



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA - CEEI
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEE

Rafael de Freitas Simplício

Projeto Luminotécnico de Uma Academia de Ginástica

Campina Grande – PB

Maio – 2021

Rafael de Freitas Simplício

Projeto Luminotécnico de Uma Academia de Ginástica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel de Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.

Orientador

Campina Grande – PB

Maio – 2021

Rafael de Freitas Simplício

Projeto Luminotécnico de Uma Academia de Ginástica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel de Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 27/05/2021

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.
Orientador

**Professor Ronimack Trajano de Souza,
D.Sc.**
Examinador

Campina Grande – PB
Maio – 2021

*“Dedico este trabalho à minha amada esposa Mônia,
que com todo seu carinho, paciência e amor me apoiou
e me incentivou à lutar pelos meus sonhos.*”

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu Senhor Eterno por todas as minhas conquistas, que me fizeram chegar onde estou e por me lembrar que sempre sou mais forte do que penso.

Agradeço à meus pais amados, Paulo e Liliana, que me capacitaram e apoiaram para eu nunca desistir do meu sonho e seguir em frente, me ensinando desde pequeno os valores do estudo.

Agradeço à minha esposa e fiel companheira Mônia, que me fez adquirir confiança e nos momentos mais difíceis foi paciente comigo e me incentivou.

Agradeço à minha irmã Patrícia que sempre foi um exemplo de esforço e dedicação para mim e meu cunhado Victor pelos conselhos dados à mim.

Ao meu irmão Gabriel que me cativou com sua alegria. Aos meus sogros, Moacir e Socorro, que sempre se preocuparam com minha jornada.

Enfim agradeço profundamente a todos amigos e parentes que acreditaram em meu potencial. Agradeço ao meu professor e orientador Célio, um grande exemplo de professor, que me passou conhecimento e segurança para enfrentar os desafios profissionais que terei pela frente.

*“Creio firmemente em uma lei de compensação.
As verdadeiras recompensas são sempre
proporcionais ao esforço e aos sacrifícios feitos” –
Nikola Tesla*

RESUMO

Este projeto propõe um estudo sobre a verificação e o dimensionamento da iluminação em uma academia de ginástica. Pretende-se apresentar informações necessárias para a execução da análise luminotécnica dos ambientes que compõe a academia e o desenvolvimento do projeto atendendo as recomendações da norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Esta norma expõe um conjunto de condições a serem seguidas para o correto iluminamento em cada área dado sua respectiva tarefa. Esse trabalho descreve os principais conceitos de luminotécnica, as características dos principais tipos de lâmpadas e luminárias que serão utilizadas no decorrer do estudo. O projeto foi elaborado por completo no *software Dialux Evo 9.2* desde o projeto arquitetônico aos cálculos de iluminância com o objetivo de conhecer e verificar suas funcionalidades.

Palavras-chave: Iluminação, NBR ISSO 8995-1, Área de tarefa, Projeto Luminotécnico, Dialux Evo.

ABSTRACT

This project proposes a study on the verification and dimensioning of lighting in a gym. It is intended to provide information necessary for the implementation of technical lighting analysis of the environments that make up the gym and project development meeting the recommendations of the standard ISO / CIE 8995-1: 2013. This standard sets out a set of conditions to be followed for the correct lighting in each type of area given its respective task. This work describes the main lighting concepts, the characteristics of the main types of lamps and lamps that will be used during the study. The project was completely elaborated in the Dialux Evo 9.2 software, from the architectural project to the illuminance calculations in order to know and verify its functionalities.

Keywords: Illumination, NBR ISSO 8995-1, Workspace, Lighting design, Dialux Evo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Espectro eletromagnético.	16
Figura 2 – Fluxo Luminoso	16
Figura 3 – Representação do conceito de intensidade luminosa	17
Figura 4 – Distribuição luminosa nos planos vertical e horizontal	18
Figura 5 – Evolução das lâmpadas tubulares.	24
Figura 6 – Diferença entre o sistema fluorescente e sistema com LED	24
Figura 7 – Classificação do fluxo luminoso	27
Figura 8 – Dados fotométricos de uma luminária	27
Figura 9 – Curva de distribuição luminosa dos diversos tipos de luminárias	28
Figura 10 – Curvas de distribuição luminosa características das luminárias mais utilizadas na iluminação geral.	29
Figura 11 – Fator de utilização da luminária.	36
Figura 12 – Distribuição das luminárias no ambiente.	39
Figura 13 – Iluminamento vertical e horizontal.	40
Figura 14 – <i>Software</i> DIALux Evo 9.2.	42
Figura 15 – (a) Entrada edifício e (b) Hall de entrada.	43
Figura 16 – (a)Recepção, (b)Visão lateral da recepção e (c)Escada de acesso ao segundo pavimento.	44
Figura 17 – (a)Vestiário, (b)Piso superior, sala de corrida e ciclismo e (c)Piso superior acesso a sala de pilates.	45
Figura 18 – (a) Banheiro masculino, (b)Banheiro feminino e (c)Depósito material de limpeza.	46
Figura 19 – (a)Depósito de equipamentos, (b) Visão posterior recepção e (c) Visão equipamentos do primeiro pavimento.	47
Figura 20 – Luminária FAA20-E228.	49
Figura 21 – (a) Vista banheiro feminino com luminárias e (b) Curva de Isolux banheiro feminino.	49
Figura 22 – (a) Vista banheiro masculino com luminárias e (b) Curva de Isolux banheiro masculino.	50
Figura 23 – (a) Vista posterior recepção com luminárias, (b) vista lateral recepção com luminárias e (c) curva isolux recepção.	51
Figura 24 – (a) Vista depósito com luminárias, (b) Curva de Isolux depósito, (c) Vestiário com luminárias e (d) Curva de Isolux vestiário.	52
Figura 25 – (a) Luminária FAA20-E228 e (b) Luminária PD64-P11100830PT.	53
Figura 26 – (a) Vista escadas com luminárias e (b) Curva de Isolux escadas.	53
Figura 27 – (a),(b),(c) e (d) Vista salão de ginástica com luminárias.	54
Figura 28 – Curva de Isolux salão de ginástica.	55

Figura 29 – (a) Vista do depósito de equipamentos com luminárias e sua (b) Curva de distribuição Isolux.	56
Figura 30 – (a) Vista salão de cárdio com luminárias e sua respectiva (b) Curva de Isolux.	57
Figura 31 – (a) Vista salão de pilates com luminárias e sua respectiva (b) Curva de Isolux.	58
Figura 32 – Curva de distribuição luminosa luminária CCN20-S2TLED120 da Lumicenter.	60
Figura 33 – (a) Luminária CCN20-S2TLED120 e (b) Luminária PD64-P11100830PT.	60
Figura 34 – (a) Vista salão de pilates com luminárias do tipo LED e sua respectiva (b) Curva de Isolux.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos clássicos de iluminância	18
Tabela 2 – Comparativo entre fontes convencionais e LED	25
Tabela 3 – Classificação das lâmpadas com a distribuição do Fluxo Luminoso . .	26
Tabela 4 – Valores de iluminância de acordo com a norma	31
Tabela 5 – Nível de iluminamento de acordo com a classe de tarefas visuais. . .	32
Tabela 6 – Fatores determinantes da iluminância adequada.	33
Tabela 7 – Iluminância indicada para determinados ambientes.	33
Tabela 8 – Grau de reflexão característico de alguns materiais e cores.	35
Tabela 9 – Fator de depreciação para luminárias existentes no mercado.	37
Tabela 10 – Fator de depreciação indicados pela Philips e Itaim.	38
Tabela 11 – Fator de Depreciação indicado por Smit.	38
Tabela 12 – Área dos ambientes da academia, piso térreo.	48
Tabela 13 – Área dos ambientes da academia, piso superior.	48
Tabela 14 – Valores calculados pelo DIALux para os banheiros.	50
Tabela 15 – Valores calculados pelo DIALux para depósito, recepção e vestiário. .	51
Tabela 16 – Valores calculados pelo DIALux para salão de ginástica e escadas. . .	53
Tabela 17 – Valores calculados pelo DIALux para salão de cárdio, pilates e depósito superior.	56
Tabela 18 – Valores calculados pelo DIALux para cada ambiente.	59
Tabela 19 – Valores calculados pelo DIALux pilates com as luminárias CCN20- S2TLED120 e D64-P11100830PT.	60
Tabela 20 – Consumo mensal das lâmpadas.	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivos	14
1.3	Organização do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Luz	15
2.2	Fluxo Luminoso (ϕ)	16
2.3	Intensidade Luminosa (I)	17
2.4	Iluminância (E)	18
2.5	Luminância (L)	19
2.6	Eficiência Luminosa (η)	19
2.7	Temperatura de cor (T)	20
2.8	Índice de reprodução de cores (IRC)	20
2.9	Refletância (ρ)	21
3	LÂMPADAS E LUMINÁRIAS	22
3.1	Lâmpadas Elétricas	22
3.1.1	Lâmpadas Incandescentes	22
3.1.2	Lâmpadas Fluorescentes	23
3.1.3	Tecnologia LED	23
3.2	Luminárias	25
3.2.1	Classificação das Luminárias	26
3.2.2	Curvas de distribuição de Luz	27
3.3	NBR ISO 8995-1	29
4	MÉTODOS DE CÁLCULOS DE ILUMINAÇÃO	32
4.1	Níveis de Iluminamento	32
4.2	Método dos Lúmens	34
4.3	Método do Ponto a Ponto	39
5	PROJETO LUMINOTÉCNICO	42
5.1	Recursos Utilizados	42
5.2	Procedimento	43
5.3	Análise dos Resultados	48
5.3.1	Banheiros	48
5.3.2	Depósito, recepção e vestiário	51
5.3.3	Salão de ginástica e escadas	52
5.3.4	Piso superior Salão de cárdio, pilates e depósito	55
5.3.5	Resultado de iluminância e uniformidade Dialux	59
6	AVALIAÇÃO ENERGÉTICA	62

7 CONCLUSÃO 63

REFERÊNCIAS 64

1 INTRODUÇÃO

A luz é o elemento fundamental para o bem estar físico e mental de todos que usufruem cada tipo de ambiente. É de extrema importância analisar o posicionamento de elementos como portas, janelas, domos, pérgolas, etc. para assegurar a quantidade de luz natural necessária. A escolha adequada dos materiais de acabamento, influenciam diretamente para uma boa reflexão de luz, portanto, deve ser analisada cuidadosamente cada um deles (GURGEL, 2020).

Este trabalho foi elaborado baseando-se na constatação de que, em muitos ambientes internos, é comum apresentarem iluminação precária por diversos fatores, sejam por falta de uma falta de planejamento na escolha dos materiais, diminuição de custos, todos diretamente ligados a uma falta, ou até mesmo, a falha de um projeto luminotécnico adequado.

Em muitos casos, os projetistas responsáveis pela elaboração do projeto, não possuem o conhecimento técnico necessário ao seu desenvolvimento, mesmo assim, elaboram de forma intuitiva e visual.

De acordo com a norma técnica vigente, NBR ISO/CIE 8995-1, que aborda e regulariza com detalhes o estudo luminotécnico, temos que uma iluminância adequada depende das características da tarefa a ser executada e do observador. Algumas variáveis devem ser levadas em consideração como: a velocidade e precisão do trabalho a ser realizado, a idade dos usuários e a refletância do fundo da tarefa. Além do mais, é importante a escolha adequada dos componentes de iluminação dentre elas as lâmpadas e luminárias, conhecer a cor da luz e seu rendimento, bem como, das características de execução do teto, piso e parede.

Existem variados métodos para o cálculo correto e distribuição de luminárias de modo a garantir uma maior eficiência, para tal entendimento deve ser levado em consideração algumas unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades, conhecidas como unidades fotométricas. Existem quatro unidades fotométricas, por serem unidades físicas padronizadas, suas definições podem ser bastante complexas (INNES, 2014). São elas o **lúmen**, que representa o fluxo luminoso; a **candela**, que representa a intensidade luminosa; a **candela por metro quadrado**, que mede a luminância; e o **lux**, que é utilizado para medir a iluminância de uma superfície, sendo esta última a medida utilizada pelas normas técnicas. Por tanto, ela será nosso foco durante o estudo luminotécnico deste trabalho.

Neste trabalho, foi elaborada exclusivamente utilizando o *software Dialux Evo 9.2*, uma planta em formato 3D de uma academia de ginástica contendo dois pavimentos e elaborado o projeto Luminotécnico para a mesma. O *software Dialux Evo 9.2* é uma

ferramenta de simulação e realização de cálculos luminotécnicos. O projeto atenderá as normas brasileiras NBR ISO 8995-1 de 2013.

A academia é composta por dois pavimentos, o pavimento térreo divide-se entre a recepção de entrada, banheiros, vestiário e depósito térreo para os materiais de limpeza. O piso superior, divide-se em dois ambientes, um para utilização de equipamentos de ciclismo e corrida e uma área de pilates com um depósito para guardar equipamentos.

1.1 MOTIVAÇÃO

O projeto luminotécnico é essencial para planejar corretamente a iluminação de um ambiente, quer seja residencial, comercial ou corporativa. Um projeto como esse evita que alguns ambientes estejam iluminados de forma exagerada ou que esteja faltando iluminação afetando diretamente no bem-estar das pessoas, impactando negativamente a imagem da empresa ou aumentando os gastos com uma conta de energia mais cara quando indevidamente dimensionado.

Este projeto de engenharia elétrica foi proposto visando o cumprimento das normas técnicas brasileiras ao utilizar uma ferramenta computacional e aprimorar os conhecimentos no *software* Dialux Evo.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso foi elaborar o projeto Luminotécnico de academia de ginástica com dois pavimentos, com a intenção de demonstrar o cumprimento da Norma Brasileira (NBR) ISO/CIE 8995-1 para diferentes tarefas visuais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido da seguinte forma. No capítulo 1 foi feita uma introdução sobre os aspectos construtivos e motivação do projeto. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica deste trabalho, são mostrados os conceitos básicos de luminotécnica como, por exemplo, a intensidade luminosa, o fluxo luminoso, a eficiência luminosa e a iluminância. No capítulo 3 são descritas alguns tipos de lâmpadas e luminárias mais comuns no mercado atual. O projeto Luminotécnico estará descrito no capítulo 4. No capítulo 5 os resultados serão apresentados e discutidos. No capítulo 6 é feita uma avaliação energética do empreendimento. Por fim, o capítulo 7 contém as conclusões deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Iluminar um ambiente não é apenas direcionar àquele espaço ou superfície uma determinada parcela de fluxo luminoso, mas criar condições possíveis com a luz para que as atividades sejam desenvolvidas com a melhor qualidade, pensando não só na eficiência mas no conforto. Portanto, para que seja feita uma iluminação condizente com uma determinada atividade é essencial o conhecimento sobre como funciona o processamento de iluminação.

Nesse capítulo serão apresentados os conceitos de luminotécnica que devem ser considerados durante o desenvolvimento de um projeto. Os conceitos aqui relacionados, auxiliarão na escolha de qual tipo de luminária e lâmpada mais se encaixam no ambiente a ser iluminado.

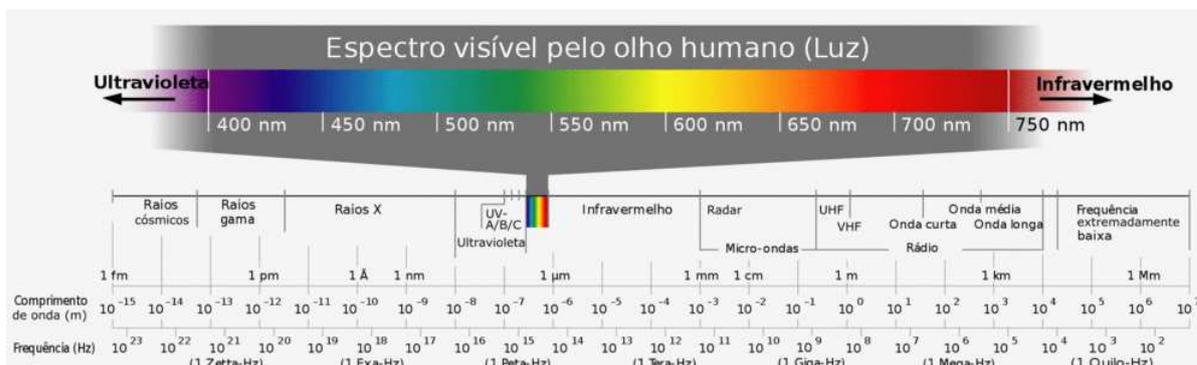
2.1 LUZ

A luz é uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos, somente uma pequena faixa de comprimento de onda pode ser vistas ao olho humano. Radiações de menor comprimento de onda, como o violeta e azul, intensificam a sensação luminosa do olho humano, por exemplo no fim da tarde e à noite, quando o ambiente não está bem iluminado. Radiações de maior comprimento de onda, como o laranja e vermelho minimizam a sensação luminosa do olho, quando o ambiente tem luz em excesso (FILHO, 2017).

O espectro visível está limitado por dois extremos, de um lado pelas radiações infravermelhas (de maior comprimento de onda), e do outro, pelas radiações ultravioletas (de menor comprimento de onda) conforme observado na Figura 1. O sistema visual humano é sensibilizado pela amplitude de onda da luz, proporcionando assim a sensação da visão (COSTA, 2019).

Nos olhos, localizam-se os receptores, que são as células especializadas em enviar sinais ao sistema nervoso central, agindo como um transdutor, dessa forma convertem a energia luminosa que entra nos olhos em energia química.

Figura 1 – Espectro eletromagnético.



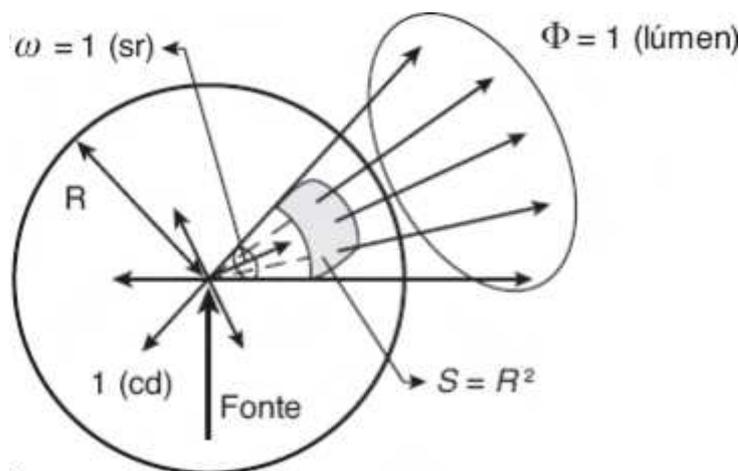
Fonte: (GRADO, 2021).

2.2 FLUXO LUMINOSO (ϕ)

O fluxo luminoso é uma das unidades fundamentais no cálculo luminotécnico, é dado como a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço, tendo o lúmen como sua unidade do Sistema Internacional de Unidades.

O lúmen é a quantidade de luz irradiada através de uma abertura de $1m^2$ em uma esfera com raio de 1m. Como referência, considera-se que para uma fonte luminosa uniforme de intensidade de 1 candela, emitirá 12,56 lúmens, ou seja, $4\pi R$ lúmens, sendo 1 lúmen para cada área de $1m^2$ na superfície dessa esfera, como é possível visualizar na Figura 2 (CREDER, 2016).

Figura 2 – Fluxo Luminoso



Fonte: CREDER, 2007.

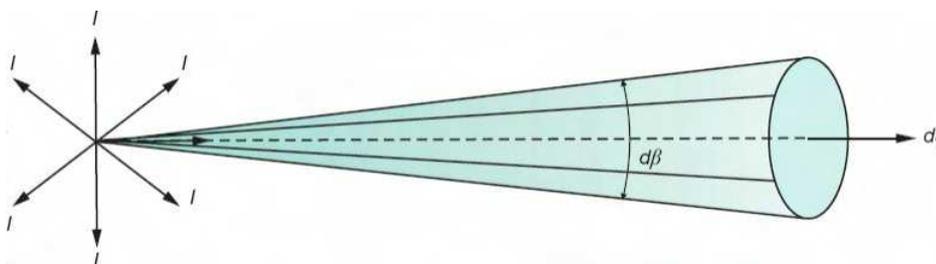
2.3 INTENSIDADE LUMINOSA (I)

A definição padrão para a intensidade luminosa é "Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero."(ABNT, 1992). Sendo representada pela seguinte equação:

$$I = \frac{d\phi}{d\beta} \quad (2.1)$$

Sendo ϕ é o fluxo luminoso emitido em lúmens e β o ângulo formado em torno de uma determinada direção e I a intensidade luminosa. Sua unidade é denominada *candela* (Cd). Uma visualização da intensidade luminosa é apresentada na Figura 3.

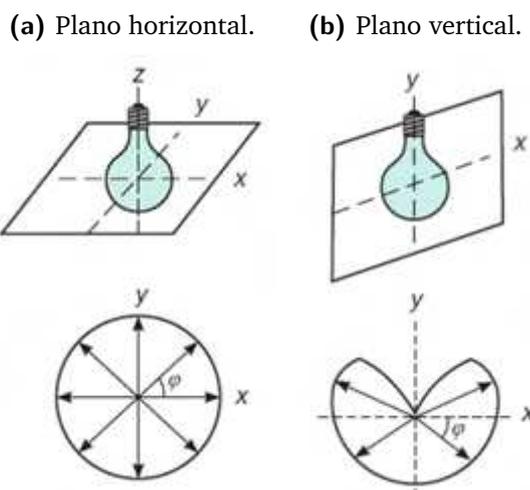
Figura 3 – Representação do conceito de intensidade luminosa



Fonte: MAMEDE, 2007.

Observa-se na prática, que as fontes de luz não emitem o fluxo luminoso uniformemente em todas as direções. Por exemplo, ao observar uma lâmpada incandescente Figura 4, nota-se que a intensidade luminosa é maior em determinadas direções do que em outras. Dessa definição, constroem-se curvas de distribuição luminosa, que caracterizam as luminárias de diversos fabricantes sendo disponibilizadas nos seus catálogos técnicos. No diagrama polar, a fonte de luz e a luminária são reduzidos a um ponto, a partir do qual são medidas as intensidades luminosas em todas as direções. (FILHO, 2017).

Na Figura 4a, é mostrado um fonte de luz constituída de uma lâmpada incandescente fixada em um ponto pendente e o correspondente diagrama da curva de distribuição luminosa, tomando-se como base o plano horizontal. Na Figura 4b, mostra-se a mesma lâmpada, onde construiu-se o mesmo diagrama, tomando-se agora como base o plano vertical.

Figura 4 – Distribuição luminosa nos planos vertical e horizontal

Fonte: MAMEDE, 2007.

2.4 ILUMINÂNCIA (E)

A iluminância também é conhecida como o nível de iluminamento, portanto, corresponde ao fluxo luminoso que incide em uma determinada superfície por unidade de área (FILHO, 2017). Em outras palavras, é a quantidade de luz que está chegando em um ponto, sua unidade é o *lux*. Portanto, para uma superfície plana de $1m^2$, sendo iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz, de fluxo luminoso de 1 lúmen, apresenta uma iluminância de 1 lux:

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (2.2)$$

Conforme visto, ϕ é o fluxo em lúmens e S é a área da superfície iluminada, em m^2 .

É possível medir a iluminância através de um aparelho chamado de luxímetro. As fontes luminosas não possuem uma distribuição uniforme, sendo assim, a iluminância não será a mesma em todos os pontos do recinto iluminado, sendo considerada a iluminância média (FILHO, 2017). Na Tabela 1, temos alguns exemplos clássicos de iluminância.

Tabela 1 – Exemplos clássicos de iluminância

Condição Climática	Quantidade de lux médio
Dia de sol de verão a céu aberto	100.000 lux
Dia com sol encoberto no verão	20.000 lux
Noite de lua cheia sem nuvens	0,25 lux
Noite à luz de estrelas	0,001 lux

Fonte: Adaptado MAMEDE, 2007.

Na Norma Brasileira 8995-1, ou apenas NBR 8995-1, que regulamenta a Iluminância de interiores, encontram-se os valores mínimos aceitáveis de iluminância média para cada tipo de ambiente em função das tarefas a serem executadas no local, de forma a obter o mínimo de conforto visual. A norma também diz que esse conforto depende da iluminância no restante do ambiente, não devendo ser inferior a um décimo da adotada para o campo de trabalho, mesmo havendo recomendações para valores menores. Além do mais, recomenda-se que a iluminância de qualquer ponto do plano de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média (ABNT, 2013).

2.5 LUMINÂNCIA (L)

É a medida de sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro. A luminância depende tanto do nível de iluminação, quanto das características de reflexão das superfícies. No Sistema Internacional de Unidades corresponde à *candela por metro quadrado* [cd/m^2] (FILHO, 2017).

Outra definição de luminância é a intensidade luminosa emanada de uma superfície, pela sua superfície aparente (OSRAM, 2021). O fluxo luminoso, a intensidade luminosa e a iluminância não podem ser visíveis a olho humano a menos que sejam refletidos por uma superfície (FILHO, 2017). A luminância pode ser obtida pela seguinte equação:

$$L = \frac{I}{S} \times \cos\alpha \quad (2.3)$$

Onde S é a superfície iluminada, α o ângulo entre a superfície iluminada e a vertical ortogonal à direção do fluxo luminoso e I a intensidade luminosa.

2.6 EFICIÊNCIA LUMINOSA (η)

Outra característica das lâmpadas, não está apenas no seu fluxo luminoso emitido, mas também nas potências consumidas por elas. Para avaliar a eficiência de uma lâmpada, descobre-se relação entre a quantidade de lúmens emitidos e a potência consumida. Dessa relação, tem-se a eficiência luminosa cuja unidade é o *lúmen por Watt* [$lumen/W$] representada pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (2.4)$$

Sendo η é a eficiência em lúmen/Watt, ϕ é o fluxo luminoso em lúmen e P é a potência consumida em *Watt*.

Desde que atendam as outras características compatíveis com o ambiente a ser iluminado, é dada prioridade a escolha de lâmpadas com alta eficiência luminosa. A eficiência luminosa também é levada em consideração devido a relação de custo-benefício, tendo em vista que o investimento inicial da aquisição do conjunto luminária e lâmpada pode ser restituído ao longo de sua vida útil pela economia de energia elétrica e diminuição dos custos na substituição das lâmpadas.

2.7 TEMPERATURA DE COR (T)

A unidade de medida da temperatura de cor é o Kelvin (K), sendo a mesma utilizada para medir temperatura, porém quando relaciona-se a temperatura de cor, como luz quente ou fria, não deve -se confundir ao calor físico da lâmpada, mas sim com a tonalidade de sua cor. Por padrão as cores quentes vão até 3.000 K, as cores neutras situam-se na faixa de 3.000 K e 4.000 K e as cores frias acima de 4.000 K. Lâmpadas mais amareladas, possuem baixa temperatura de cor, estando abaixo de 3000K, lâmpadas azuladas são de alta temperatura de cor, sendo superior a 6000K (PEREIRA, 1996).

Quanto maior a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz no ambiente, cores quentes são empregadas quando se deseja uma atmosfera íntima, sociável, pessoal e exclusiva (residências, bares, restaurantes). Um tom mais suave de luz, proporciona um ambiente mais aconchegante e relaxante, já para luz mais clara, torna o ambiente mais estimulante. As cores frias são usadas para tornar a atmosfera mais formal, precisa, limpa como é o caso de escritórios, recintos de fábricas, salas de cirurgia. A utilização de cores quentes na iluminação, realça os vermelhos e seus derivados, ao passo que as cores frias, os azuis e seus derivados próximos. As cores neutras, encontram-se no meio das duas sendo empregadas, são em geral, empregadas em ambientes comerciais (OSRAM, 2021).

No dia a dia, as lâmpadas com baixa temperatura de cor, também chamadas de lâmpadas quentes, sendo associadas ao nascer e ao pôr do sol. São relacionadas, portanto, com atividades do início e fim do dia, proporcionando ao ambiente mais aconchego, sendo utilizada em ambientes como quartos e salas de estar.

As lâmpadas com alta temperatura de cor, também chamadas de lâmpadas frias, estão associadas à iluminação do meio dia, ou seja, está relacionado a períodos de maior produtividade. Para isto, utiliza-se em ambientes onde se deseja estimular alguma atividade, geralmente em escritórios e cozinhas.

2.8 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES (IRC)

A tonalidade da cor apresentada por objetos sob luz natural, pode não ser exatamente igual, ao tom apresentado sob uma iluminação artificial. Para indicar de forma

consistente as propriedades de reprodução de cor de uma fonte luminosa, foi adotado uma escala, idealizando-se um índice de reprodução de cores padrão, sob diferentes iluminantes.

Nessa escala, relacionou-se a fidelidade das cores apresentadas por um objeto, ao ser iluminado por uma fonte de luz qualquer, em relação à cor apresentada sob a luz natural. Dessa relação, denominou-se o Índice de Reprodução de Cores (IRC). Assim, quanto mais alto o IRC de uma lâmpada específica, maior similaridade a cor natural representará aos olhos humanos. Lâmpadas de IRC máximo, ou seja 100%, geralmente possuem alto consumo de energia, baixa eficiência luminosa e grande dissipação de calor.

Em determinados tipos de ambientes, torna-se indispensável a escolha do tipo de lâmpada, como é o caso, de salas de cirurgias e de análise de pacientes, que necessitam de uma reprodução de cor muito próxima do real, tornando o IRC fundamental na seleção do tipo de lâmpada a ser implementada.

2.9 REFLETÂNCIA (ρ)

Ao atingir um objeto, parte do fluxo luminoso é absorvido, uma parte sofre refração e uma terceira parcela é refletida (FILHO, 2017). A refletância é a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma dada superfície e o fluxo luminoso incidente sobre a mesma. A refletância de uma superfície pode ser determinada de acordo com a seguinte equação:

$$\rho = \frac{\phi_{refletido}}{\phi_{incidente}} \quad (2.5)$$

Sendo ρ é a refletância, $\phi_{refletido}$ é o fluxo luminoso refletido e $\phi_{incidente}$ é o fluxo luminoso incidente.

O valor da refletância em superfícies de um determinado ambiente, relaciona-se diretamente com a cor e o tipo de material que compõe suas superfícies. Quanto maior a refletância, melhor será a distribuição do fluxo luminoso e consequentemente maior será a iluminância no local.

3 LÂMPADAS E LUMINÁRIAS

Nesse capítulo será abordado o princípio de funcionamento dos principais tipos de lâmpadas elétricas utilizadas em edificações. Serão abordadas algumas características para os tipos mais comuns de lâmpadas, bem como os principais tipos de luminárias e suas características, de forma que, obtenha-se um embasamento técnico na escolha do tipo de lâmpada mais adequada no desenvolvimento do projeto.

3.1 LÂMPADAS ELÉTRICAS

As lâmpadas elétricas comercializadas atualmente, podem ser classificadas de acordo com seu processo de emissão de luz, sendo elas incandescentes, que aquecem um filamento metálico para conversão de energia ou de descarga, que permitem a passagem de corrente elétrica através de um gás produzindo luz visível. Elas também podem ser classificadas através de seu desempenho analisando algumas de suas características como a sua vida útil, seu rendimento luminoso, seu índice de reprodução de cores e sua temperatura de cor.

3.1.1 Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente, surgida por volta de 1840, foi o primeiro dispositivo prático a ser desenvolvido que permitiu utilizar eletricidade para iluminação. Inicialmente, foi utilizado um filamento de bambu carbonizado inserido no interior de um bulbo de vidro a vácuo. Posteriormente esse filamento foi substituído pelo carbono e, finalmente, em 1909, Coolidge desenvolveu um método para tornar o tungstênio mais dúctil e adequado para a realização de filamentos uniformes por trefilação (MOREIRA, 1987).

Atualmente, com o objetivo de minimizar o desperdício no consumo de energia elétrica, este tipo de lâmpada deixou de ser comercializada no Brasil, sendo proibida sua venda.

Seu princípio de funcionamento baseia-se na emissão de luz através de um corpo aquecido, normalmente um filamento de tungstênio devido suas propriedades de baixa pressão de vapor e alto ponto de fusão (3.422 °C) que permitem a operação em altas temperaturas. Em funcionamento, grande parte da energia que é fornecida à lâmpada é dissipada em forma de calor pelo efeito Joule.

Em baixas temperaturas, quando um corpo é aquecido, é emitido radiação infravermelha, devido a oscilação de átomos e moléculas. Entretanto, em altas temperaturas, os átomos são excitados e ocorre a emissão de luz na faixa visível do espectro, quando estes decaem para um estado de menor energia.

Dessa forma, no desenvolvimento do filamento de uma lâmpada incandescente, durante seu funcionamento, procura-se levar o filamento a incandescência, pois assim, grande parte da radiação emitida estará no espectro visível. Essa característica, deixou esse tipo de lâmpada conhecida como lâmpada incandescente.

Outra característica que difundiu a utilização do tungstênio como filamento, está no fato de que, o espectro de seu filamento ser muito similar ao de um corpo negro de mesmas dimensões e mesma temperatura, com uma emissão de 24% a menos de radiação ultravioleta e infravermelha.

3.1.2 Lâmpadas Fluorescentes

São lâmpadas de descarga de baixa pressão, criadas na década de 40, possuem um bulbo revestido internamente por um material fluorescente e seu meio interno é constituído por vapor de mercúrio.

As lâmpadas fluorescentes são grandemente utilizadas por conta de sua eficiência luminosa, que varia entre 30 e 95 lm/W e possui um vida média entre 6000 e 8000 horas (SANTAMOURIS et al., 1996).

Elas estão substituindo as lâmpadas incandescentes nos últimos anos, as lâmpadas fluorescentes compactas, são a menor versão das fluorescentes tradicionais. Sendo muito mais eficientes do que as incandescentes e têm vida útil muito maior.

As lâmpadas fluorescentes tubulares comercializadas no Brasil são do tipo T5, T8, T10 e T12. Essa letra T seguida de um número representa o diâmetro do tubo, onde uma lâmpada fluorescente T5 possui 16 mm, uma T8 26mm, uma fluorescente T10 possui 33,5 mm, já uma do tipo T12 tem um diâmetro de 38mm. Com o avanço tecnológico, surgiram lâmpadas fluorescentes com menor diâmetro, o que permite que ocupem uma área menor na luminária, porém gerando quantidades semelhantes de fluxo luminoso.

3.1.3 Tecnologia LED

O LED é um componente eletrônico semicondutor que transforma energia elétrica em luz. A invenção dessa tecnologia se deu pela descoberta do LED de baixa intensidade luminosa na cor vermelha, utilizado para indicação de status de ligado ou desligado em um painel, em 1963, por Nick Holonyac (SCOPACASA, 2008). Em meados dos anos 80, com a tecnologia AlInGaP, os LEDs atingiram níveis elevados de intensidade luminosa, com isso passaram a substituir as lâmpadas automotivas. Nos anos 90, revolucionou a tecnologia, com o surgimento do primeiro LED de potência Luxeon, pois passou a apresentar um fluxo luminoso e 110° de ângulo de emissão.

Os LEDs se tornaram aliados do meio ambiente, pois em comparação com as lâmpadas tradicionais, possuem uma série de benefícios como: um baixo consumo de

energia, não emitem radiação UV ou IR, não contém mercúrio ou outros materiais pesados, vida útil mais longa, custos de manutenção reduzidos, em função de sua maior vida útil, possuem melhor controle ótico e controle dinâmico da cor, entre outros (SCOPACASA, 2008).

Na Figura 5, temos um comparativo da evolução de eficiência luminosa e vida útil em horas, das lâmpadas tubulares ao longo dos anos. Comparativamente em um sistema com lâmpada fluorescente e um sistema com lâmpada LED, o sistema fluorescente tem perdas por refletividade, perdas pela absorção do refletor, perdas pela sombra da própria lâmpada e perdas pelos raios de luz que não atingem o refletor, pois a lâmpada fluorescente emite luz em todas as direções.

Figura 5 – Evolução das lâmpadas tubulares.



Fonte: Philips, 2016.

Assim, a eficiência do sistema lâmpada e luminária será entre 40% e 90%, dependendo do diâmetro da lâmpada utilizada. Já em um sistema LED, não haverá as perdas como no sistema anterior, pois o ângulo de abertura de uma lâmpada LED é em torno de 150°, tornando uma eficiência de 100% neste sistema, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Diferença entre o sistema fluorescente e sistema com LED



Fonte: OSRAM, 2016.

Apesar de todos os benefícios citados, a tecnologia LED também possui desvantagens, pois possui alta sensibilidade a agente de intempéries, uma alta sensibilidade à

corrente de alimentação e necessita de uma adequada dissipação de calor do sistema, pois os LEDs emitem calor, sem irradiá-los. Na Tabela 3, tem-se um comparativo de características relevantes para um sistema de iluminação, levando em consideração a tecnologia LED e outras fontes convencionais.

Tabela 2 – Comparativo entre fontes convencionais e LED

LEDs vs Fontes convencionais				
	LED	Incandescente	Fluorescente	Vapor metálico
Luz visível	25 – 45%	8%	21%	27%
IR	~ 0%	73%	37%	17%
UV	0%	0%	~ 0%	19%
Calor	55 – 75%	19%	42%	37%

Fonte: Philips, 2016.

3.2 LUMINÁRIAS

As luminárias são aparelhos destinados à fixação da lâmpada, além do suporte, elas controlam e distribuem a luz, conservam a temperatura de operação dentro dos limites estabelecidos, possuem uma aparência agradável, devem ser economicamente viável e facilitam a instalação, conservação e manutenção.

Um dos principais fatores de qualidade da iluminação está na luminária, pois ela determina os contrastes, possibilitando boa adaptação, permite ou não presença de ofuscamento e, em geral, a capacidade visual e o bem estar que ela oferece pela iluminação.

Assim como a escolha do tipo de lâmpada pode beneficiar uma economia energética, a escolha da luminária adequada maximiza o aproveitamento da luz emitida pela lâmpada e, conseqüentemente, solicita uma carga de menor porte.

É essencial a verificação de sua eficiência e seu coeficiente de utilização, na escolha da luminária para um determinado ambiente .

A relação entre a quantidade da luz total emitida pela luminária e a luz total gerada pelas lâmpadas determinam a eficiência de uma luminária. Ainda que, a eficiência da luminária seja um fator muito importante no desenvolvimento de um projeto de iluminação, não dever ser analisada de forma isolada para não levar a soluções inadequadas de iluminação. A melhor combinação é levar eficiência, bem como o controle de ofuscamento e distribuição de luz compatível com o ambiente a ser iluminado (OSRAM, 2021).

Os componentes que mais influenciam a eficiência das luminárias são a forma como são construídas, a existência ou não de aletas, o material e o tipo de pintura do refletor.

O coeficiente de utilização descreve a porcentagem dos lúmens emitidos pela lâmpada ao atingir a superfície de trabalho. Esse índice considera as refletâncias das paredes e do tipo de luminária.

3.2.1 Classificação das Luminárias

De acordo com Fiorini, luminárias para iluminação interna estão classificadas de acordo com o percentual de luz que é dirigida diretamente ao plano de trabalho e a porcentagem do fluxo que é emitido em oposição ao plano de trabalho (FIORINI, 2006). Na Tabela 3, verifica-se a classificação da luminária de acordo com a distribuição de seu fluxo luminoso (Figura 7).

Tabela 3 – Classificação das lâmpadas com a distribuição do Fluxo Luminoso

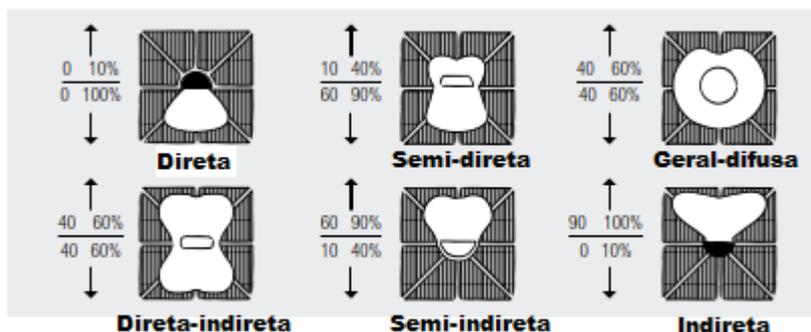
Classe da Luminária	Fluxo Luminoso Emitido	
	Para cima	Para baixo
Direta	0 – 10 %	90 – 100%
Semi-direta	10 – 40 %	60 – 90 %
Geral-difusa	40 – 60 %	40 – 60 %
Direta-indireta	40 – 60 %	40 – 60 %
Semi-indireta	60 – 90 %	10 – 40 %
Indireta	90 – 100%	0 – 10 %

Fonte: (PHILIPS, 1981).

Oliveira e Lopes (2013), classificam a direção do fluxo luminoso nas luminárias de forma direta, indireta, semi-direta, semi-indireta, difusa como relacionado a seguir:

- a) Direta:** Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente para o plano de trabalhos. Tem como exemplo as luminárias refletoras ou também conhecidas como spots.
- b) Indireta:** Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente em oposição ao plano de trabalho. Normalmente são aquelas luminárias com função decorativa.
- c) Semi-direta:** Quando parte do fluxo luminoso é direcionado diretamente e predominantemente ao plano de trabalho e a outra parte é voltado ao mesmo, porém na forma de reflexão.
- d) Semi-indireta:** Quando parte do fluxo chega ao plano de trabalho por efeito indireto e outra parte diretamente.
- e) Geral-Difusa:** Quando o fluxo luminoso apresenta a mesma intensidade em todas as direções

Figura 7 – Classificação do fluxo luminoso



Fonte: OSRAM.

3.2.2 Curvas de distribuição de Luz

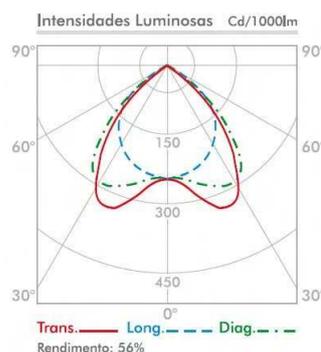
Sem a utilização da luminária, o fluxo luminoso distribuído por uma lâmpada, é praticamente uniforme desconsiderando a existência da base. Dessa forma, ao posicionar essa lâmpada no centro de uma esfera, a mesma quantidade de luz irá incidir sobre cada ponto localizado em sua superfície (FIORINI, 2006).

Porém, é observado na prática, que as fontes luminosas ao serem utilizadas em conjunto de suas luminárias, produzem uma distribuição de fluxo luminoso diferente em função do ângulo em que é medido (IESNA, 1995).

Para determinar a característica de cada tipo de luminária, criou-se uma representação gráfica, conhecida como curva de distribuição luminosa. Essa representação é feita através de um gráfico em coordenadas polares e, normalmente, referenciada a 1000 lúmens.

Considerando o conjunto lâmpada–luminária localizado no centro do gráfico, determina-se a intensidade luminosa em função das diversas direções. A Figura 8, apresenta a curva de distribuição luminosa de um sistema lâmpada-luminária, geralmente disponibilizadas pelos fabricantes.

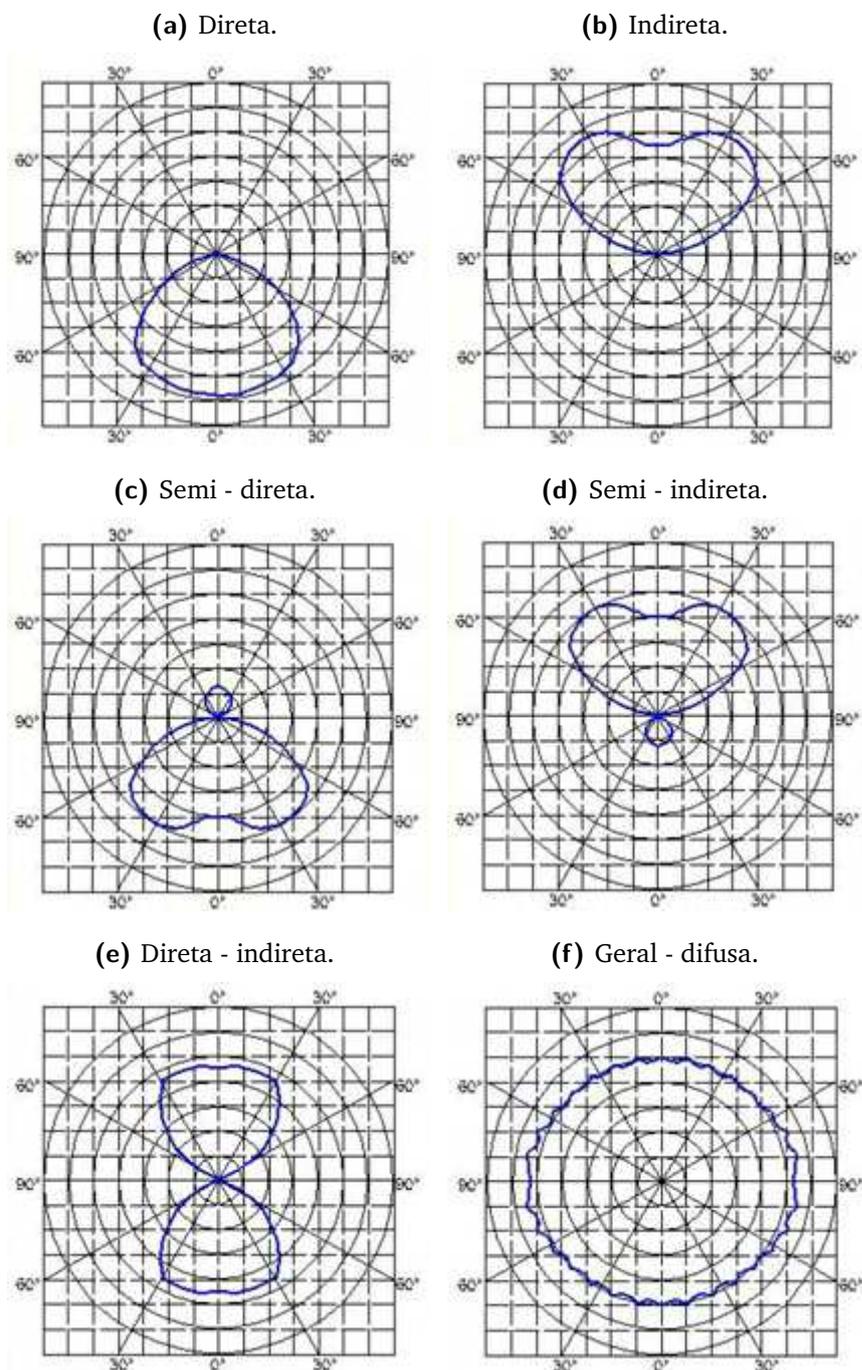
Figura 8 – Dados fotométricos de uma luminária



Fonte: Catálogo ITAIM, 2016.

Observa-se na Figura 8 que, para um ângulo de 0° , exatamente abaixo da luminária, a intensidade luminosa é aproximadamente 240 candelas para cada 1000 lúmens e na transversal, para o o ângulo de 30° a iluminância é 300 candelas para cada 1000 lúmens emitidos pela lâmpada.

Figura 9 – Curva de distribuição luminosa dos diversos tipos de luminárias

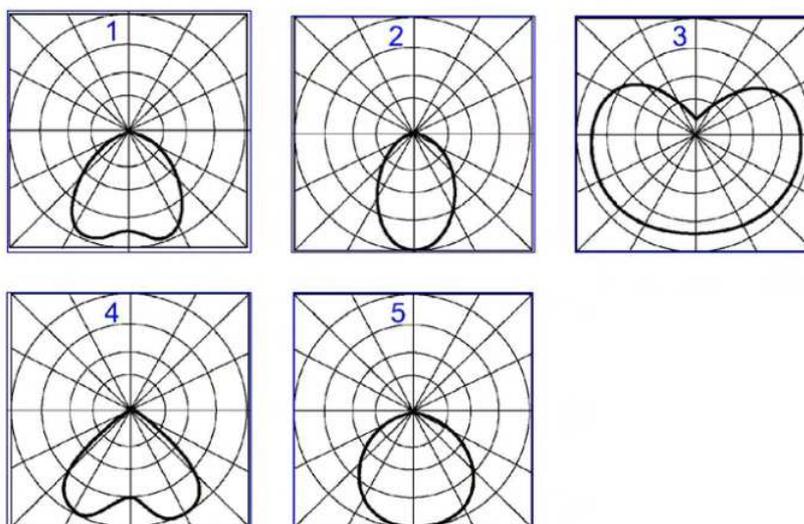


Fonte: IESNA, 1995.

Em cada tipo de ambiente, uma determinada curva de distribuição luminosa apresentará melhor iluminação. Na Figura 10 são apresentados os principais tipos de

curva de distribuição luminosa das luminárias para a iluminação geral de ambientes internos.

Figura 10 – Curvas de distribuição luminosa características das luminárias mais utilizadas na iluminação geral.



Fonte: Eletropaulo. 2006.

A curva 1 é indicada para ambientes que necessitem níveis médio de iluminamento e um bom controle de reflexos, como por exemplo em salas de vídeo. Luminárias com curvas similares à de número 2, aplicam-se para ambientes de alto pé-direito e onde se desejam baixos a médios níveis de iluminância. A curva 3 é indicada para ambientes que necessitem de uma baixa iluminância (OSRAM, 2021).

As luminárias com curva de distribuição luminosa semelhante à apresentada na curva 4, são indicadas para ambientes de alta iluminância e também necessitem certo controle de ofuscamento. Esse tipo de curva é conhecida como asa de morcego (“Batwing”). Para luminárias de curvas semelhantes às de número 5, são indicadas em ambientes de baixos a médios níveis de iluminamento e de baixo pé-direito (OSRAM, 2021).

Assim, o projetista responsável deverá escolher a luminária de acordo com a classificação e a curva de distribuição luminosa, que mais se adéque ao ambiente desejado. Deve-se discernir a melhor opção de luminária, levando-se em consideração todos os critérios relacionados a otimização do rendimento luminoso, os níveis de ofuscamento, de reflexo, do nível de iluminamento e as características do ambiente.

3.3 NBR ISO 8995-1

As Normas Brasileiras conhecidas como NBR, são normas técnicas aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e possuem inúmeras aplicações

para padronização de documentos, processos produtivos e procedimentos de gestão. São estabelecidas de acordo com um consenso entre pesquisadores e profissionais da área com o objetivo de aumentar a qualidade do produto e sua padronização, sendo posteriormente, aprovada por um organismo nacional a ABNT.

Neste trabalho, levou-se em consideração a NBR ISSO 8995-1 – Iluminação de Ambientes de Trabalho – que estabelece os níveis médios recomendados, de iluminância, em cada tarefa.

Com o objetivo de cumprir os requisitos da norma e obter um ambiente luminoso, é necessária atenção a cada parâmetro. Os principais parâmetros, que contribuem para o iluminamento são enumerados a seguir:

- 1) **Distribuição da iluminância** – É importante para uma boa execução das atividades, pois melhora a adaptação dos olhos na área da tarefa;
- 2) **Iluminância** – Os valores de iluminância determinados na NBR 8995-1 são de iluminância mantidas, ou seja, é o valor mínimo que a instalação emitirá na prática, considerando-se a prazo previsto de limpeza e substituição das lâmpadas;
- 3) **Ofuscamento** – Para evitar ofuscamentos, é necessária proteção contra visão direta das lâmpadas. Para isto é estabelecido o ângulo de corte para lâmpadas elétricas;
- 4) **Direcionalidade da luz** – A direcionalidade da luz é utilizada para destacar objetos, revelar texturas e melhorar a aparência das pessoas em um espaço;
- 5) **Cor da luz** – A qualidade da cor de uma luz é caracterizada pela temperatura de cor (aparência da cor na lâmpada) e pelo seu índice de reprodução de cores (aparência da cor no objeto ou nas pessoas);
- 6) **Cintilação** – A norma recomenda que o sistema de iluminação seja projetado para evitar cintilações, pois elas causam distração e podem provocar efeitos como dores de cabeça;
- 7) **Luz natural** – A iluminação necessária para tarefas visuais pode ser fornecida total ou parcialmente por luz natural. É necessário evitar o contraste excessivo e o desconforto térmico causados pela exposição ao sol. Portanto, faz-se necessário controlar a exposição com persianas nas janelas;
- 8) **Manutenção** – A iluminância mantida corresponde ao nível de iluminação recomendado para uma tarefa. Ela depende das características de manutenção da lâmpada, da luminária, do ambiente e do programa de manutenção.

Alguns valores de iluminância determinado na NBR 8995-1 podem ser vistos na Tabela 4. Foram levados em consideração fatores como requisitos para a tarefa visual, segurança, aspectos psicofisiológicos, economia e experiência prática.

Tabela 4 – Valores de iluminância de acordo com a norma

Tipo de ambiente tarefa ou atividade	Iluminância média	IRC
Áreas de circulação e corredores	100	40
Escadas	150	40
Recepção	300	80
Sala para exercícios físicos	300	80
Banheiros e vestiários	200	80
Depósito térreo	100	60

Fonte: (ABNT, 2013) .

4 MÉTODOS DE CÁLCULOS DE ILUMINAÇÃO

No desenvolvimento de um projeto de iluminação para um ambiente específico, inicialmente, é escolhido qual o melhor sistema lâmpada – luminária adequado. Posteriormente, determina-se a quantidade de lâmpadas e luminárias que fornecerão o nível de iluminamento adequado àquele ambiente. Neste capítulo serão apresentados alguns meios de se determinar a quantidade de lâmpadas pelo método dos lúmens.

O método dos lúmens é uma aproximação básica, servindo apenas como um modelo de previsão de carga elétrica para o ambiente. Ele baseia-se nos níveis adequados de iluminância para a determinação da quantidade de lâmpadas e luminárias.

Além dos métodos citados anteriormente, existe também o método ponto a ponto. Esse método não é utilizado diretamente na determinação do número de luminárias a ser implantada, ele possibilita determinar a iluminância em qualquer ponto do ambiente, auxiliando assim, na escolha do tipo e quantidade de luminárias. Com ele é possível verificar se a iluminação do ambiente está ou não homoganeamente distribuída.

4.1 NÍVEIS DE ILUMINAMENTO

Para efeitos de comparação, a extinta norma NBR 5413 de 1992 definiu valores mínimos dos níveis de iluminamento médio para a iluminação artificial em interiores. Esses níveis são divididos de acordo com a classe de tarefa a ser desenvolvida e podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Nível de iluminamento de acordo com a classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros.
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupa.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais muito exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas e prolongadas, montagem de microeletrônica.
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR 5413, 1992.

Para cada tipo de tarefa apresentada na Tabela 5, existem três tipos diferentes de iluminância. A escolha da iluminância mais adequada a uma tarefa específica deve

levar em consideração alguns fatores como: idade dos usuários, a refletância do fundo da tarefa e a velocidade e precisão para as atividades. Essa escolha, baseia-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Fatores determinantes da iluminância adequada.

Característica da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	acima de 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.

O procedimento para a escolha de uma das três iluminâncias é descrito a seguir:

- 1° – Analisar cada característica para determinar a seu peso (-1, 0 ou 1);
- 2° – Realizar a soma algébrica dos três valores encontrados, considerando o sinal;
- 3° – Usar a iluminância menor quando o valor for igual a -2 ou -3; a iluminância superior quando a soma for +2 ou +3; e a iluminância média, nos outros casos.

Além da Tabela 5, a NBR 5413 apresenta ainda três níveis de iluminação para outros tipos de atividade, que devem ser consultadas para a determinação da iluminância média mínima no ambiente desejado. A Tabela 7 apresenta a iluminância proposta para alguns desses ambientes. Porém, a NBR 5413 se encontra cancelada, neste trabalho foi considerado exclusivamente a NBR ISO/CIE 8995-1 de 2013.

Tabela 7 – Iluminância indicada para determinados ambientes.

Ambientes	Iluminância (Lux)
Barbearias	
- Geral	150 - 200 - 300
Bibliotecas	
- Salas de Leitura	300 - 500 - 750
- Recinto das estantes	200 - 300 - 500
- Fichário	200 - 300 - 500
Escolas	
- Salas de Aulas	200 - 300 - 500
- Quadros negros	300 - 500 - 750
- Salas de trabalhos manuais	200 - 300 - 500
- Laboratórios	
.Geral	150 - 200 - 300
.Local	300 - 500 - 750
Anfiteatros e Auditórios	
.Platéia	150 - 200 - 300
.Tribuna	300 - 500 - 750
- Sala de desenho	300 - 500 - 750
- Sala de Reuniões	150 - 200 - 300
- Salas de Educação física	100 - 150 - 200
Escritórios	
- Sala de:	
.Registros, cartografia, etc	750 - 1000 - 1500
.Desenho, engenharia mecânica e arquitetura	750 - 1000 - 1500
.Desenho decorativo e esboço	300 - 500 - 750

Fonte: NBR 5413, 1992.

4.2 MÉTODO DOS LÚMENS

Esse método é o mais utilizado por projetistas de iluminação de ambientes internos. Sendo de fácil manipulação algébrica, também apresenta resultados bastante adequados de iluminação.

Os fabricantes geralmente disponibilizam as informações necessárias para utilização desse método. Assim, existe uma gama de luminárias disponíveis no mercado para utilização deste método, facilitando assim, as chances de encontrar a luminária ideal para a iluminação do ambiente.

Esse método baseia-se na determinação do fluxo luminoso necessário para obter um valor médio de iluminamento desejado no plano de trabalho (FILHO, 2017). O fluxo luminoso, para atingir um determinado nível de iluminamento médio, é determinado pela a equação a seguir:

$$\phi_t = \frac{S \times E}{F_u \times F_{dl}} \quad (4.1)$$

Onde ϕ_t é o fluxo total emitido pelas lâmpadas em lúmens, E o iluminamento médio requerido pelo ambiente a iluminar em lux, S é a área do ambiente em m^2 , F_u o fator de utilização do ambiente e F_{dl} o fator de depreciação de serviço da luminária.

A equação 4.1 determina o fluxo luminoso total que as lâmpadas a serem instaladas devem emitir. Esse fluxo luminoso total, depende de várias características do ambiente, como as dimensões, altura do pé-direito, altura do plano de trabalho, nível de iluminamento requerido, refletância do ambiente e características da luminária.

A área é o primeiro fator a ser considerado. Quanto maior a área do ambiente, maior será o número de luminárias para atingir um mesmo nível de iluminamento, ou seja, maior será o fluxo luminoso no ambiente.

O iluminamento médio para uma determinada sala, conforme explicitado no item 4.1, deve ser determinado de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 e escolhido de acordo com a classe da tarefa destinada ao ambiente. Cada tipo de tarefa possui a sua iluminância adequada.

Por exemplo: a iluminância de uma sala de cirurgia deve ser muito mais alta do que a de um corredor, visto que suas tarefas são de alta precisão e possuem um período maior de permanência. Esses níveis podem ser encontrados na norma NBR 5410 – Iluminância de Interiores.

O fator de utilização do ambiente é relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pela lâmpada (FILHO, 2017). De forma intuitiva, é possível observar que uma parte do fluxo luminoso emitido pela

lâmpada é absorvido pela luminária, outra parte é refletida sobre as superfícies do local, até alcançar o plano de trabalho, e uma terceira parcela atinge diretamente o plano de trabalho. Assim, no dimensionamento da quantidade de luminárias ideal, deve-se considerar a eficiência da luminária, as dimensões do local e a refletância de suas paredes.

A refletância da superfície está diretamente relacionada com a cor da tinta ou o tipo de material utilizada nas superfícies do ambiente. Como referência, são apresentados alguns valores para refletância nas superfícies do ambiente na Tabela 8.

Tabela 8 – Grau de reflexão característico de alguns materiais e cores.

COR	REFLETÂNCIA
Branco	70 até 80%
Preto	3 até 7%
Cinza	20 até 50%
Amarelo	50 até 70%
TIPO DE MATERIAL	REFLETÂNCIA
Madeira	70 até 80%
Concreto	3 até 7%
Tijolo	20 até 50%
Rocha	50 até 70%

Fonte: (OSRAM, 2021)

A maioria dos fabricantes apresentam em seu catálogo as luminárias com suas respectivas eficiências. Com os dados de eficiência das luminárias e a eficiência do ambiente, determina-se o fator de utilização. A eficiência do ambiente é obtida através das dimensões do local a ser iluminado e pode ser calculada de acordo com a equação 4.2.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} \quad (4.2)$$

Onde K é o índice do ambiente, A e B o comprimento e a largura, respectivamente, do ambiente em metros e H_{lp} a altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho em metros.

Com os dados do comprimento, da largura e do pé-direito útil, sendo este, a altura da luminária menos a altura do plano de trabalho, calcula-se o índice do ambiente. O índice K e a eficiência η da luminária possibilitam encontrar o fator de utilização u , através da equação 4.3.

$$u = K \times \eta \quad (4.3)$$

Como já dito, geralmente os fabricantes fornecem as informações de índice de ambiente com as refletâncias do teto, parede e piso. A Figura 11 apresenta os fatores de utilização comerciais de uma luminária de sobrepor, modelo FAA20-E228 da lumicenter, que está disponível para duas lâmpadas de 28 Watts ou duas de 54 Watts.

Figura 11 – Fator de utilização da luminária.

Teto (%)	70			50			30			0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20			20			20			0
RCR	Fator de Utilização (%)									
0	88	88	88	84	84	84	81	81	81	76
1	79	77	75	76	74	73	73	72	70	67
2	71	67	63	68	65	62	66	63	60	58
3	63	58	54	61	56	53	59	55	52	49
4	56	50	46	54	49	45	52	48	45	43
5	50	44	40	48	43	39	47	42	39	37
6	45	39	35	44	38	34	42	38	34	32
7	41	35	30	40	34	30	39	34	30	28
8	37	31	27	36	31	27	35	30	27	25
9	34	28	24	33	28	24	32	27	24	22
10	31	25	22	30	25	22	30	25	21	20

Fonte:Lumicenter, 2021

Para determinar o fator de utilização da luminária, relaciona-se as refletância do teto, parede e chão com o índice do ambiente, de acordo com os dados que o fabricante disponibiliza. É importante salientar, que nas informações apresentadas (Figura 11), faltam algumas combinações de refletância. Logo, nesses casos, é necessário realizar uma interpolação para obtenção de um coeficiente de utilização condizente ao ambiente. Nesse tipo de quadro o fabricante especifica apenas um valor de refletância para o piso. Quando isso acontece é comum a utilização de outra Tabela para a realização da correção da refletância do chão.

A última grandeza necessária para obtenção do fluxo luminoso a ser emitido pelas lâmpadas é o fator de depreciação do serviço da iluminação. O fator de depreciação está diretamente relacionado à diminuição do fluxo luminoso no ambiente com o decorrer do tempo (FILHO, 2017). Esse índice relaciona o fluxo luminoso no ambiente no fim de um período de manutenção considerado e o fluxo luminoso no começo de sua operação.

Esse fator é utilizado na metodologia de cálculo do número de luminárias ideal ao ambiente, a fim de obter, no término do período de manutenção, o nível de iluminamento médio mínimo exigido pela NBR 8995. Assim, no período de implantação do sistema de iluminação, ou logo após sua manutenção, o ambiente apresentará níveis superiores aos exigido pela norma.

A diminuição do fluxo luminoso de uma determinada luminária durante sua vida útil ocorre por conta da diminuição do fluxo luminoso da lâmpada, devido a sujeira

acumulada sobre sua superfície e sobre as superfícies do ambiente nesse período, além da queima das lâmpadas.

Existem alguns métodos para se determinar o fator de depreciação. No livro de Instalações Elétricas de João Mamede de 2017, são indicados alguns valores de referência do fator de depreciação mais comuns no mercado, listados na Tabela 9.

Tabela 9 – Fator de depreciação para luminárias existentes no mercado.

Tipos de aparelho	Fator de depreciação (d)
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	
Calha aberta e chanfrada	0,80
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para duas lâmpadas incandescentes	0,70
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial do tipo miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	0,60
Luminária comercial para lâmpada high output colméia	
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Fonte: Mamede, 2017.

Determina-se o fator de depreciação verificando-se em qual dessas subdivisões da Tabela 9 a luminária selecionada se enquadra. Em muitos casos, os fabricantes já apresentam em seu catálogo de luminárias o fator de depreciação.

No livro de Instalações elétricas, do autor Hélio Creder, encontram-se diversos tipos de luminárias. Em cada uma delas ele disponibiliza o fator de depreciação e o fator de utilização que podem ser consultadas na elaboração do projeto.

Porém, nenhum dos dois quadros apresentados considera o nível de sujeira existente no ambiente para a determinação do fator de depreciação, afetando consideravelmente, a iluminância no ambiente. No manual de iluminação da Philips e também o *software* de cálculo luminotécnico *Softlux* sugerem alguns fatores de depreciação apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Fator de depreciação indicados pela Philips e Itaim.

Ambiente	Fator de Depreciação
Limpo	0,80
Médio	0,70
Sujo	0,60

Fonte: Philips, 1981 e Itaim. 2006.

Outros projetistas sugerem que a determinação do fator de utilização seja feito baseado nos níveis de higiene do ambiente e ainda no período de manutenção previsto para o local (GHISI, 1997). Como por exemplo, a escolha do fator de utilização pode ser feita de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 – Fator de Depreciação indicado por Smit.

Periodo de Limpeza (em meses)	Ambiente		
	Sujo	Médio	Limpo
0	1	1	1
2	0,85	0,92	0,97
4	0,76	0,88	0,94
6	0,7	0,85	0,93
8	0,67	0,82	0,92
10	0,64	0,8	0,91
12	0,62	0,79	0,9
14	0,6	0,78	0,89
16	0,58	0,76	0,88
18	0,56	0,75	0,87
20	0,54	0,74	0,86
22	0,52	0,73	0,85
24	0,5	0,71	0,84

Fonte: Ghisi, E. 1997.

Dessa forma, cabe ao projetista realizar a escolha de qual dessas Tabelas ele irá seguir para a determinação do fator de depreciação.

Determinado o fluxo luminoso total a ser emitido pelas lâmpadas, deve-se calcular então o número de luminárias necessárias para a iluminação do ambiente. Essa quantidade pode ser calculada de acordo com a equação 4.4.

$$N_{lu} = \frac{\phi_t}{N_{la} \times \phi_l} \quad (4.4)$$

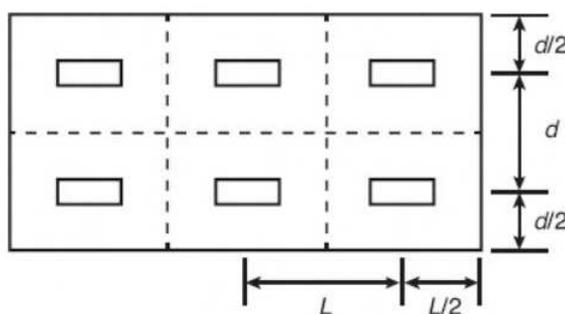
Onde, N_{lu} é o número de luminárias, ϕ_t é o fluxo luminoso total emitido em lúmens, ϕ_l é o fluxo luminoso emitido pela lâmpada em lúmens e N_{la} é o número de lâmpadas por luminárias

Após a escolha do tipo de luminária, tem-se a quantidade de lâmpadas e consequentemente o fluxo luminoso que as luminárias emitem pelo fabricante.

Para determinar o número de luminárias total, divide-se o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas pelo fluxo emitido por cada luminária. O resultado aproximado do número de luminárias deve ser arredondado para cima. Muitas vezes, a quantidade calculada de luminária não leva a uma distribuição uniforme no ambiente, necessitando aumentar o número de luminárias.

Feito o cálculo do número de luminárias, deve-se posicioná-las no ambiente e determinar a distância entre elas. A relação de posicionamento das luminárias pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 – Distribuição das luminárias no ambiente.



Fonte: (CREDER, 2016).

O posicionamento das luminárias deve ocorrer de forma que a distância entre as luminárias seja o dobro da distância entre a luminária e a parede, conforme visto na Figura 12.

Além de todo o procedimento adotado para a determinação do número de luminárias e seu posicionamento, deve-se ainda considerar a relação da altura do pé-direito útil e a distância entre as luminárias. Via de regra, sugere-se que a distância entre as luminárias não seja superior a 1,5 vezes o pé-direito útil. Com esse procedimento, obtém-se uma melhor uniformidade na distribuição das iluminâncias ao longo do ambiente.

4.3 MÉTODO DO PONTO A PONTO

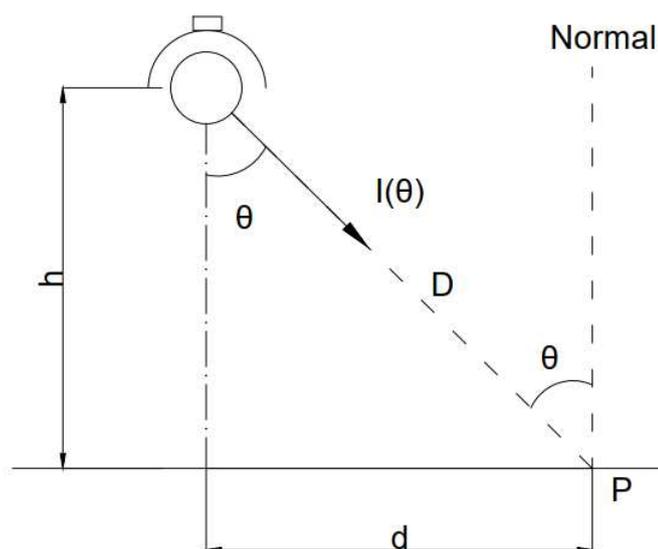
Este método permite determinar em cada ponto da área o iluminamento que corresponde à contribuição de todas as fontes luminosas cujo fluxo atinja o ponto mencionado. A soma algébrica de todas as contribuições determina o iluminamento naquele ponto (FILHO, 2017).

Assim, é possível determinar a iluminância em um ponto específico de um ambiente. Normalmente, o método ponto a ponto, é utilizado para fazer a verificação da

distribuição luminosa do ambiente, tendo em vista que a iluminância, em qualquer ponto do plano de trabalho, não deve ser inferior a 70% da iluminância média, segundo a NBR 8995.

A determinação da iluminância horizontal em determinado ponto do ambiente, pode ser calculada pela soma total fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano horizontal como visto na equação 4.5.

Figura 13 – Iluminamento vertical e horizontal.



Fonte: Autor

$$E_h = \frac{I(\theta) \times \cos^3(\theta)}{h^2} \quad (4.5)$$

Onde E_h é o iluminamento horizontal em lux, I a intensidade do fluxo luminoso em candela, θ o ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada e h a altura vertical da luminária em metros.

A determinação da iluminância vertical em determinado ponto do ambiente, pode ser calculada pela soma total fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano vertical como visto na equação 4.5.

$$E_v = \frac{I(\theta) \times \cos^2(\theta) \times \sen(\theta)}{h^2} \quad (4.6)$$

Onde E_v é o iluminamento vertical em lux, I a intensidade do fluxo luminoso em candela, θ o ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada e h a altura vertical da luminária em metros.

A intensidade luminosa em um dado ângulo é determinada através da curva de distribuição da luminária e do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. É possível determinar utilizando os conceitos geométricos, o ângulo e a distância entre a fonte de luz e o ponto a ser iluminado.

Assim, para a determinação da iluminância em um ponto, devido a várias fontes de luz, deve-se efetuar o cálculo da iluminância gerada por cada uma delas e realizar a sua soma algébrica.

Em ambientes com muitas luminárias, torna-se difícil a utilização deste método devido ao grande trabalho em determinar a iluminância em certo ponto. Para evitar essa complexidade são utilizados *softwares* que realizam esses cálculos, apresentando toda a distribuição das iluminâncias pelo ambiente. Além de fazer a distribuição das luminárias, eles também são capazes de realizar o quantidade de luminárias necessárias ao ambiente, neste projeto optou-se pelo *software dialux Evo* de utilização gratuita.

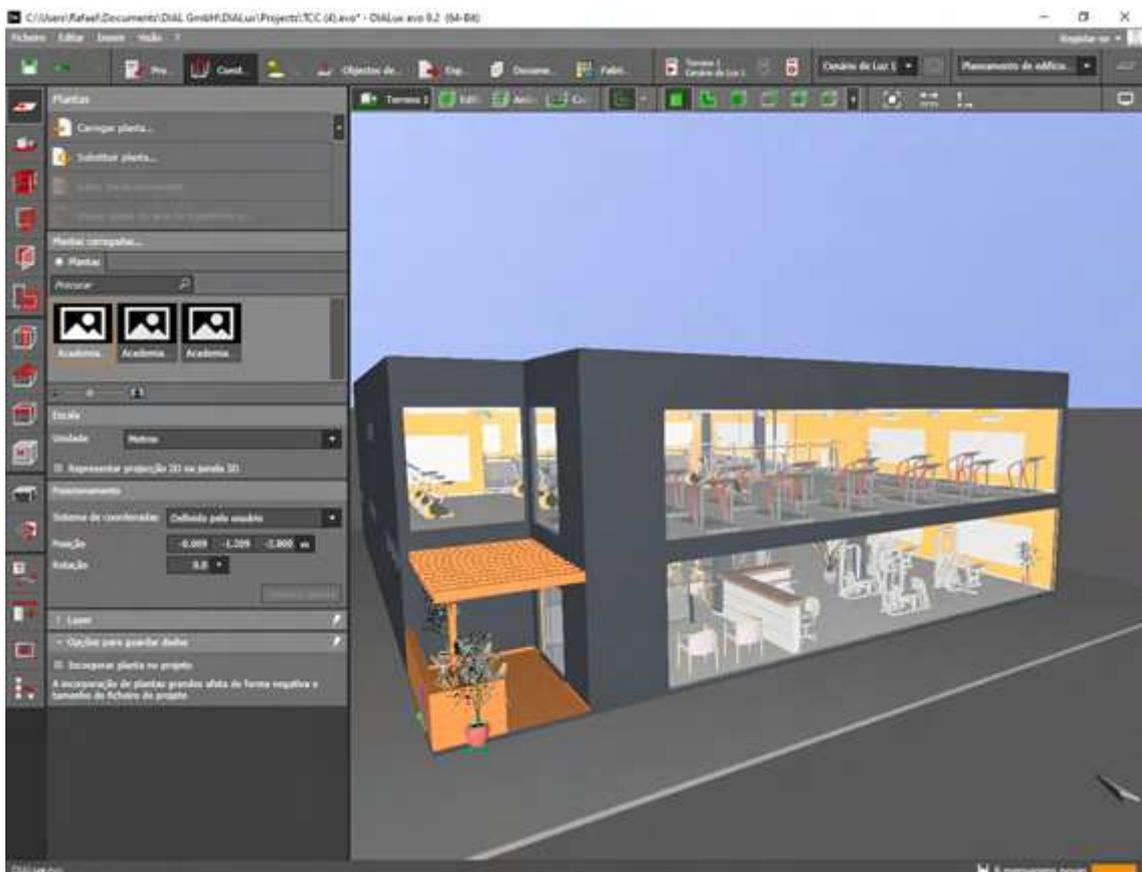
5 PROJETO LUMINOTÉCNICO

Neste capítulo é descreve-se o procedimento utilizado no desenvolvimento do projeto Luminotécnico. Na primeira seção deste capítulo estão descritos os recursos utilizados para o projeto. O desenvolvimento é descrito na seção 2. Por fim, o procedimento realizado para análise dos resultados é mostrado na seção 3.

5.1 RECURSOS UTILIZADOS

Optou-se em elaborar todo o projeto da academia de ginástica no *software Dialux Evo*, desde o desenho da arquitetura em planta baixa, seu modelo 3D, a inserção de objetos, texturas e por fim o posicionamento de luminárias e os cálculos luminotécnicos. A Figura 14 mostra a aparência do projeto.

Figura 14 – Software DIALux Evo 9.2.



Fonte: Autor

5.2 PROCEDIMENTO

Inicialmente, foram definidos quais são os ambientes que a academia deveria conter. A partir de análise prévia, foi estabelecido que a academia deveria conter uma recepção na entrada principal, um espaço para os clientes guardarem seus pertences, dois banheiros no pavimento térreo para homens e mulheres, um depósito no pavimento térreo para guardar material de limpeza e salão com os equipamentos de ginástica. No piso superior foi destinado dois ambientes, um para equipamentos de corrida e ciclismo e outro para a prática de pilates, dança e esportes de luta, além de uma sala para guardar os equipamentos. Com essa diversidade de ambientes foi possível realizar várias análises para diferentes tipos de ambientes.

Figura 15 – (a) Entrada edifício e (b) Hall de entrada.



(a) Entrada edifício.



(b) Hall de entrada.

Fonte: Autor.

Figura 16 – (a)Recepção, (b)Visão lateral da recepção e (c)Escada de acesso ao segundo pavimento.



(a) Recepção.



(b) Visão lateral da recepção.



(c) Escada de acesso ao segundo pavimento.

Fonte: Autor.

Figura 17 – (a)Vestiário, (b)Piso superior, sala de corrida e ciclismo e (c)Piso superior acesso a sala de pilates.



(a) Vestiário.



(b) Piso superior, sala de corrida e ciclismo.



(c) Piso superior acesso a sala de pilates.

Fonte: Autor.

Figura 18 – (a) Banheiro masculino, (b) Banheiro feminino e (c) Depósito material de limpeza.



(a) Banheiro masculino.



(b) Banheiro feminino.



(c) Depósito material de limpeza.

Fonte: Autor.

Figura 19 – (a) Depósito de equipamentos, (b) Visão posterior recepção e (c) Visão equipamentos do primeiro pavimento.



(a) Depósito de equipamentos.



(b) Visão posterior recepção.



(c) Visão equipamentos do primeiro pavimento.

Fonte: Autor.

Para este projeto foram selecionadas lâmpadas e luminárias da lumicenter, o fabricante também disponibiliza as informações técnicas que serão apresentados na próxima seção. O Dialux permite a inserção dos ficheiros com os dados técnicos das luminárias, após inseridos os ficheiros no programa foram realizados os testes com as respectivas luminárias, os resultados serão discutidos na próxima seção.

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados fotométricos de cada ambiente com seu projeto luminotécnico final. Nas Tabelas 12 e 13 são mostrados as área de cada ambiente.

Tabela 12 – Área dos ambientes da academia, piso térreo.

Ambiente	Área (m^2)
Banheiro feminino	13,83
Banheiro masculino	13,80
Depósito de limpeza	6,38
Escada	9,32
Salão de Ginástica	288,92
Recepção	25,57
Vestiário	11,18

Fonte: Autor.

Tabela 13 – Área dos ambientes da academia, piso superior.

Ambiente	Área (m^2)
Salão de Ginástica	152,98
Salão de Pilates	147,32
Depósito	9,43

Fonte: Autor.

5.3.1 Banheiros

Nos banheiros feminino e masculino foram necessárias 2 luminárias do modelo FAA20-E228 para lâmpadas T5, em cada ambiente. Este tipo de luminária de acordo com a fabricante Lumicenter é indicada para uso em ambientes onde há necessidade de controle de ofuscamento rigoroso, como agências bancárias, escritórios, bibliotecas e salas de estudo.

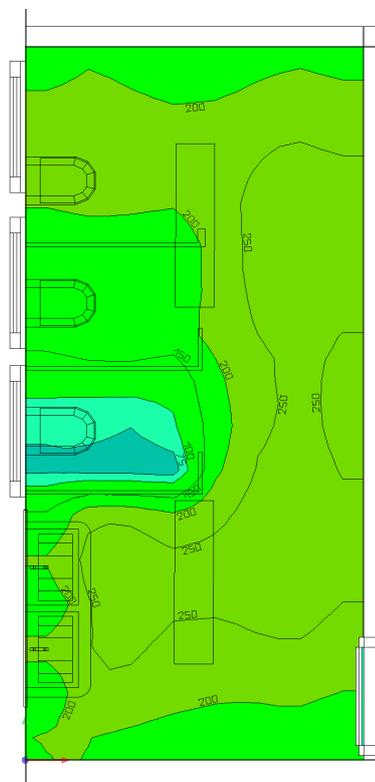
A lâmpada utilizada, possui rendimento luminoso de 3950 lm. Esta luminária foi utilizada em todos os ambientes, este modelo pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Luminária FAA20-E228.

Fonte: Catálogo Lumicenter, 2021.

Os valores calculados pelo DIALux para o banheiro estão contidos na Tabela 14 e a curvas de isolux calculadas são apresentadas nas Figura 21(b) e 22(b) para os banheiros feminino e masculino respectivamente. Nas Figuras 21(a) e 22(a) são apresentadas suas vistas com as luminárias utilizadas.

A Tabela 14 contém os valores de uniformidade, que representa a uniformidade total da iluminância sobre uma superfície. Ela é o quociente da iluminância mínima com o valor médio calculado no ambiente.

Figura 21 – (a) Vista banheiro feminino com luminárias e (b) Curva de Isolux banheiro feminino.**(a) Banheiro feminino.****(b) Curva de Isolux.**

Fonte: Autor.

Tabela 14 – Valores calculados pelo DIALux para os banheiros.

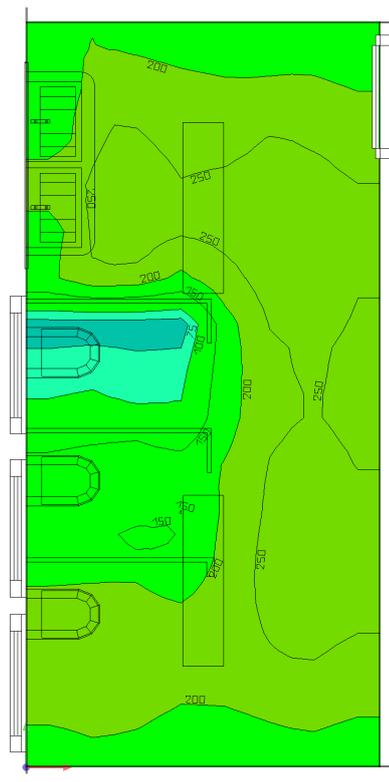
Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Banheiro feminino	230	0,86
Banheiro masculino	209	0,81

Fonte: Autor.

Figura 22 – (a) Vista banheiro masculino com luminárias e (b) Curva de Isolux banheiro masculino.



(a) Vista banheiro masculino.



(b) Curva de Isolux.

Fonte: Autor.

5.3.2 Depósito, recepção e vestiário

No depósito de material de limpeza, foi utilizada 1 luminária modelo FAA20-E228, na recepção 6 luminárias e no vestiário 2 luminárias do mesmo modelo. Na Tabela 15, apresentam os valores de iluminância e uniformidade calculados. Na Figura 23 e 24, visualizam-se o lançamento das respectivas luminárias pelo *software* e suas curvas isolux.

Tabela 15 – Valores calculados pelo DIALux para depósito, recepção e vestiário.

Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Recepção	434	0,83
Vestiário	362	0,75
Depósito	228	0,77

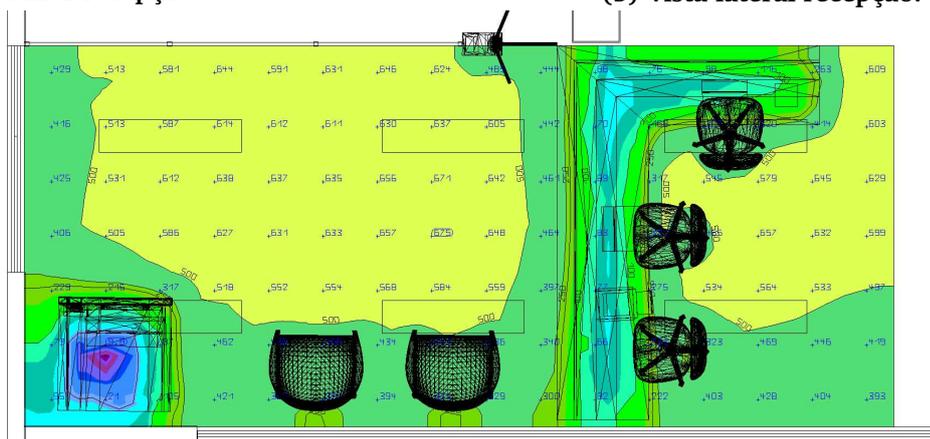
Fonte: Autor.

Figura 23 – (a) Vista posterior recepção com luminárias, (b) vista lateral recepção com luminárias e (c) curva isolux recepção.



(a) Vista posterior recepção.

(b) Vista lateral recepção.



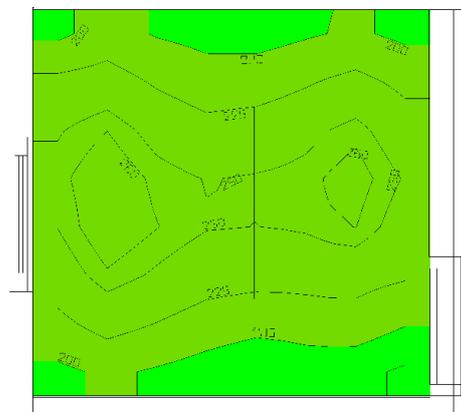
(c) Curva isolux recepção.

Fonte: Autor.

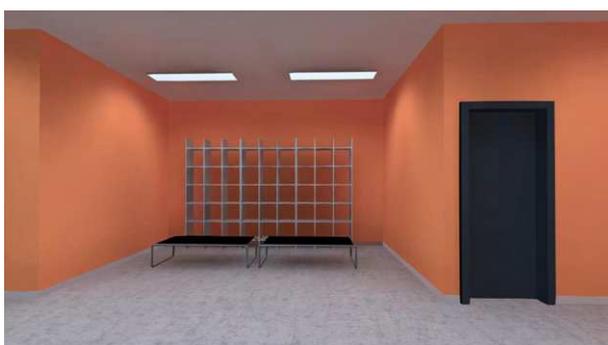
Figura 24 – (a) Vista depósito com luminárias, (b) Curva de Isolux depósito, (c) Vestiário com luminárias e (d) Curva de Isolux vestiário.



(a) Vista depósito.



(b) Curva de Isolux.



(c) Vista vestiário.



(d) Curva de Isolux.

Fonte: Autor.

5.3.3 Salão de ginástica e escadas

No salão principal de ginástica, foram utilizadas 48 luminárias modelo FAA20-E228 Figura 25(a) de 62 W e 3950 lm e 12 luminárias modelo PD64-P11100830PT Figura 25(b) de 10 W e 990 lm ambas da lumicenter. Na escada, utilizou-se 4 luminárias luminárias modelo PD64-P11100830PT do tipo pendente, está luminária é equipada com o exclusivo módulo de LED LightIS, ideal para complementar a decoração de diversos ambientes de residências, hotéis, bares e restaurantes.

Figura 25 – (a) Luminária FAA20-E228 e (b) Luminária PD64-P11100830PT.



(a) Luminária FAA20-E228.



(b) Luminária PD64-P11100830PT.

Fonte: Catálogo Lumicenter, 2021.

Tabela 16 – Valores calculados pelo DIALux para salão de ginástica e escadas.

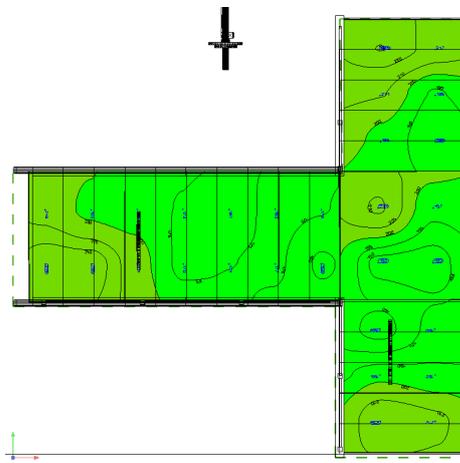
Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Salão de Ginástica	492	0,68
Escada	196	0,87

Fonte: Autor.

Figura 26 – (a) Vista escadas com luminárias e (b) Curva de Isolux escadas.



(a) Vista escadas com luminárias.



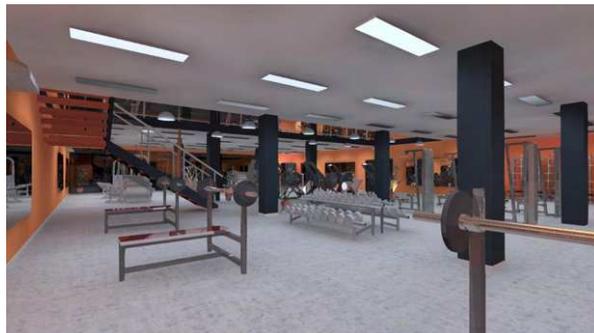
(b) Curva de Isolux escadas.

Fonte: Autor.

Figura 27 – (a),(b),(c) e (d) Vista salão de ginástica com luminárias.



(a) Visão lateral direita.



(b) Visão lateral esquerda.



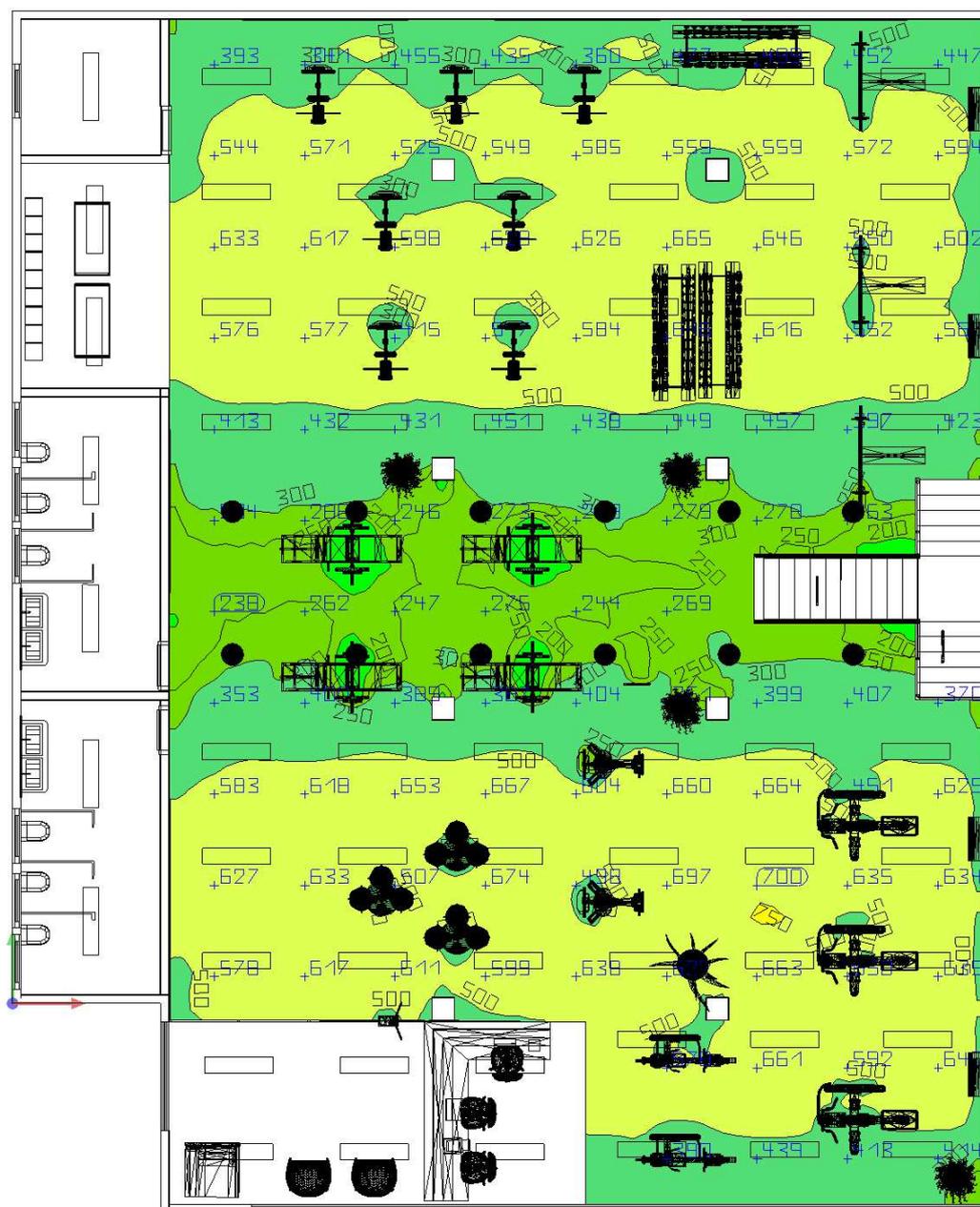
(c)



(d)

Fonte: Autor.

Figura 28 – Curva de Isolux salão de ginástica.



Fonte: Autor.

5.3.4 Piso superior Salão de cárdio, pilates e depósito

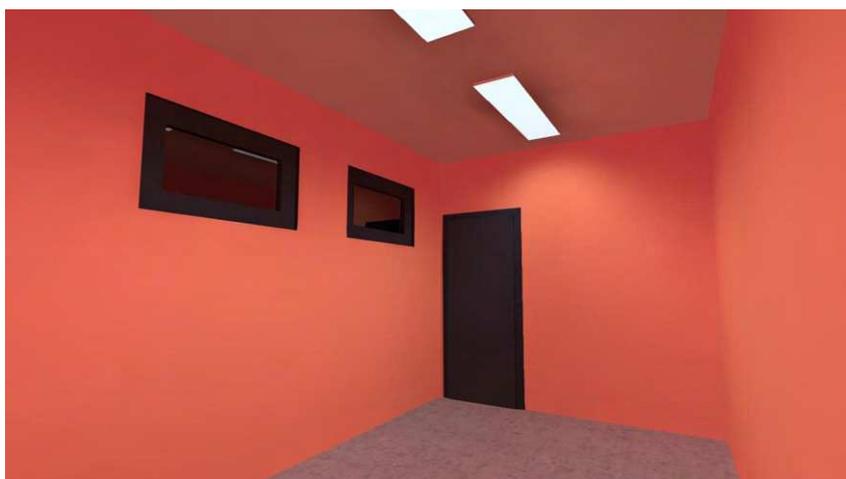
No piso superior, foram utilizadas 20 luminárias modelo FAA20-E228 (Figura 25a) de 62 W e 3950 lm e 7 luminárias modelo PD64-P11100830PT (Figura 25b), utilizando -se LED LightIS de 10 W e 990 lm da lumicenter. No salão de pilates, utilizou-se 21 luminárias modelo FAA20-E228 de 62 W e 3950 lm e 8 luminárias modelo PD64-P11100830PT de 10 W 990 lm. No depósito, utilizou-se 2 luminárias modelo FAA20-E228 de 62 W e 3950 lm. Os valores calculados pelo Dialux estão contidos na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores calculados pelo DIALux para salão de cárdio, pilates e depósito superior.

Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Cárdio	352	0,76
Pilates	453	0,83
Depósito superior	274	0,68

Fonte: Autor.

Figura 29 – (a) Vista do depósito de equipamentos com luminárias e sua (b) Curva de distribuição Isolux.



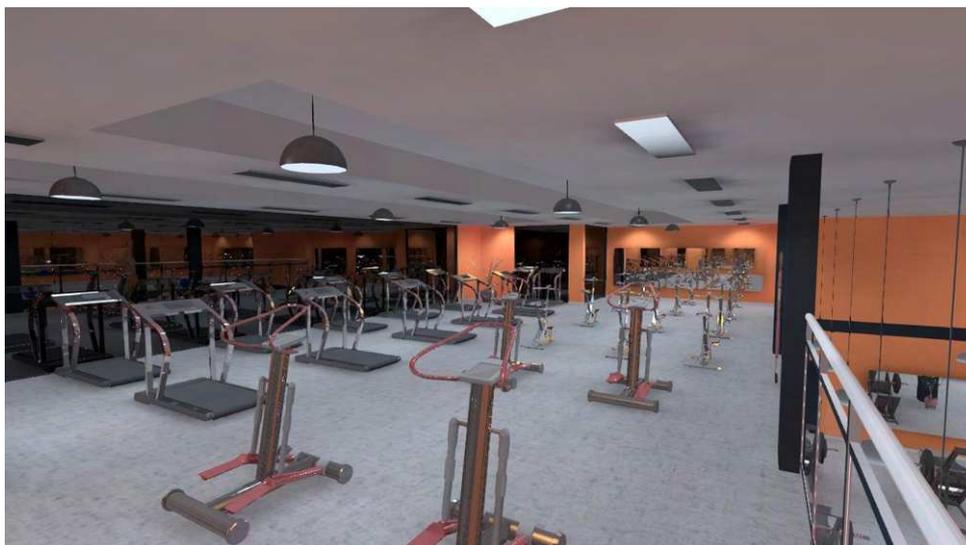
(a) Depósito de equipamentos.



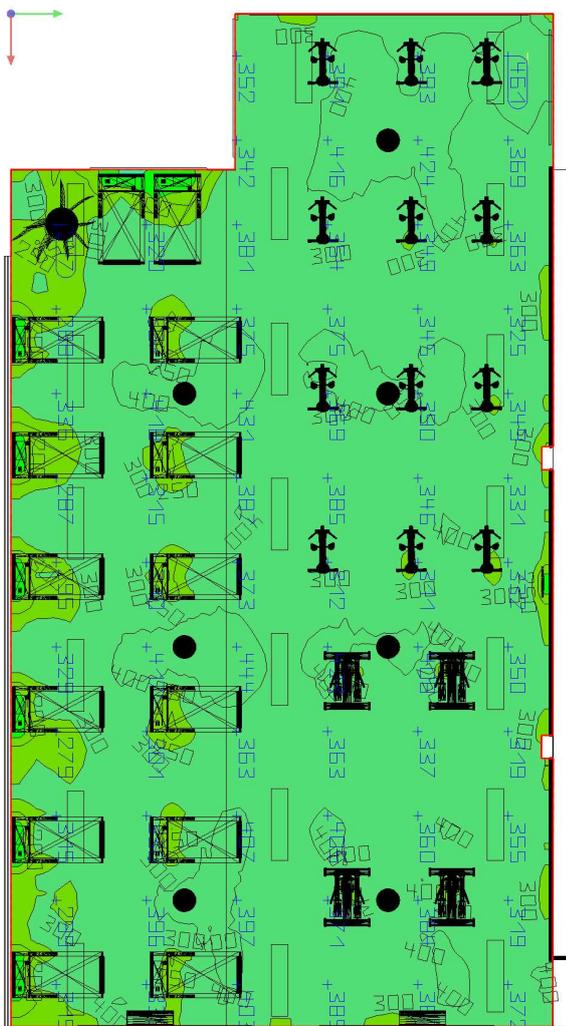
(b) Curva de distribuição Isolux.

Fonte: Autor.

Figura 30 – (a) Vista salão de cárdio com luminárias e sua respectiva (b) Curva de Isolux.



(a) Vista salão de cárdio com luminárias.



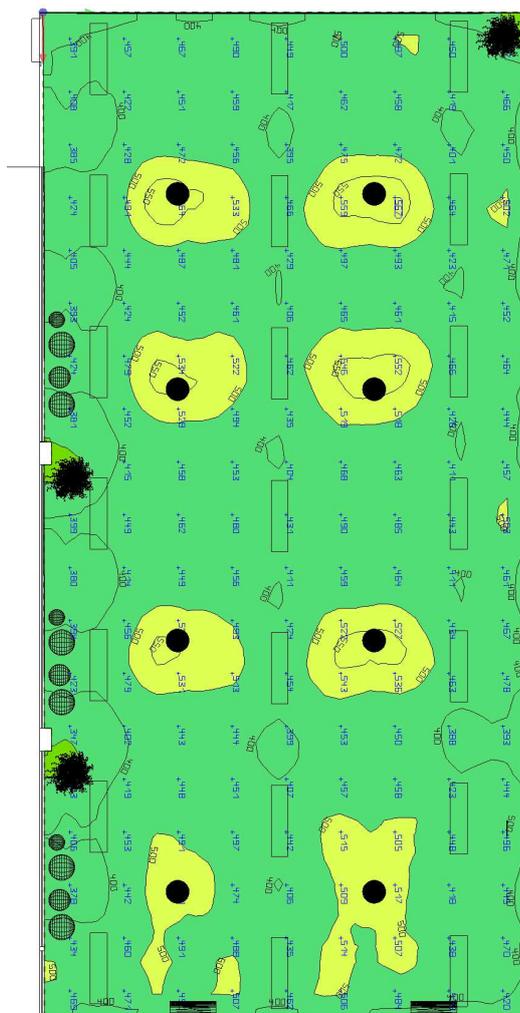
(b) Curva de Isolux.

Fonte: Autor.

Figura 31 – (a) Vista salão de pilates com luminárias e sua respectiva (b) Curva de Isolux.



(a) Vista salão de pilates.



(b) Curva de Isolux.

Fonte: Autor.

5.3.5 Resultado de iluminância e uniformidade Dialux

O resultado de todos os cálculos do Dialux em cada ambiente, seguem descritos na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores calculados pelo DIALux para cada ambiente.

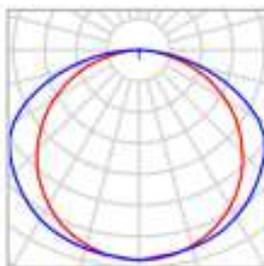
Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Banheiro feminino	230	0,86
Banheiro masculino	209	0,81
Recepção	434	0,83
Vestiário	362	0,75
Depósito térreo	228	0,77
Salão de Ginástica	492	0,68
Escada	196	0,87
Cárdio	352	0,76
Pilates	453	0,83
Depósito Superior	274	0,68

Fonte: Autor.

Como foi possível observar, a uniformidade está acima dos solicitados pela norma, com exceção do depósito superior e o salão principal de Ginástica que ficou em 0,68. Visto que para o salão, o ambiente ser muito amplo – Sendo o maior de todos – com $288,92m^2$, está sujeito a várias interferências dos objetos ali localizados, além da transição entre áreas como o acesso ao piso superior através das escadas.

No caso do depósito superior, este ambiente possui portas e janelas que possivelmente interferiram na uniformidade devido a características de seus materiais, como foi visto na Figura 29b pela linha de distribuição. Para as características de iluminância todos os ambientes atingiram seus respectivos requisitos.

A efeito de comparação, foram substituídas as luminárias FAA20-E228 pelas CCN20-S2TLED120 da Lumicenter, para a sala de Pilates. Para este tipo de luminária utilizou-se duas lâmpadas tuboled de 20W, base G13, de 1200mm de comprimento. De acordo com a fabricante este tipo de luminária é indicada para uso em ambientes onde não há necessidade de controle de ofuscamento. A curva de distribuição da luminária segue na Figura 32.

Figura 32 – Curva de distribuição luminosa luminária CCN20-S2TLED120 da Lumicenter.

Fonte: Catálogo Lumicenter, 2021.

Na Figura 33, são apresentadas as luminárias utilizadas.

Figura 33 – (a) Luminária CCN20-S2TLED120 e (b) Luminária PD64-P11100830PT.**(a) Luminária CCN20-S2TLED120.**

Fonte: Catálogo Lumicenter, 2021.

**(b) Luminária PD64-P11100830PT.**

Neste ambiente, utilizou-se ao todo 21 luminárias modelo CCN20-S2TLED120 e 08 D64-P11100830PT. Os valores calculados pelo Dialux estão contidos na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores calculados pelo DIALux pilates com as luminárias CCN20-S2TLED120 e D64-P11100830PT.

Ambiente	Iluminância (lux)	Uniformidade
Pilates	370	0,48

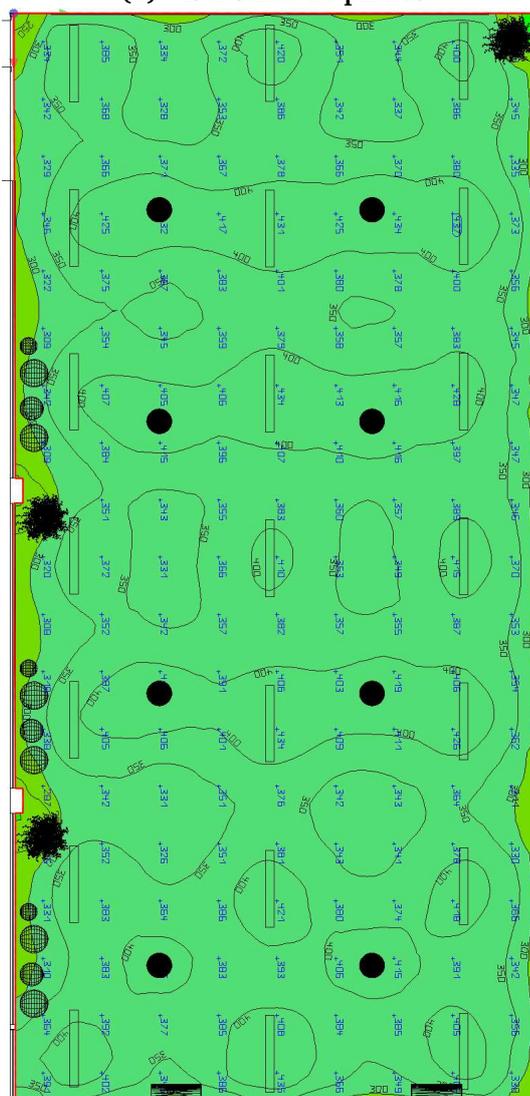
Fonte: Autor.

Como é possível verificar na Tabela 19, os valores de iluminância calculados foram de 370 lux e uniformidade 0,48. Na Figura 34(b), observa-se a nova curva de isolux. Em comparação com os valores anteriormente calculados, pode-se dizer que este tipo de luminária não é adequada tendo em vista que, apesar dos valores de iluminância estarem em conformidade com a NBR 8995 o valor da uniformidade não atende ao mínimo esperado.

Figura 34 – (a) Vista salão de pilates com luminárias do tipo LED e sua respectiva (b) Curva de Isolux.



(a) Vista salão de pilates.



(b) Curva de Isolux.
Fonte: Autor.

6 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA

Para avaliar o consumo de energia, conhecendo-se a potência instalada de cada luminária, determinou-se do gasto mensal consumido pela academia. Calculou-se, levando em consideração a pior hipótese, quando todas as lâmpadas estarão ligadas, em média 9 horas por dia, de segunda a sábado totalizando, 24 dias por mês, o consumo total das lâmpadas está apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Consumo mensal das lâmpadas.

Ambiente	Potência Total (kW)	Consumo de energia mensal (kW.h)
Banheiro feminino	0,124	26,784
Banheiro masculino	0,124	26,784
Recepção	0,372	80,352
Vestiário	0,124	26,784
Depósito térreo	0,620	133,92
Salão de ginástica	3,096	668,736
Escada	0,400	86,4
Cárdio	1,310	282,96
Pilates	1,382	298,512
Depósito superior	0,124	26,784
Total	7,676	1658,016

Fonte: Autor.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso permitiu o estudo aprofundado de Iluminação de ambientes, este tema foi abordado nas disciplinas de Instalações Elétricas e no Laboratório de Instalações Elétricas, constatando ser extremamente útil a utilização do *software* Dialux Evo na elaboração do projeto Luminotécnico.

A utilização do *software*, possibilitou uma economia de tempo, em virtude da complexidade de objetos em cada ambiente, além de apresentar uma qualidade do projeto final.

Os cálculos de iluminância e uniformidade, apresentados pelo Dialux, apesar de sujeitos a algumas incertezas por conta das inúmeras variáveis que ali foram inseridas (portas, janelas, cor, textura, objetos, etc.), seguem em conformidade com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

Com as curvas de isolux, foi possível verificar a importância de alguns fatores desde número de lâmpadas dispostas no ambiente até índices de uniformidade para qualificar o grau de comprometimento com as necessidades do ambiente feita pelo projetista.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 5413: Iluminância de interiores**. 1992.
- _____. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.
- COSTA, E. G. D. **Guia de Laboratório – Instalações Elétricas**. UFCG. Campina Grande, 2019.
- CREDER, Helio. **Instalações elétricas**. 16 ed. Rio de Janeiro: Editora: LTC, 2016.
- FILHO, João Mamede. **Instalações elétricas industriais**. 9 Ed. Rio de Janeiro: Editora: LTC, 2017.
- FIORINI, Thiago Morais Sirio. **Projeto de iluminação de ambientes internos especiais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.
- GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. 1997.
- GRADO, Iluminação. **Conceitos Básicos de Iluminação**. <<https://www.gradoiluminacao.com.br/artigos/conceitos-basicos-de-iluminacao/>> acesso em: 30 de maio, 2021.
- GURGEL, Miriam. **Projetando espaços: design de interiores**. São Paulo: Editora: Senac, 2020.
- IESNA. **Lighting handbook: Reference & Application**. Illuminating Engineering Society of North America. New York. 8th edition, 1995.
- INNES, Malcolm. **Iluminação no design de interiores**. Editorial Gustavo Gili, 2014.
- MOREIRA, Vinícius de Araújo. **Iluminação e fotometria: teoria e aplicação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.
- OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. <http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/ Disciplinas/IEL/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/Manual_Luminotecnico_-_parte_01.pdf> acesso em: 13 de maio, 2021.
- PEREIRA, Fernando O. **Iluminação Natural**. Notas de Aula e apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, 1996.
- PHILIPS. **Manual de Iluminação**. 3. ed. Eindhoven, Holanda: Philips Lighting Division, 1981.
- SANTAMOURIS, Matheos et al. **Energy conservation and retrofitting potential in Hellenic hotels**. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1996.
- SCOPACASA, Vicente A. **Introdução à Tecnologia de LED**. *Revista LA_PRO*, São Paulo, ed, v. 1, p. 5–10, 2008.