de iluminação, sendo um exemplo de fotômetro, calibrado em lux, utilizado para medir os níveis de iluminância de interiores. (RODRIGUES; PIERRE, 2002)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando as metodologias: pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Em caráter exploratório e abordagem quantitativa.

A pesquisa bibliográfica serviu de embasamento para este trabalho, realizada através de livros, artigos, teses e pesquisa na internet pertinentes ao tema proposto.

A metodologia do trabalho consta das seguintes etapas:

- I. Escolha do objeto a ser pesquisado;
- II. Avaliações das salas de aulas levantando em conta as dimensões, cores das paredes, teto e piso, quantidade de luminárias e lâmpadas;
- III. Medições da iluminância nas salas de aulas;
- IV. Comparações dos cálculos encontrados nas salas de aulas com o método dos lumens.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO

O estudo de caso foi realizado nas salas das Centrais de Aula de I, II e III situados nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal, situado na Rua Jairo Vieira Feitosa, S/N, Bairro Pereiros, Pombal – PB. Na figura 9 pode-se observar a imagem de satélite localizando as Centrais de Aula I, II e III.

Figura 9: Localização das Centrais de Aula I, II e III.

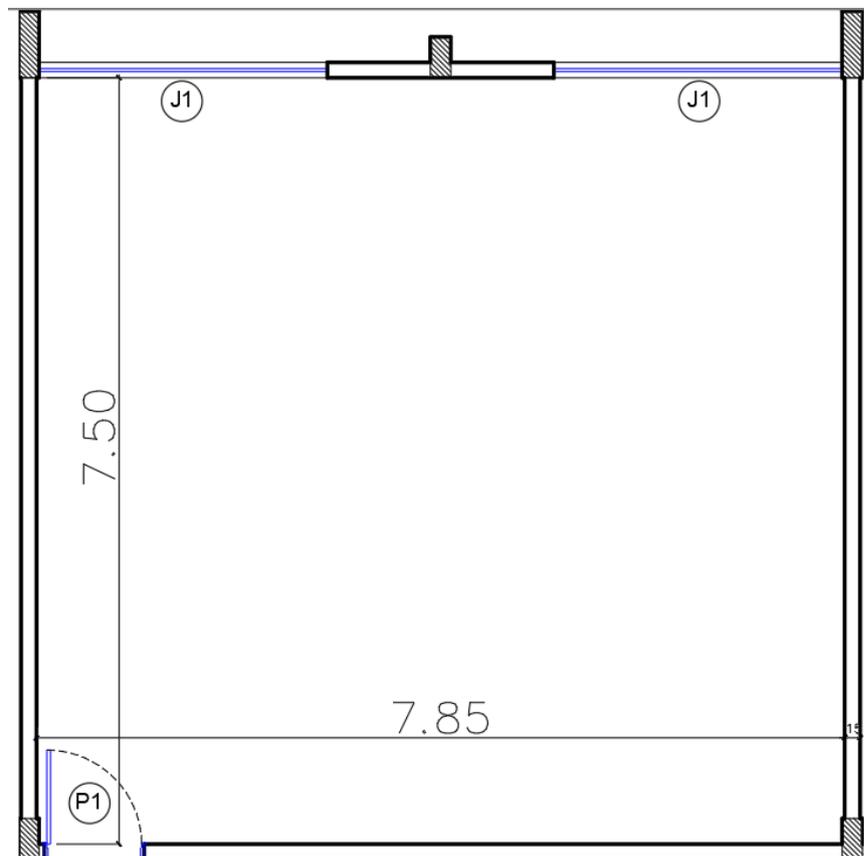


Fonte: Google Earth.

Os blocos de aulas atendem aos 4 cursos de graduação do campus, sendo eles: Agronomia, Engenharia Ambiental Engenharia de Alimentos e Engenharia Civil, onde estão matriculados mais de 1200 alunos que frequentam aulas no período diurno.

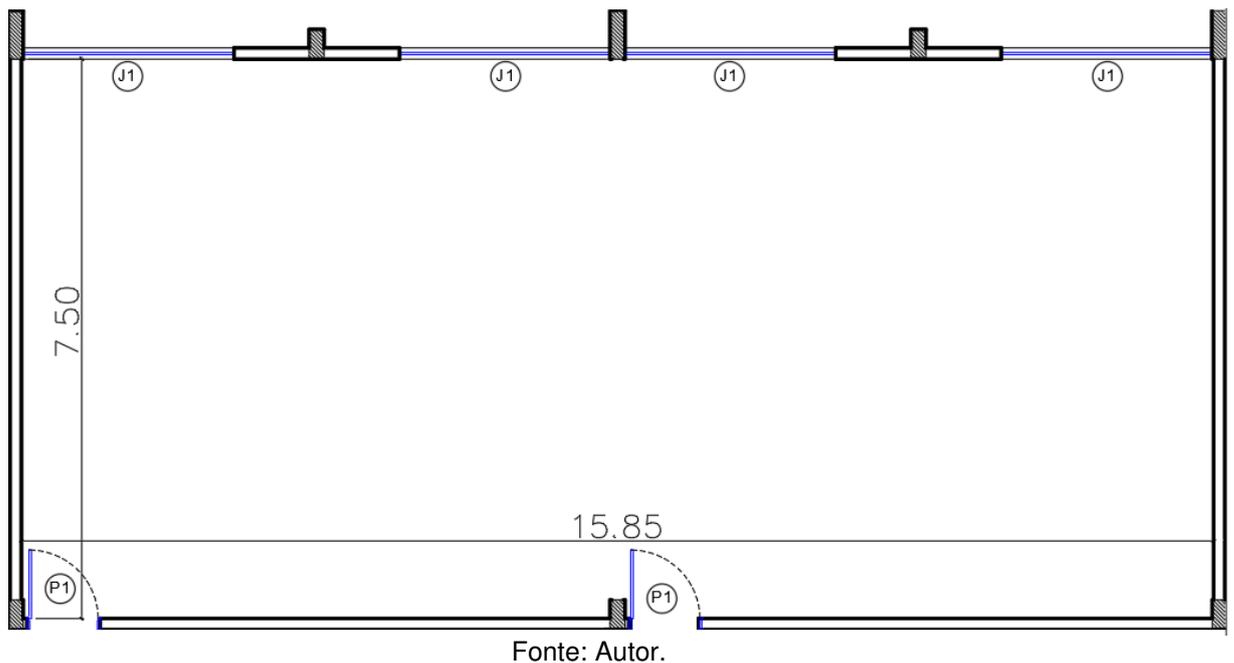
O Bloco I é composto por 12 salas de aulas e 1 sala de desenho técnico, e os Blocos II e III são compostos por 14 salas de aulas cada um. Todas as salas de aula têm dimensões idênticas, sendo 7,5 metros de largura e 7,85 metros de comprimento, como apresentado na figura 10, e a sala de desenho tem 7,5 metros de largura e 15,85 metros de comprimento, como apresentado na figura 11.

Figura 10: Sala de aula.



Fonte: Autor.

Figura 11: Sala de desenho.

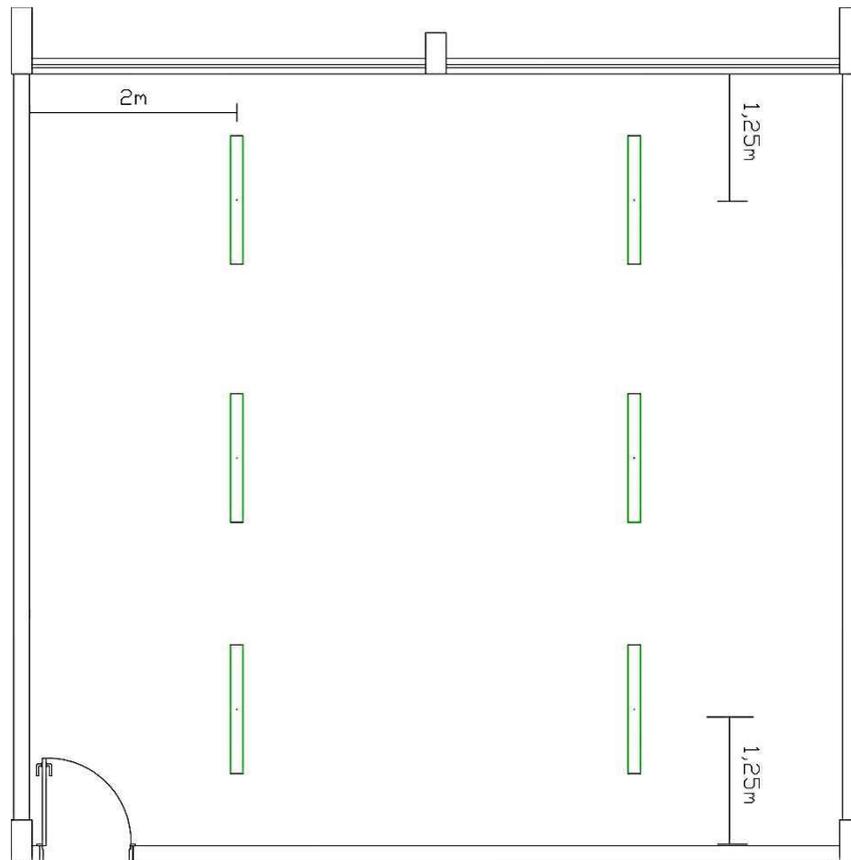


Fonte: Autor.

O sistema de iluminação das salas de aula das centrais I e II possuem 6 luminárias de sobrepor com 2 lâmpadas T10 de 40w, nas salas de aula da central III conta com 6 luminárias de embutir com 2 lâmpadas T8 de 36W, e a sala de desenho conta com 12 luminárias de sobrepor com 2 lâmpadas T10 de 40W.

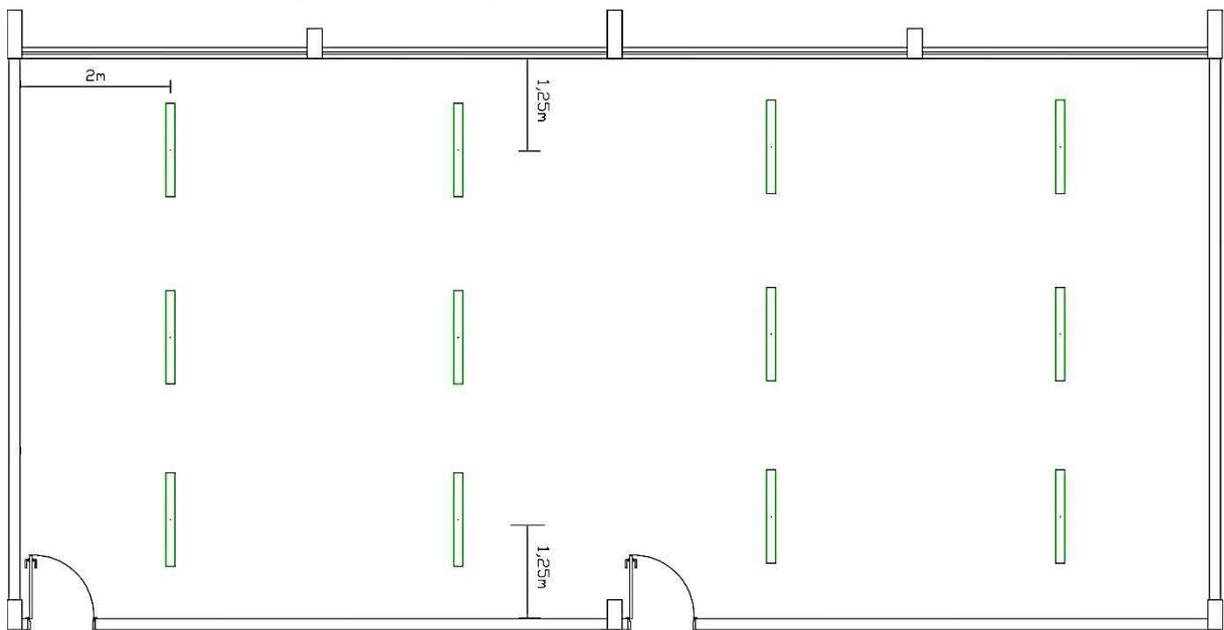
A posição que as luminárias das salas de aulas das Centrais I e III e na sala de desenho foram instaladas de forma que as luminárias ficassem alinhadas ao eixo com menor distância entre as mesmas, como apresentado na figura 12 e figura 13. Enquanto que nas salas de aula da Central II as luminárias foram dispostas de forma que ficassem alinhadas com o eixo de maior distância entre as mesmas, como apresentando na figura 14.

Figura 12: Disposição das luminárias das salas de aula das centrais I e III.



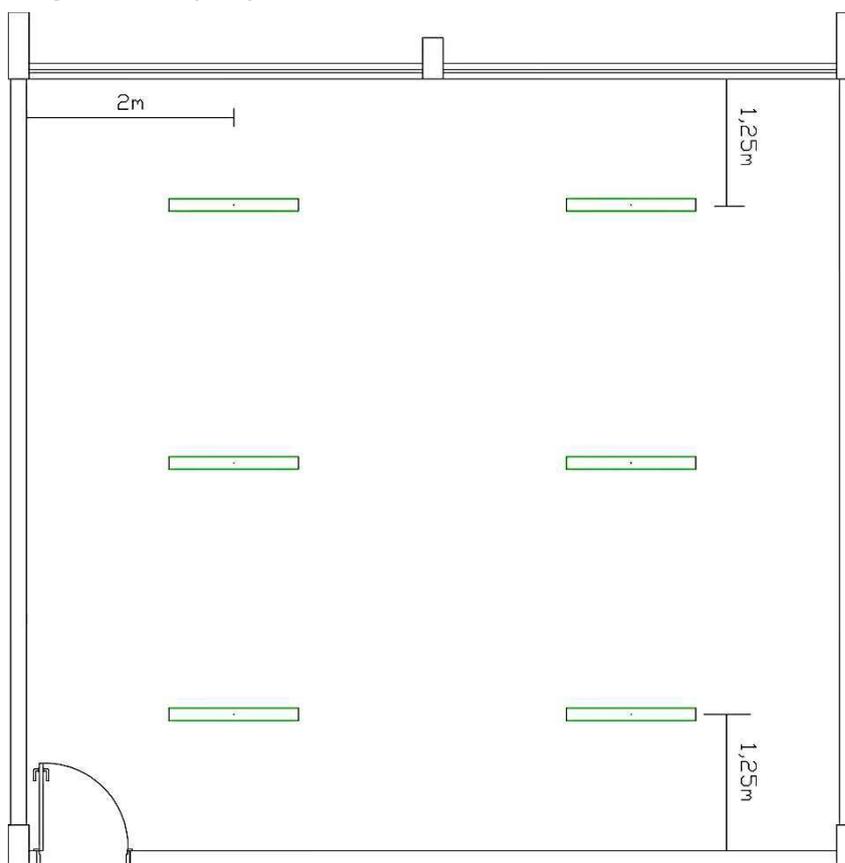
Fonte: Autor.

Figura 13: Disposição das luminárias da sala de desenho.



Fonte: Autor.

Figura 14: Disposição das luminárias das salas de aula da central II.



Fonte: Autor.

### 3.2 MATERIAIS

Materiais utilizados para definir pontos a serem medidos o iluminamento:

- Notebook;
- Plantas dos blocos de aula.

Materiais utilizados para medir o iluminamento:

- Luxímetro digital;
- Trena a laser;
- Prancheta;
- Tabelas impressas;

O equipamento utilizado para as medições de iluminância foi o Luxímetro Digital modelo LDR-225 da marca INSTRUFIBER conforme apresentado na figura abaixo. O equipamento apresenta um elemento fotossensor (Fotodiodo de silício com filtro de

resposta espectral), que é estimulado quando exposto à luminosidade e, por meio de seu sistema eletrônico de conversão, converte este estímulo em uma medida de luminosidade – a iluminância – e a exibe imediatamente e seu display digital.

Figura 8: Luxímetro Digital Escala 0 A 999.900 Lux Com Rs-232 E Datalogger MOD. LDR-225



Fonte: <https://www.instrufiber.com.br/luximetro-digital-escala-0-a-999-900-lux-com-rs-232-e-datalogger-mod-ldr-225-instrufiber>

### 3.3 MÉTODOS

O estudo experimental foi realizado a partir do guia experimental de fotometria do laboratório de instalações elétricas da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Campina Grande. Neste método é definido a quantidade de pontos a serem medidos, com auxílio do luxímetro são aferidas as iluminâncias e por fim é calculado a iluminância média do ambiente.

Os cálculos para o nível de iluminamento mantido foi a partir do método dos lumens.

#### 3.3.1 MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO

A partir dos valores das dimensões das salas, o número de medições (n) a serem realizadas no ambiente considerado. Para definir esse valor, primeiro calculou-se o tamanho da malha, representado por (p) e dado por:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(d)} \quad (5)$$

Onde:  $d$  é a maior dimensão do ambiente, expresso em metros, e  $\log_{10}(\cdot)$  é a função logaritmo na base 10. E por fim o valor  $(n)$  definido sendo o valor inteiro mais próximo da relação  $p/d$ .

Matematicamente, a iluminância média, denotada por  $E$ , é dada por:

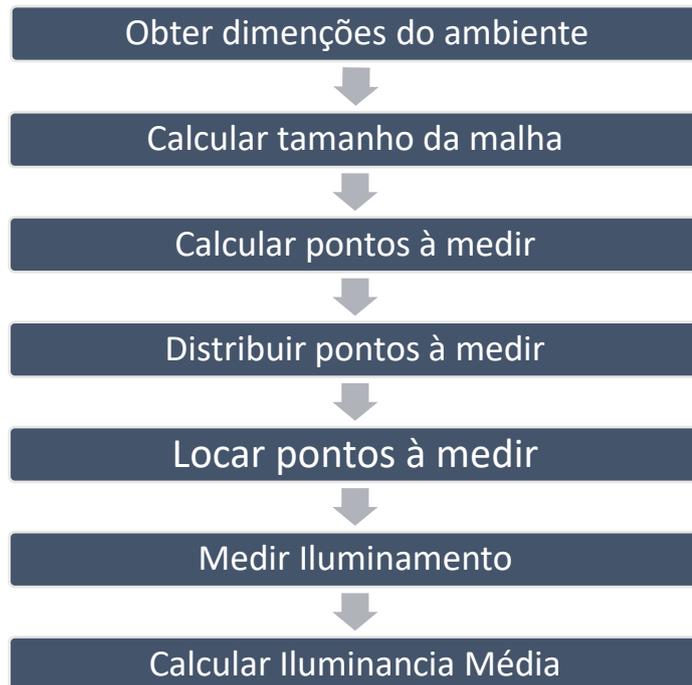
$$E = \sum \frac{m_k}{n} \quad (6)$$

Onde:  $m_k$  são as  $k$ -ésimas medições realizadas no ambiente e  $n$  é o número de pontos medidos.

As malhas de cálculo do conjunto I e II foram subdivididas em superfícies de aproximadamente  $1 \text{ m}^2$ , e os pontos a serem medidos os pontos são distribuídos pela área considerada de forma aleatória, com o objetivo de ter medições uniformes, como apresentadas nas Figuras 15 e 16 respectivamente.

Com a ajuda de 2 (duas) trenas a laser direcionadas de forma perpendiculares aos eixos da sala foi feito a locação de cada ponto a ser medido. Após isso, com o auxílio do equipamento luxímetro digital foi medido o iluminamento para cada ponto locado e anotado o valor obtido em tabelas. Por fim foi calculado a iluminância média ( $E$ ) de cada sala.

Figura 17: Fluxograma de atividades I.



Fonte: Autor.

### 3.3.2 ILUMINÂNCIA MANTIDA DO SISTEMA EXISTENTE

O sistema de iluminação existente possui um total de seis luminárias que suportam duas lâmpadas cada uma por sala de aula, com exceção da sala 13 (treze) que possui 12 (doze) luminárias. A partir do método dos lumens foi mensurado o nível de iluminamento do sistema instalado.

Isolando a variável fluxo luminoso ( $\phi$ ) da fórmula da quantidade de luminárias ( $n$ ), obtém-se:

$$\phi = \varphi * n$$

E em seguida colocando em evidência a variável Iluminância mantida ( $Em$ ) da fórmula do fluxo luminoso total ( $\phi$ ), chegou a:

$$Em = \frac{\phi * u * d}{S}$$

Foi mensurado o nível de iluminamento atingido pelo sistema de iluminação existente.

### 3.3.3 REDIMENSIONAMENTO DA ILUMINANCIA MANTIDA DO SISTEMA EXISTENTE

A partir do método dos lumens e utilizando os dados das lâmpadas e luminárias adotadas no sistema instalado, foi calculado o nível de iluminação requerido e por fim obtido a quantidade de luminárias necessárias para atender as normas de iluminação.

Com isso

### 3.3.4 DIMENSIONAMENTO LUMINOTÉCNICO DO NOVO SISTEMA

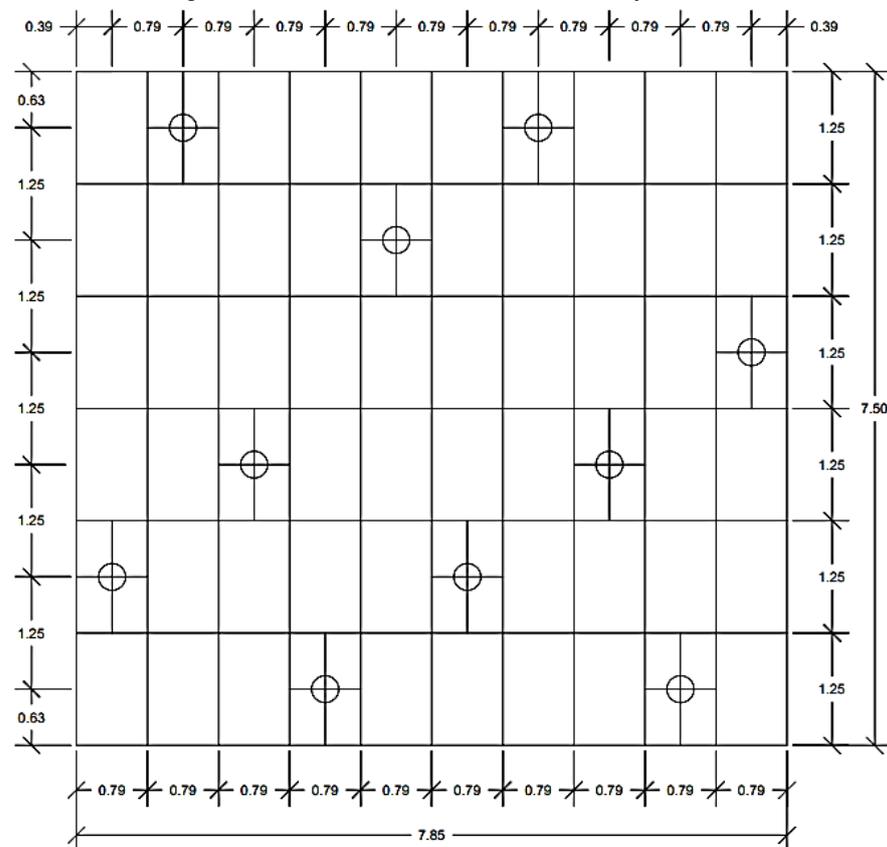
Seguindo a mesma rotina de dimensionamento do item 3.3.4, foi adotado o nível de iluminação mantido ( $E_m$ ) igual a 300 lx para as salas de aula e 750lx para a sala de desenho técnico e escolhida as luminárias e lâmpadas a serem utilizadas no novo sistema.

## 4. RESULTADOS E DISCURSSÕES

### 4.1 Divisão das salas de aula

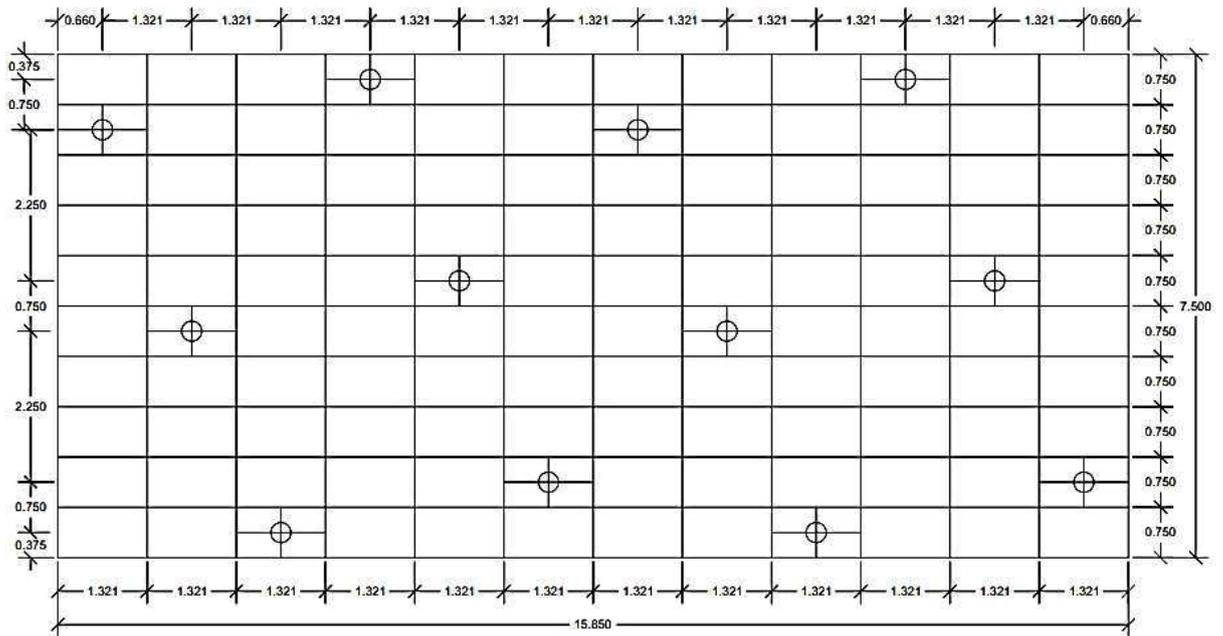
No cálculo para mensurar a quantidade de pontos a serem medidos, no conjunto I, sabendo que o maior tamanho  $d = 7,85$  (sete virgula oitenta e cinco) m, o tamanho da malha foi definido como  $p = 0,84$  (zero virgula oitenta e quatro) e por fim obteve-se um número  $n$  de pontos a serem medidos igual 10 (dez). Para o conjunto II, onde  $d = 13,85$  (treze virgula oitenta e cinco) m, o foi de  $p = 1,34$  (um virgula trinta e quatro) e  $n = 12$  (doze).

Figura 15: Malhas de cálculo do conjunto I.



Fonte: Autor.

Figura 16: Malhas de cálculo do conjunto II.

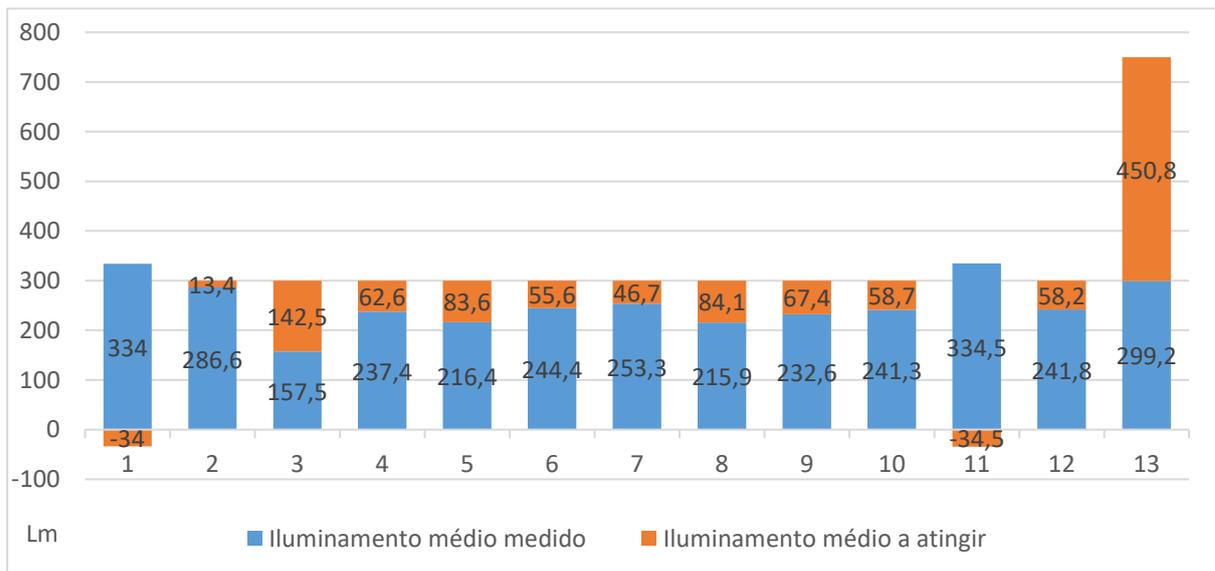


Fonte: Autor.

## 4.2 Iluminância média

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam, respectivamente, gráficos de barras representando a iluminância média em função das salas de aulas das centrais I, II e III. Para fins comparativos, também são incluídas nestas figuras os valores da iluminância média ideal para os ambientes considerados.

Figura 18: Iluminância média em função das salas de aulas da central I.

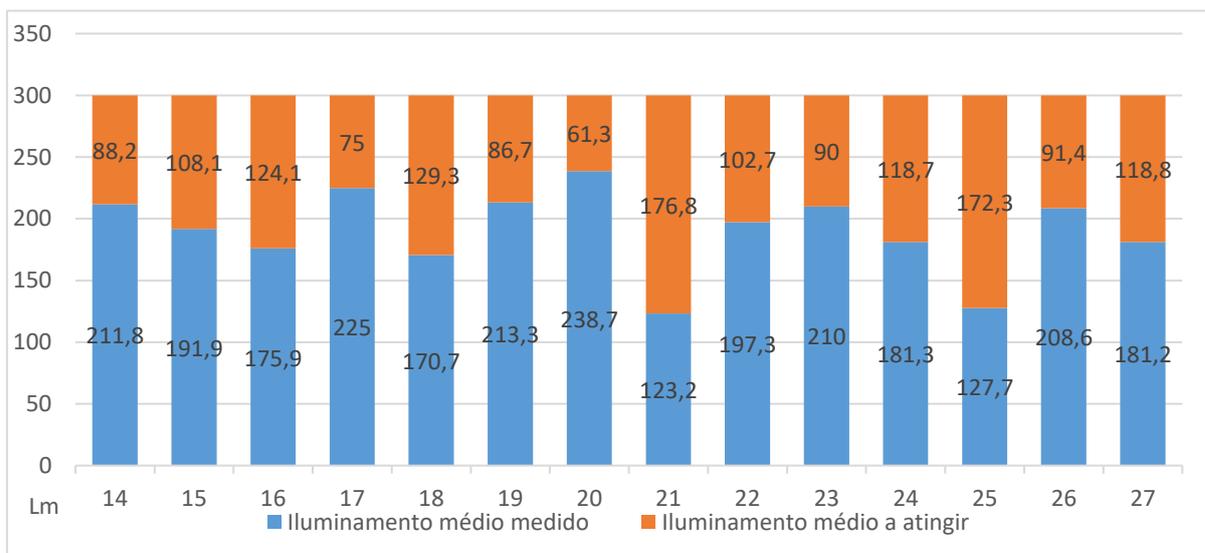


Fonte: Autor.

Na Figura 18, nota-se que o valor de iluminância medido, comparado com o ideal, sofre uma variação de 6,9% até -68,5% do nível de iluminação ideal. As salas de números 1 e 11, foram as únicas que atingiram o nível de iluminação exigido. Uma explicação para este fato é que nestas salas todas as lâmpadas estavam em pleno funcionamento, enquanto que nas outras salas algumas lâmpadas estavam queimadas, foram retiradas ou que estavam no final de sua vida útil.

Sobre esta faixa de salas consideradas, algumas não possuíam sequer todas as luminárias, como é o caso da sala 3, que apresenta o menor valor de iluminância dentre as treze salas analisadas no bloco I. Na sala 13 em específico, sala utilizada para desenho técnico, a variação do valor de iluminância medido, em relação ao ideal, foi entre 68,5%, isso se explica porque nela foi adotado o mesmo sistema de iluminação que o das salas de aula apesar dela requerer um nível de iluminação superior.

Figura 19: Iluminância média (lm) em função das salas de aulas da central II.



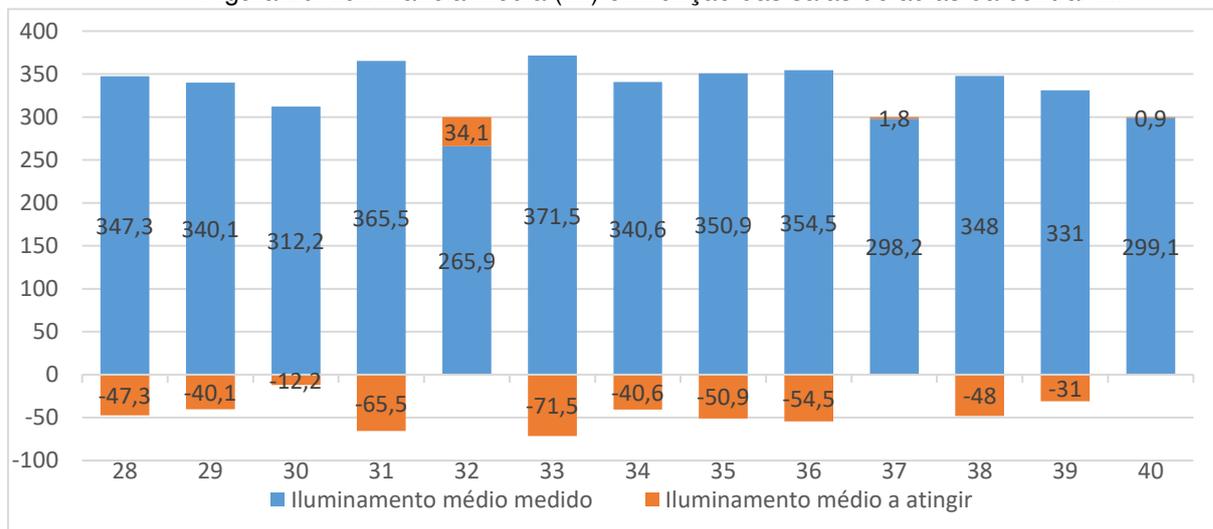
Fonte: Autor.

Na Figura 19, constata-se novamente o fato de que nenhuma sala está dentro dos parâmetros exigidos por norma. Nota-se neste bloco uma variação de 12,26% e 35,36% de iluminância abaixo do ideal.

Um ponto importante a ser destacado, neste bloco, o posicionamento das luminárias é feito de forma perpendicular, comparado a forma com os quais as luminárias foram posicionadas nos demais blocos, contribuindo assim para ter uma iluminância menos eficiente.

Outro fato que deve ser mencionado é que em quase todas as salas deste bloco diversas lâmpadas estão faltando nas luminárias e outras estão no fim de sua vida útil.

Figura 20: Iluminância média (lm) em função das salas de aulas da central III.



Fonte: Autor.

Na Figura 20 percebe-se, em média, uma menor diferença entre a iluminância medida e a ideal por sala de aula, comparado aos blocos I e II, com valores variando entre 14,36% a -6,82% do nível exigido pela NBR ISO/CIE 8995-1.

Os maiores valores de iluminância deste bloco justificam devido o mesmo ter sido recentemente construído, com as lâmpadas, quase em sua totalidade, em perfeito estado de funcionamento.

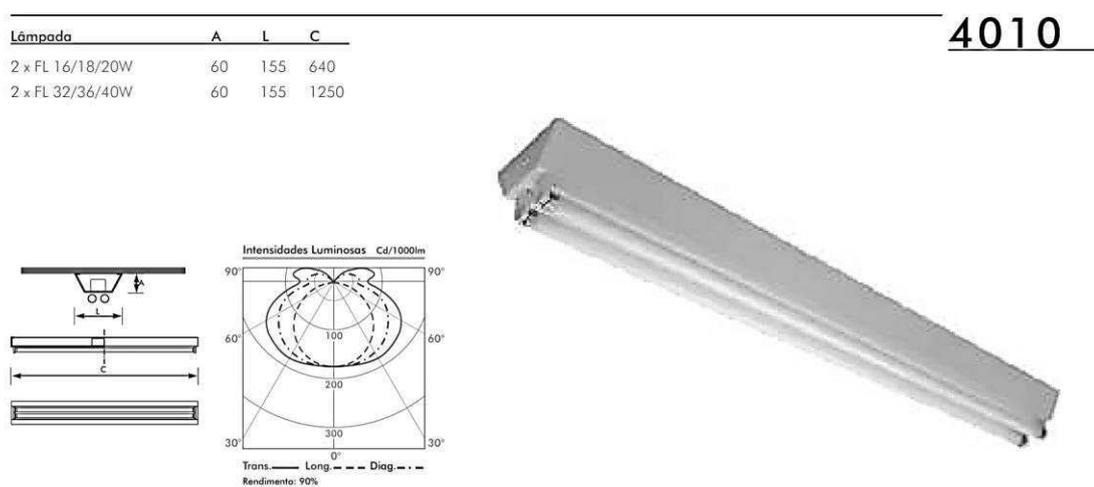
No que concerne a diferença de iluminamento mencionada, algumas salas de aulas do bloco III são mais utilizadas que outras, fazendo com que o tempo de vida de todas as lâmpadas destas salas não apresentem comportamento constante. As salas de aulas apresentam um valor de iluminamento médio acima do ideal, com exceção das salas 32, 37 e 40 que tiveram um nível de iluminamento inferior, devido algumas lâmpadas estarem queimadas.

Estes valores são definidos pela NBR ISO/CIE 8995-1, no qual considera-se como adequado os valores de 300 lux e 750 lux para uma sala de aula e para uma sala de desenho técnico, respectivamente. Analisando as três figuras, observa-se que na maioria das salas de aulas da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, os valores de iluminância não estão em consonância com a NBR ISO/CIE 8995-1

### 4.3 Redimensionamento da Iluminação

Nas salas de aula das centrais I e II foi identificado que o modelo das luminárias, sendo a Luminária de sobrepor 4010, corpo/refletor em chapa de aço tratada; pintura na cor branca e alojamento do reator no corpo da empresa Itaim Iluminação, como exposto na figura 21 e na tabela 9 é apresentado sua tabela de fator de utilização.

Figura 21: Luminária de sobrepor 4010



Fonte: Catalogo geral de produtos – Itaim Iluminação.

Tabela 8: Fator de utilização da luminária de sobrepor 4010.

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	33	27	22	31	25	21	24	20	17
0.80	41	34	29	38	32	27	30	26	22
1.00	47	40	35	44	37	33	35	31	27
1.25	53	46	41	49	43	39	41	37	32
1.50	57	51	46	53	48	43	45	41	36
2.00	64	58	54	60	55	51	51	48	43
2.50	69	63	59	64	60	56	56	53	47
3.00	72	67	63	67	63	60	59	56	50
4.00	76	72	69	71	68	65	63	61	55
5.00	79	75	72	73	71	68	66	64	58

Fonte: Catalogo geral de produtos – Itaim Iluminação.

Nas salas de aula da central III, foi identificado a luminária de alto rendimento da Blumenau Iluminação, como mostra a figura 22. Para estas luminárias a fabricante

não disponibilizou a tabela com fator de utilização, portanto foi adotado da luminária mais semelhante a instalada, como apresentado na tabela 10.

Figura 22: Luminária de alto rendimento 2x36 T8.



Fonte: Catalogo Blumenau Iluminação.

Tabela 09: Fator de utilização da luminária de embutir RE800.

ÍNDICE DE REFLEXÃO								
TETO(%)	70			50			30	
PAREDE(%) 50	30	10	50	30	10	30	10	
PISO(%)	10			10			10	
K	FATOR DE UTILIZAÇÃO							
0,6	0,47	0,44	0,42	0,47	0,44	0,42	0,44	0,42
0,8	0,49	0,45	0,42	0,48	0,44	0,42	0,44	0,42
1	0,55	0,52	0,49	0,54	0,51	0,49	0,51	0,49
1,25	0,61	0,58	0,57	0,60	0,57	0,56	0,57	0,55
1,5	0,61	0,59	0,57	0,60	0,58	0,56	0,57	0,56
2	0,62	0,59	0,57	0,61	0,59	0,57	0,57	0,56
2,5	0,67	0,66	0,64	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63
3	0,68	0,66	0,64	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63
4	0,68	0,66	0,65	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63
5	0,68	0,66	0,65	0,67	0,66	0,64	0,64	0,64

Fonte: Luminária e Reatores – Intral Iluminação Inteligente.

As lâmpadas das salas de aula das centrais I e II foram identificadas sendo do modelo Lâmpada fluorescente linear T10 da empresa GE Lighting, com suas especificações apresentada na tabela 15.

Tabela 10: Lâmpadas fluorescentes lineares.

SKU	Descrição do Produto	Potência [W]	Base	Fluxo Luminoso [lm]	Temperatura de Cor [K]	IRC	Vida Útil [h]	Diâmetro [mm]	Comprimento [mm]	Bulbo
<b>T10 STANDARD - LÂMPADAS FLUORESCENTES LINEARES</b>										
66906	F20W/T10/750 SL	20	G13	1060	5000	70	7500	34,1	604	T10
66907	F40W/T10/750 SL	40	G13	2600	5000	70	7500	34,1	1213,6	T10

Fonte: Catálogo de produtos: Imagination at Work –GE Lighting.

Enquanto que nas salas de aula da central III o modelo foi Lâmpada Fluorescente T8 da empresa Blumenau Iluminação, com suas especificações apresentadas na tabela 12.

Tabela 11: Lâmpadas fluorescentes T8.

Lâmpadas Fluorescentes T8  
*Lâmparas Fluorescentes T8*

Referência	Potência	Temperatura de Cor	Fluxo Luminoso	Eficiência	Vida Médiana	IRC
00180099	18 W	6400 K	1000 lm	55,5 lm/W	6000 h	>70
00360099	36 W	6400 K	2200 lm	61,1 lm/W	6000 h	>70

Fonte: Catalogo Blumenau Iluminação.

Os resultados do cálculo do iluminamento alcançado pelo sistema utilizado e redimensionamento do sistema existente são apresentados nas tabelas 13 e 14. A partir das dimensões das salas de aula, dos limites de iluminamento normativos, dos fatores de utilização apresentado pelos fabricantes, do fator de manutenção da sala e da iluminação emitida pelas lâmpadas.

Para as centrais de aulas I e II, foi seguido os padrões normativos da NBR 5413:1992 devido a esta ser a norma vigente na época em que os prédios foram construídos.

Tabela 12: Iluminâncias em lux, por tipo de atividade.

Ambiente	Iluminância -3 a -2	Iluminância -1 a 1	Iluminância 2 a 3
Sala de Aula	200	300	500
Sala de desenho	300	500	750

Fonte: NBR 5413:1992.

Para as salas de aula da central III, foi utilizado a NBR ISO/CIE 9095-1:2013 por ser a norma vigente quando o prédio foi construído.

Tabela 13: Planejamento dos ambientes (áreas),

Ambiente	Iluminância	Ofuscamento	Qualidade de cor
Salas de aula	300	19	80
Salas de desenho técnico	750	16	80

Fonte: NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

A refletância foi definida como 751, ou seja, tem teto branco, parede clara e piso escuro, por ser o maior índice apresentado nos catálogos dos fabricantes.

Tabela 14: Iluminamento alcançado pelo sistema utilizado.

Ambiente	Sala 1 a 12 e 14 a 27	Sala 13	Sala 28 a 41
<b>Largura (m)</b>	7,5	7,5	7,5
<b>Comprimento (m)</b>	7,85	15,85	7,85
<b>Altura útil (m)</b>	2,5	2,5	2,2
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	58,88	118,88	58,88
<b>K</b>	1,53	2,04	1,74
<b>Reflexão</b>	751,00	751,00	751,00
<b>Utilização</b>	0,57	0,64	0,61
<b>Fator de manutenção</b>	0,8	0,8	0,8
<b>Nº de luminárias</b>	6	12	6
<b>Nº de lâmpadas</b>	2	2	2
<b>Lumém por lâmpada (lm)</b>	2600,00	2600,00	2200,00
<b>Fluxo luminoso (lm)</b>	14227,2	31948,8	12038,4
<b>Iluminamento alcançado (lx)</b>	241,65	268,76	218,82

Fonte: Autor.

Na tabela 13 são apresentados os valores calculados para o nível de iluminamento alcançado pelo sistema utilizado nas salas de aula das centrais I, II e III,

onde foi calculado que o sistema atingiria um iluminamento médio de 241,65 lux, esse valor apresenta uma diferença percentual de 11,16% em relação à média geral do iluminamento medido de 217,4 lux das salas de 1 a 12 e 14 a 27, essa diferença é explicada pela manutenção das lâmpadas ser inferior ao esperado.

Na sala 13 a diferença o iluminamento calculado foi de 268,76 enquanto que o iluminamento medido foi de 299,2, em valores percentuais a diferença foi de 10,21%, nesta sala constata-se a presença de uma maior quantidade de lâmpadas em pleno funcionamento, ou seja, elas tiveram uma maior atenção quanto a sua manutenção, decorrência, provavelmente, do conhecimento empírico da administração de que esse ambiente requer um maior nível de iluminamento.

Nas salas 28 a 41 foi calculado que o sistema oferece um iluminamento de 204,47 lux, enquanto que o valor medido foi de 332,7 lux, representando uma diferença de 38,54%, está diferença acentuada é explicada pelo fato de que a construção é mais recente e suas lâmpadas estavam no início de sua vida útil, apresentando assim o seu iluminamento máximo.

Tabela 15: Redimensionamento do sistema utilizando lâmpadas e luminárias existentes.

<b>Ambiente</b>	<b>Sala 1 a 12 e 14 a 27</b>	<b>Sala 13</b>	<b>Sala 28 a 41</b>
<b>Iluminância (lux)</b>	300	750	300
<b>Largura (m)</b>	7,5	7,5	7,5
<b>Comprimento (m)</b>	7,85	15,85	7,85
<b>Altura útil (m)</b>	2,50	2,50	2,20
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	58,88	118,88	58,88
<b>K</b>	1,53	2,04	1,74
<b>Reflexão</b>	751	751	751
<b>Utilização</b>	0,57	0,64	0,61
<b>Manutenção</b>	0,8	0,8	0,8
<b>Fluxo Luminoso (lm)</b>	38734	174133	36194
<b>Lumém por lâmpada (lm)</b>	2600,00	2600,00	2200,00
<b>Nº de luminárias</b>	8	34	9

Fonte: Autor.

Na tabela 14 é exposto o redimensionamento sistema utilizando as mesmas lâmpadas e luminárias dos sistemas existentes das salas de aula dos blocos I, II e III. Com base na norma vigente no ano de construção das edificações, determinando que seria necessário aumentar 2 luminárias para as salas de 1 a 12 e 14 a 27 chegando a

um total de 8 luminárias, para a sala 13 seria necessário 34 luminárias, um aumento de 22 luminárias, e para as salas 28 a 41 seria necessário um total de 9 luminárias.

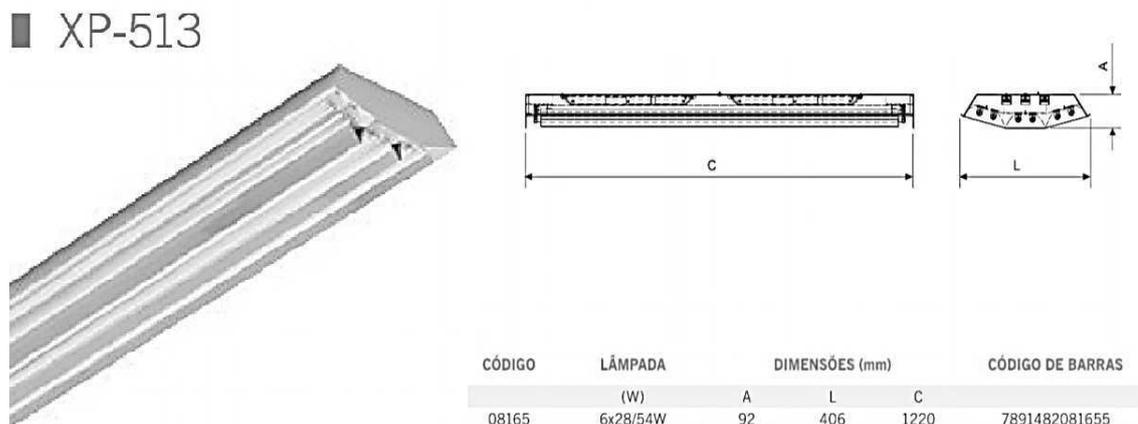
Entretanto essa não é a solução econômica e técnica mais viável, pois necessitaria de reformas nas instalações elétricas para a instalação das novas luminárias.

#### 4.4 Dimensionamento do sistema proposto

O dimensionamento de um novo sistema de iluminação foi realizado visando conservar o máximo possível do sistema existente. O dimensionamento desse novo sistema com base na norma em vigor atualmente, utilizando luminárias existentes para as salas de aula, e alterando as luminárias da sala 13. Devido esta ser uma sala de desenho e requerer um maior iluminamento, para uma luminária que comporte 6 lâmpadas, bem como a utilização de lâmpadas mais eficientes em relação da emissão de luz.

A luminária escolhida para a sala 13 foi a XP-513 da empresa Intral Iluminação Inteligente, exposta na figura 23, e na tabela 15 o fator de utilização da mesma é apresentado.

Figura 23: Luminária XP-513.



Fonte: Luminária e Reatores – Intral Iluminação Inteligente.

Tabela 16: Fator de utilização da luminária de embutir XP-513.

ÍNDICE DE REFLEXÃO								
TETO(%)	70		50		30			
PAREDE(%)	50	30	10	50	30	10	30	10
PISO(%)	10		10		10			
K	FATOR DE UTILIZAÇÃO							
0,6	0,45	0,40	0,35	0,44	0,39	0,35	0,39	0,35
0,8	0,46	0,40	0,36	0,45	0,40	0,36	0,40	0,35
1	0,55	0,49	0,45	0,53	0,48	0,44	0,48	0,44
1,25	0,62	0,57	0,53	0,61	0,56	0,53	0,55	0,52
1,5	0,63	0,58	0,54	0,61	0,57	0,53	0,55	0,52
2	0,71	0,66	0,62	0,69	0,65	0,61	0,64	0,61
2,5	0,76	0,74	0,71	0,76	0,72	0,70	0,71	0,69
3	0,77	0,74	0,71	0,76	0,72	0,71	0,71	0,69
4	0,78	0,75	0,71	0,76	0,73	0,71	0,71	0,70
5	0,84	0,82	0,80	0,82	0,81	0,79	0,79	0,78

Fonte: Luminária e Reatores – Intral Iluminação Inteligente.

A lâmpada escolhida para o conjunto I e conjunto II de salas foi a TL-D 36W/840 1SL/25 da empresa Philips, verificando o catálogo de seu fabricante, apresenta suas especificações na figura 24.

Figura 24: Lâmpada TL-D 36W/840 1SL/25

TL-D 36W/840 1SL/25		Dados do produto	
		<b>Informações gerais</b>	
<b>Dados técnicos de luz</b>		<b>Casquilho</b>	G13 [ Medium Bi-Pin Fluorescent]
<b>Código da cor</b>	840 [ TCC de 4000K (841)]	<b>Vida útil até 10% de falhas (Nom.)</b>	10000 h
<b>Fluxo luminoso (nominal) (Nom.)</b>	3250 lm	<b>Vida útil até 50% de falhas (Nom.)</b>	15000 h
<b>Designação da cor</b>	Branca fria (CW)	<b>Vida útil até 50% de falhas de pré-aquecimento (Nom.)</b>	20000 h
<b>Manutenção lumínica 2.000 h (Nom.)</b>	96 %	<b>Dados elétricos e de operação</b>	
<b>Manutenção lumínica 5.000 h (Nom.)</b>	94 %	<b>Power (Rated) (Nom)</b>	36 W
<b>Temperatura de cor correlacionada (Nom.)</b>	4000 K	<b>Corrente de lâmpada (Nom.)</b>	0,440 A
<b>Eficiência luminosa (nominal) (Nom.)</b>	90 lm/W	<b>Tensão (Nom.)</b>	103 V
<b>Índice de restituição cromática (Nom.)</b>	82		

. Fonte: Folha de dados - TL-D 36W/840 1SL/25 - Philips.

Na tabela 16 é apresentado os dados do dimensionamento do novo sistema de iluminação das salas de aula das centrais I, II e III e da sala de desenho da central I.

Tabela 177: Dimensionamento do novo sistema de luminárias aproveitando as luminárias existentes.

<b>Ambiente</b>	<b>Sala 1 a 12 e 14 a 27</b>	<b>Sala 13</b>	<b>Sala 28 a 41</b>
<b>Iluminância (lux)</b>	300	750	300
<b>Largura (m)</b>	7,5	7,5	7,5
<b>Comprimento (m)</b>	7,85	15,85	7,85
<b>Altura útil (m)</b>	2,50	2,50	2,20
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	58,88	118,88	58,88
<b>k</b>	1,53	2,04	1,74
<b>Reflexão</b>	751	751	751
<b>Utilização</b>	0,57	0,71	0,61
<b>Manutenção</b>	0,8	0,8	0,8
<b>Fluxo Luminoso (lm)</b>	38734	156965	36194
<b>Lumém por lâmpada (lm)</b>	3250,00	3250,00	3250,00
<b>N° de luminárias</b>	6	12	6

Fonte: Autor.

Chegando a 6 luminárias para as salas de 1 a 12 e 14 a 41 de 2 lâmpadas de 36w e 12 luminárias de 6 lâmpadas de 36w para a sala 13, que é o mesmo número de luminárias que existem atualmente nas centrais I, II e III, foi atendido o nível de iluminação requerido por norma, aumentando de forma pouco significativa o consumo de energia elétrica, e dispensando alterações nas instalações elétricas dos ambientes.

## **5. CONCLUSÕES**

O principal objetivo foi averiguar se o sistema de iluminação está de acordo com as recomendações da NBR ISO/CIE 8995-1:2013 e sugerir alternativas de correção.

### **5.1 Com relação ao nível de iluminamento medido**

- Constatou-se a deficiência no sistema de iluminação para as salas do bloco I e II, e que os níveis mantidos de iluminação do bloco III estão coerentes.

### **5.2 Com relação ao dimensionamento do sistema de iluminação existente**

- Nota-se que os níveis de iluminamento atingido são inferiores aos exigidos pela norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013, que pode ser originado por erro no dimensionamento ou na execução do sistema.

- É identificado que para as lâmpadas e luminárias utilizadas, seriam necessários um numero maior de pontos de iluminação.

### **5.3 Com relação ao dimensionamento de um novo sistema de iluminação**

- É apresentado uma solução para a deficiência nos níveis de iluminamento sem que houvesse grandes alterações no sistema de iluminação existente.

Considerando o dimensionamento do sistema existente e os dados das medições dos níveis de iluminamento pode-se notar a veracidade dos resultados para as salas de aula da central de aulas I.

Enquanto que para a central de aulas III os valores foram acima dos calculados, essa divergência acontece pela mesma ainda não requerer manutenção até o dia em que foram realizadas as medições. Outro fator que pode gerar uma certa diferença é que as salas as medições foram realizadas durante o dia, e apesar de pouca, uma certa quantidade de luz passava entre as persianas das janelas.

Para a central de aulas II a divergência entre os valores foi para baixo, devido a manutenção inadequada das lâmpadas e luminárias que estão queimadas ou em falta em diversas salas.

Considerando tudo isso, se faz necessário a correção do sistema instalado tendo em vista o nível de iluminação exigido por norma e a proposta de melhoria no iluminação teve foco na conservação das instalações elétricas existentes na edificação.

#### **5.4 Sugestões para futuros estudos**

- Avaliação dos níveis de iluminação utilizando melhor aproveitamento da luz natural;
- Dimensionamento de um sistema utilizando luminárias LED.

## 6. REFERENCIAS

ADENE. **A luz certa em sua casa.** 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15664-A-luz-certa-em-sua-casa.html>>. Acesso em: 24 de out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413:1992: **Iluminância de interiores.** 1992. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4596>>. Acesso em: 16 de set. 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-4: **Iluminação natural.** Parte 4: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5461: **Iluminação.** Rio de Janeiro, 1991.

BLUMENAU ILUMINAÇÃO. **Catálogo 2014/2015.** 2014. Disponível em: <[https://issuu.com/ceciliananroman/docs/catalogo\\_iluminacao\\_blumenau\\_2014\\_2](https://issuu.com/ceciliananroman/docs/catalogo_iluminacao_blumenau_2014_2)>. Acesso em: 16 de set. 2019.

BONALI, N. A. **História da Iluminação Artificial: Das origens até o século XX.** São Paulo: Abilux, 2001.

CAPELLI, Alexandre. **Energia Elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais.** Érica, 06/2013.

CASTRO, I. S.; RHEINGATZ, P. A.; GONÇALVES, A. M. **Cognição e percepção visual: a influência da iluminação artificial sobre uma atividade de trabalho realizada em um ambiente informatizado confinado.** 2006, Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/cognicao\\_e\\_percepcao\\_visual\\_a\\_influencia\\_da\\_iluminacao\\_artificial\\_sobre\\_uma\\_atividade\\_de\\_trabalho\\_realizada\\_em\\_um\\_ambiente\\_informatizado\\_confinado.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/cognicao_e_percepcao_visual_a_influencia_da_iluminacao_artificial_sobre_uma_atividade_de_trabalho_realizada_em_um_ambiente_informatizado_confinado.pdf)>. Acesso em: 23 de out. 2019.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica**: cálculo e avaliação. 3. ed. Porto Alegre. Edipucrs, 2005.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação econômica**. 4. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2006.

COSTA, Edson Guedes da; MOREIRA, Vicente Delgado. **Guia experimental de fotometria**. 2015. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/405097754/Guia-de-Fotometria-Rev2015>>. Acesso em: 24 de ago. 2019.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

GE LIGHTING. Catálogo de Produtos. 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15802070-Ge-lighting-catalogo-de-produtos-2015.html>>. Acesso em: 18 de set. 2019.

GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo**. Universidade de São Paulo. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura de Urbanismo. 2005.

ITAIM ILUMINAÇÃO. **Catálogo geral de produtos**. 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/mackenzista2/catalogo-de-luminarias-itaim>>. Acesso em: 18 de set. 2019.

INTRAL ILUMINAÇÃO. **Catálogo luminárias e reatores**. 2016. Disponível em: <[https://www.intral.com.br/Uploads/ContentFile/01022018160805\\_Catalogo%20luminarias%20e%20reatores-2015.pdf](https://www.intral.com.br/Uploads/ContentFile/01022018160805_Catalogo%20luminarias%20e%20reatores-2015.pdf)>. Acesso em: 18 de set. 2019.

KRÜGER, Eduardo. **Conforto ambiental em salas de aula**. Revista: Engenharia e Construção, abr. 2002.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F.; DUTRA, L. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 2004.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1ª Edição. São Paulo: Editora PW, 1997.

MAMEDE, João. **Instalações elétricas industriais**. 7ª Edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2007.

MASCARÓ, Lúcia. **Iluminação e arquitetura: sua evolução através do tempo.** Arquitetos, São Paulo, 06.063, Vitruvius, set. 1990

MOREIRA, Vinícius de Araujo. **Iluminação Elétrica.** São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e projetos.** 2008. Disponível em: <[http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Disciplinas/IEI/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/Manual\\_Luminotecnico\\_-\\_parte\\_01.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Disciplinas/IEI/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/Manual_Luminotecnico_-_parte_01.pdf)>. Acesso em: 28 de mai. 2021.

PENSE ECO CONSULTORIA. **Manuais Elektro de Eficiência Energética.** São Paulo: Elektro - Eletricidade e Serviços S.A., 2010. Disponível em: <[https://www.elektro.com.br/Documents/manualluminacao\\_novo.pdf](https://www.elektro.com.br/Documents/manualluminacao_novo.pdf)>. Acesso em: 18 de fev. 2021.

PHILIPS (Amsterdã). **TL-D LIFEMAX Super 80.** 2021. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/>. Acesso em: 19 mar. 2021.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação Eficiente.** 1ª Edição. 2002.

REIS, Lineu dos, SANTOS, Eldis Camargo. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos Tecnológicos, Socioambientais e Legais,** 2nd edição. Manole, 01/2014.

SILVA, M. L. Luz, **Lâmpada e Iluminação.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2004.

SZABO, Lasdislao Pedro. **Visões de Luz: O Pensamento de Arquitetos modernistas sobre o uso da Luz na Arquitetura.** Universidade Mackenzie (FAUM), 2002.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES J. C. S. **Iluminação e Arquitetura.** São Paulo: Virtus, 2001.

ZAGONEL. **INFORMAÇÕES TÉCNICAS.** 2019. Disponível em: <<http://www.zagonel.com.br/arquivos/produto/21/pijATQ80XC15Mh6lbVSaE4zgmFwHofWJ-4CmhrFURZM8p0JtG9xsKu3LAKYQXV7o2.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

ZANICHELI, Claudia; PERUCH, Ivan Bueno. **Reciclagem de lâmpadas Aspectos Ambientais e Tecnológicos.** 2004. 22 f. Curso de Engenharia Ambiental, Centro de

Ciências Exatas Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2004.