

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUIUTABA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
INSTITUTO SUPERIOR DE ENSINO E PESQUISA DE ITUIUTABA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**UM ESTUDO SOBRE A MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DO
BLOCO C DA FEIT-UEMG**

DENISE MARTINS GONÇALVES
JOSÉ ARISTEU DE ARAÚJO JÚNIOR

Ituiutaba

2013

DENISE MARTINS GONÇALVES
JOSÉ ARISTEU DE ARAÚJO JÚNIOR

**UM ESTUDO SOBRE A MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DO
BLOCO C DA FEIT-UEMG**

Trabalho de Final de conclusão submetido ao
Curso de Engenharia Elétrica da Fundação
Educativa de Ituiutaba, Campus associado à
UEMG – Universidade do Estado de Minas
Gerais, Campus de Ituiutaba como requisito
parcial para obtenção de título de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Walteno Martins
Parreira Júnior

Ituiutaba
2013

DENISE MARTINS GONÇALVES
JOSÉ ARISTEU DE ARAÚJO JÚNIOR

**UM ESTUDO SOBRE A MODERNIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO DO
BLOCO C DA FEIT-UEMG**

Trabalho de Final de conclusão submetido ao
Curso de Engenharia Elétrica da Fundação
Educação de Ituiutaba, Campus associado à
UEMG – Universidade do Estado de Minas
Gerais, Campus de Ituiutaba como requisito
parcial para obtenção de título de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Walteno Martins
Parreira Júnior

Banca Examinadora:

Ituiutaba, 20 de dezembro de 2013.

Prof. Me. Walteno Martins Parreira Júnior

Prof. Esp. Clayton Pires Barbosa

Prof. Msc Paulo César Peixoto

Ituiutaba
2013

Aos nossos pais, Degmar Martins Gonçalves e José Aristeu de Araújo,
às nossas mães, Eliene da Silva e Neide Sueli de Araújo.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que de uma forma ou de outra nos apoiaram e incentivaram na elaboração deste trabalho. A Deus, que nos conferiu o dom da vida e da existência. Aos nossos pais, mães, irmãos e avós, por todo o apoio e incentivo não só durante esses anos em que estivemos no curso de graduação em Engenharia Elétrica, mas durante a vida toda. Ao Prof. Me. Walteno Martins Parreira Júnior, nosso orientador, por todo o apoio e ajuda necessária. Não podemos deixar de agradecer a todos os professores do curso de Engenharia Elétrica da Fundação Educacional de Ituiutaba, que sem dúvida, foram importantes na nossa formação como Engenheiros Eletricistas. Queremos agradecer também aos amigos, colegas da faculdade, que sempre estiveram presentes nos bons momentos e também nos momentos difíceis. Nossos agradecimentos aos professores que aceitaram fazer parte da banca pelas contribuições dadas ao trabalho. Enfim, agradecemos a todos que estiveram ao nosso lado, que nos deram força para chegarmos até aqui.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de modernização do sistema de iluminação do Bloco C da Fundação Educacional de Ituiutaba (FEIT). A ideia é um novo dimensionamento através do software Dialux 4.11 substituindo as lâmpadas fluorescentes tubulares (LFTs) presentes atualmente, por lâmpadas tubulares a LED, visando diminuição do consumo de energia elétrica através de uma elevada eficácia luminosa e longa vida útil na substituição dos sistemas de iluminação sem qualquer alteração na instalação elétrica, e melhor enquadramento às normas brasileiras. No estudo do investimento foram analisados todos os gastos para a instalação do novo sistema e com o estudo da viabilidade deste empreendimento.

Palavras Chave: Eficiência Energética; lâmpadas de LED; viabilidade.

ABSTRACT

This work presents a study of modernization of the illumination system Bloco C of Fundação Educacional de Ituiutaba (FEIT). The idea is a new sizing through software Dialux 4.11 substituting fluorescent lamps (LFTs) currently presents for the LED tube lamps, aiming to reduce the consumption of electric energy through an useful high luminous efficacy and long life in replacement of the systems illumination without changing the electrical installation, and best fit to Brazilian standards. The study analyzed the investment was all spending for the installation of the new system, with the feasibility study of this project.

Keywords: Energy Efficiency; LED bulbs; viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo Luminoso.....	21
Figura 2 - Intensidade Luminosa.....	21
Figura 3– Curva de Distribuição Luminosa (Isocandela).....	22
Figura 4 – Iluminância.....	23
Figura 5 – Luminância.....	23
Figura 6 – Efeito da TCC nas cores dos objetos iluminados.....	24
Figura 7 – Depreciação do fluxo luminoso	26
Figura 8 - Lâmpada a Vapor de Sódio.....	30
Figura 9 – Zona Vazia.	32
Figura 10 – Polarização Direta.	32
Figura 11– Polarização Inversa.	33
Figura 12 – LED.....	34
Figura 13 - Estrutura da luminária.....	37
Figura 14 - Luminária com aletas.....	38
Figura 15 – Luminária Direta.	39
Figura 16 – Luminária Semi-direta.	39
Figura 17 – Luminária Direta-indireta.....	40
Figura 18 – Luminária Indireta.....	40
Figura 19 – Luminária Semi–indireta.....	41
Figura 20 – Luminária Difusa.	41
Figura 21- Fator de depreciação.	43
Figura 22 - Representação 3D.	46
Figura 23 - Mapa de curvas Isolux.	47
Figura 24 - Mapa gama de cinzentos das iluminâncias.....	47
Figura 25 - Mapas de valores de iluminâncias.	48
Figura 26 – Mapa de Curva Sala 05	54
Figura 27 – Representação da Sala 05.....	55
Figura 28 – Mapa de Curva Sala 02	55
Figura 29 – Representação da Sala 02.....	56
Figura 30 - Mapa de Curva Corredor	56
Figura 31 - Representação do Corredor.....	57

Figura 32 - Mapa de Curva Saguão	57
Figura 33 - Representação do Saguão	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Índice de iluminação dos pavimentos.....	49
Quadro 2 – Sistema de Iluminação Atual – Pavimento 01.....	50
Quadro 3 – Sistema de Iluminação Atual – Pavimento 02.....	50
Quadro 4 – Sistema de Iluminação Atual – Pavimento 03.....	51
Quadro 5 – Iluminância média da Sala 05.....	55
Quadro 6 - Iluminância média da Sala 02	56
Quadro 7 - Iluminância média do Corredor.....	57
Quadro 8 - Iluminância média do Corredor.....	58
Quadro 9 - Sistema de Iluminação - Pavimento 1	58
Quadro 10 - Sistema de Iluminação - Pavimento 2.....	59
Quadro 11 - Sistema de Iluminação - Pavimento 3	60
Quadro 12 - Investimento Inicial dos pavimentos.....	61
Quadro 13 - Análise da Demanda Energética e do Consumo	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A – Área iluminada

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CD – Candelas

E – Iluminância

F_d – Fator de Depreciação

FEIT – Fundação Educacional de Ituiutaba

F_u - Determinação do fator de utilização

H - Horas

I – Intensidade Luminosa

IRC – Índice de Reprodução de Cores

ISO - International Standardization Organization

K – Determinação do Índice do Local

k – Índice do Recinto

L – Luminância

LED – Light Emitting Diode

LFT – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

LM – Lúmens

LX – Lux

MG – Minas Gerais

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SSL – Solid State Lighting

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TCC - Temperatura de Cor Correlata

UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais

V - Volt

W - Watt

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

ϕ – Fluxo Luminoso

η_w - Eficiência Luminosa de uma lâmpada

η_L - Eficiência da luminária

ϕ_T - Determinação do Fluxo Total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Identificação do Problema	15
1.2.	Objetivos	15
1.3.	Justificativa do Trabalho	16
1.4.	Organização do Trabalho	17
1.5.	Metodologia	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.	Eficiência Energética	18
2.2.	Eficiência Energética em edifícios	19
2.1.1	Medidas para melhorar a eficiência de equipamentos de iluminação	19
2.3.	Sistemas de Iluminação	21
2.3.1.	Fluxo Luminoso	21
2.3.2.	Intensidade Luminosa (I)	21
2.3.3.	Curva de Distribuição Luminosa	22
2.3.4.	Iluminância (E)	22
2.3.4.	Luminância (L)	23
2.3.5.	Eficiência Luminosa de uma lâmpada (η_w)	24
2.3.6.	Temperatura de Cor Correlata (TCC)	24
2.3.7.	Índice de Reprodução de Cores (IRC)	25
2.3.8.	Vida Útil de uma lâmpada	25
2.3.9.	Eficiência de luminária (η_L)	25
2.3.10.	Fator ou Índice de Reflexão	25
2.3.11.	Depreciação do Fluxo Luminoso	26
2.3.12.	Equipamentos	26
2.3.12.1.	Lâmpadas	26
2.3.12.2.	Reatores	35
2.3.12.3.	Luminárias	36
2.3.13.	Cálculo de Iluminação	42
2.3.14.	Programas computacionais	45
2.3.14.1.	DIALUX	46
3.	ESTUDO DE CASO	49
3.1.	Situação atual do sistema de iluminação	49
3.2.1.	Sistema de Iluminação Atual	49
3.2.1.	Proposta para o Sistema de Iluminação	52
3.2.2.	Avaliação e Investimento Inicial	61
3.2.3.	Análise da Demanda Energética e do Consumo	61
3.2.4.	Avaliação do retorno do projeto de Eficiência Energética	62
4.	CONCLUSÃO	63
5.	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICES	66
	ANEXOS	68

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a crescente escassez de recursos naturais são desafios importantes do nosso tempo para produção de energia. Além disso, muitos países do mundo dependem da importação de energia na Europa, por exemplo, 50% da energia consumida atualmente é importada podendo atingir os 70% em 2030. O uso eficiente e sustentável da energia é por isso uma necessidade urgente em total cumprimento ao lema criado pela Comissão Europeia “menos é mais” (ABB).

Novas legislações são criadas no mundo todo a fim de promover o uso de tecnologias que visam à eficiência energética. No Brasil, o PROCEL promove a eficiência energética através de programas e investimentos neste setor. Na Europa foi criada a norma EN 15232 (“Eficiência energética nos edifícios – Impacto da Automatização de Edifícios, controles de gestão dos Edifícios”) norma que descreve os métodos para a avaliação da influência da automatização e gestão técnica de edifícios no seu consumo de energia.

Soluções eficientes de energia, além de serem essenciais em termos econômicos e ecológicos, são capazes de obter economias superiores a 10% nos gastos. (ABB, 2012). Nos edifícios são empregadas soluções eficientes para a obtenção de aperfeiçoar os sistemas, sendo utilizada apenas a energia quando é realmente necessário, aplicando a energia utilizada com a maior eficiência possível.

A ideia deste trabalho se destina a criar uma solução de eficiência energética com a finalidade de obter a diminuição da demanda de energia elétrica e consequentemente diminuir os gastos com energia do Bloco C, localizado no campus da FEIT (Fundação Educacional de Ituiutaba).

Como se trata de um prédio comercial, a maior parte de seu consumo energético está concentrada no seu sistema de iluminação. Sendo assim, o foco deste trabalho consiste na modernização deste sistema, trocando as lâmpadas por modelos mais econômicos e adequando também à quantidade de fluxo luminoso necessário nos ambientes.

1.1. Identificação do Problema

Dentro da área da iluminação e com a crescente preocupação relativa à diminuição do consumo energético, vem ocorrendo a situação de aumentar a quantidade de lâmpadas economizadoras que surgiram, como substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes. Por sua vez, estes novos tipos de lâmpadas têm um grande consumo de energia elétrica, pouco tempo de vida útil, um baixo fluxo luminoso, alto fator de potência, grande perda ôhmica, tem emissão de raios ultravioleta e infravermelho, não podendo ter o descarte em qualquer local por conter mercúrio, além de poderem ser quebradas facilmente e contaminar a região.

Neste cenário, pensou-se na ideia de analisar o bloco C, da Fundação Educacional de Ituiutaba - MG, onde são ministradas as aulas do curso de Engenharia Elétrica. (APÊNDICE 2).

Analisando o sistema de iluminação através do conhecimento prévio obtido nas disciplinas do curso, foi identificado o alto consumo de energia nesta edificação, gerado pelas lâmpadas fluorescente presentes por todo o prédio. Além disso, foi constatado através da análise da iluminância das áreas, o déficit na iluminação, podendo gerar desconforto nas atividades desenvolvidas neste local.

1.2. Objetivos

O trabalho se destina a estudar uma solução de eficiência energética a fim de obter a diminuição da demanda de energia elétrica, reduzindo assim gastos sem comprometer a iluminância das dependências, além de fazer uma análise da viabilidade deste novo empreendimento.

Objetivos parciais

- a) Analisar a situação atual da edificação quanto a iluminação;
- b) Identificar as condições ideais das instalações quanto a iluminação;
- c) Analisar as possíveis soluções;

- d) Propor uma solução viável para a iluminação melhorando a eficiência energética.

1.3. Justificativa do Trabalho

A crescente atenção que tem sido dada à área da iluminação, tem se refletido em medidas tomadas no âmbito da redução dos consumos energéticos e desta forma, à preservação do Planeta. É sabido que atualmente a maioria da produção de energia elétrica em todo o mundo provém de grandes centrais termoelétricas, através da queima de combustíveis fósseis, a maioria deles não é renovável, e como tal estima-se que estes recursos venham a extinguir-se num futuro não muito distante. Além disso, a instabilidade dos preços desses combustíveis pode ser um grande problema para a economia dos países e dos seus cidadãos. Por outro lado, e não menos importante, a queima desses combustíveis contribui em muito para a poluição do planeta, assim como tantos outros problemas ambientais, derivados da sua extração e transporte.

Atualmente, com a grande demanda de energia elétrica, as termelétricas são acionadas com o objetivo de complementar o funcionamento das hidrelétricas que sofrem o risco de colapso, quando os reservatórios estão baixos por falta de chuvas com o objetivo de evitar o racionamento de energia, como foi feito no ano de 2002. Com as térmicas ligadas a todo vapor, quem paga são os consumidores, pois o seu custo de acionamento é muito maior comparado aos das hidrelétricas.

O uso racional da energia elétrica nos dias atuais é de fundamental importância para o crescimento sustentável de uma nação. Hoje, mais do que nunca, este recurso é tido não somente como difícil de ser obtido, mas também sua disponibilidade é de grande valor estratégico para o planejamento e desenvolvimento socioeconômico de um país.

As principais cargas do sistema elétrico é a iluminação artificial, podendo ser observada como tendo razoável participação na demanda e consumo de energia elétrica. Desta forma, o potencial de economia de energia proveniente da efficientização e modernização dos sistemas de iluminação se tornam evidentes.

No presente trabalho, é estudado e proposto a viabilidade da troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs. Sendo uma alternativa para menor consumo energético e melhor adequamento às normas de iluminação. Essa proposta foi

escolhida devido à grande importância que a eficiência energética representa para a economia de um país.

1.4. Organização do Trabalho

O trabalho será organizado em quatro capítulos, a saber:

O primeiro capítulo consiste na contextualização e o trabalho através da introdução e dos objetivos do estudo desenvolvido.

No segundo capítulo tratou-se a respeito da fundamentação teórica utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, tendo como apoio o referencial bibliográfico, onde são abordados os assuntos relacionados ao tema.

No terceiro capítulo é o estudo de caso, onde são apresentados os resultados referentes à modernização da iluminação do Bloco C.

No quarto capítulo, apresentam as considerações finais e as conclusões do trabalho.

O quinto capítulo, apresentam as referências bibliográficas.

1.5. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido através de pesquisa bibliográfica que forneceu o conhecimento necessário quanto à iluminação, eficiência energética e as possíveis soluções de melhorias para as edificações.

Após, foi feita uma análise dos índices de iluminância do bloco através de dados obtidos pela norma vigente, com um luxímetro, instrumento este utilizado para medir o nível de lux do local.

Depois do dimensionamento do novo sistema de iluminação, utilizando lâmpadas de LED, foi feita uma análise da viabilidade deste novo sistema, através do estudo da diminuição do consumo de energia obtido e dos gastos com a implementação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Eficiência Energética

A eficiência energética é uma atividade que procura aperfeiçoar o uso de fontes de energia, ou seja, é a utilização racional de energia promovendo a mesma quantidade de valor energético.

O conceito de eficiência energética está ligado à minimização de perdas na conversão de energia primária em energia útil. As perdas ocorrem para qualquer tipo de energia, seja térmica, mecânica ou elétrica (NUNES, 2010).

O Consumo de energia pela população mundial teve uma evolução descontrolada durante todo o século passado, que refletiu em previsões catastróficas para este século se os hábitos não mudarem a favor da racionalização do uso de recursos naturais. As visíveis mudanças climáticas e as demandas cada vez maiores de energia para suprir a evolução tecnológica contribuíram para o nascimento da eficiência energética (NUNES, 2010).

A Eficiência Energética começou a ganhar destaque a partir da primeira grande crise do petróleo nos anos setenta, em que a maioria dos países utilizava os combustíveis fósseis como principal matriz energética. Quando o preço do petróleo aumentou, o preço da energia também aumentou, fazendo com que se pensasse melhor antes de utilizar a energia elétrica. Além disso, depois de alguns anos a preocupação também passou a ser o meio ambiente. Foi quando ganharam mais destaques assuntos como o Aquecimento Global e as mudanças climáticas. Para poder diminuir a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) jogado na atmosfera seria necessária uma melhor utilização da energia produzida (NUNES, 2010).

De acordo com Martins:

A mais convincente vantagem da eficiência energética é a de que ela é quase sempre mais barata que a produção de energia. É claro que o investimento em tecnologia eficiente para vários usos-finais requererá também maiores gastos de capital e que sistemas e equipamentos eficientes são, geralmente, mais caros que as tecnologias que substituem. Entretanto, o custo de conservar 1 kWh é, de modo geral, mais barato que sua produção. Além disso, em muitas aplicações, o custo da eficiência energética corresponde a apenas uma pequena parcela dos custos da produção de energia. Tradicionalmente, esses custos são contabilizados por agentes diferentes, sendo ora debitados ao consumidor, à companhia de energia ou ao próprio governo. (MARTINS, 1999)

2.2. Eficiência Energética em edifícios

Os edifícios são responsáveis pelo menos por 40% da energia utilizada na maioria dos países. O cenário absoluto está a crescer fortemente, como é exemplo o desenvolvimento rápido de construção em países como a China e a Índia. É essencial agir agora, pois os edifícios podem dar uma grande contribuição para a regressão das alterações climáticas e utilização energética (WBCSD, 2009).

Segundo WBCSD - World Business Council for Sustainable Development (2009), existem três grandes abordagens para a neutralidade energética:

- Reduzir a procura de energia nos edifícios utilizando, por exemplo, equipamentos que sejam mais eficientes.
- Produção local de energia a partir de fontes renováveis.
- Partilhar energia criando edifícios que possam produzir um excesso de energia para alimentar uma rede inteligente de infraestruturas.

A eficiência em edifícios é capaz de proporcionar consideráveis reduções no consumo de energia, gerando lucro nestas instalações.

Como exemplos de ações governamentais em eficiência energética, pode-se destacar segundo WBCSD (2009):

- Medidas para melhorar a eficiência de equipamentos de iluminação.
- Rotulagem obrigatória de energia para aparelhos domésticos, divulgando e atualizando a rotulagem de energia voluntária.
- “Passaporte de energia” na construção requerida pela Diretiva de Desempenho Energético em Edifícios.
- Normas de eficiência e novas obrigações na rotulagem energética para novos aparelhos e equipamentos.
- Standards de topo de eficiência para equipamentos.
- Programas de eficiência energética para empresas de serviços.

2.1.1 Medidas para melhorar a eficiência de equipamentos de iluminação

O aparecimento de programas de incentivo à eficiência energética, como o PROCEL edifica, veio incentivar o surgimento de projetos que visem à eficiência energética de novos edifícios.

O engenheiro eletricitista em seu projeto de iluminação deve conciliar eficiência energética e qualidade de iluminação.

A substituição de equipamentos ineficientes e a instalação de sistemas de controle de iluminação artificial através do uso de iluminação natural ou sensores de presença são alternativas eficientes a serem consideradas nos sistemas existentes.

O conceito de eficiência energética em iluminação torna-se insignificante se o sistema de iluminação não fornecer as condições adequadas à realização das diversas tarefas por parte dos seus utilizadores.

Na sua forma mais simples, um sistema de iluminação energeticamente eficiente pode ser obtido através da minimização do tempo de utilização e a potência instalada. A minimização da potência instalada é obtida através da utilização de equipamentos de iluminação artificial energeticamente eficiente como lâmpadas com alta eficiência luminosa (lâmpadas de LED), luminárias reflexivas, balastros com elevado fator de potência e circuitos de distribuição de controle.

A iluminância necessária para a realização da tarefa visual e o nível desejado de melhoria, bem como as metas de redução de consumo de eletricidade e os custos, determinarão as medidas a serem adotadas.

Para se efetuar uma estimativa do consumo total de eletricidade destinada ao sistema de iluminação, as exigências de cada tarefa deverão ser consideradas, ou seja, diferentes ambientes com diferentes atividades visuais necessitam de iluminâncias diferentes. Os espaços deverão ser iluminados de acordo com esta necessidade (LOUÇANO, 2009).

Deve-se atentar também, ao fato de que alguns ambientes deverão ser iluminados durante todo o tempo de utilização, enquanto outros necessitam de iluminação apenas em certos períodos do dia. Estes detalhes deverão ser conhecidos para que se possam adaptar soluções que permitam uma utilização mais eficiente do sistema de iluminação artificial (LOUÇANO, 2009).

E necessário o dimensionamento de sistemas de iluminação eficientes, e a sensibilidade de projetistas de dimensionar sistemas de iluminação energeticamente eficientes que satisfaçam as restrições impostas pelos novos regulamentos e mantenham os padrões de qualidade recomendados.

2.3. Sistemas de Iluminação

Luminotécnica é o estudo das técnicas das fontes de iluminação artificial, através da energia elétrica, com a finalidade de promover a quantidade e a qualidade mínimas necessárias para cada ocasião.

Para o uso da luminotécnica é necessário compreender as grandezas que fundamentam este estudo, além das características das fontes luminosas e do local a ser projetado. As definições a seguir foram baseadas em ITAIM (2008):

2.3.1. Fluxo Luminoso

É medido em lúmens (lm) e consiste na radiação luminosa total, sensível ao olho humano, emitida por uma fonte de luz em todas as direções (Figura 1). Pode ser interpretado como potência luminosa de uma fonte.

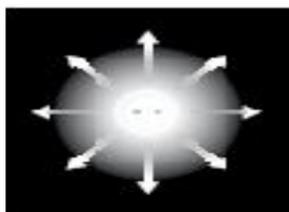
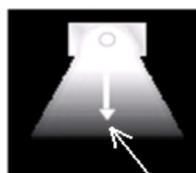


Figura 1 - Fluxo Luminoso
Fonte: ITAIM (2008).

2.3.2. Intensidade Luminosa (I)

É medida em candelas (cd) e corresponde a radiação emitida pela fonte, em uma determinada direção, que chega a um anteparo pontual (Figura 2).



Objeto pontual

Figura 2 - Intensidade Luminosa
Fonte: adaptado de ITAIM (2008).

Exemplificada, normalmente, através da radiação luminosa emitida por uma estrela, que ilumina um planeta. Neste caso, o planeta é equivalente a um anteparo pontual, devido às dimensões envolvidas.

2.3.3. Curva de Distribuição Luminosa

É a representação vetorial da Intensidade Luminosa em todos os ângulos de emissão de uma fonte de luz, normalmente apresentada na escala cd para um fluxo de 1.000 lúmens (Figura 3). Sua representação está em função da intensidade luminosa e do Ângulo Gama, que o ângulo formado entre a reta normal à luminária e a direção desejada, seja transversal ou na longitudinal. Também chamada de Curva de Isocandela. Esta curva é indispensável à parte inicial do projeto, pois a partir da forma da curva é selecionado o tipo de luminária a ser utilizada.

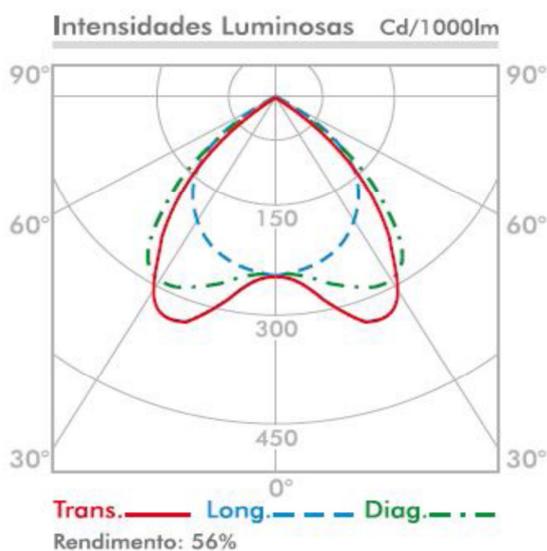


Figura 3– Curva de Distribuição Luminosa (Isocandela).
Fonte: ITAIM (2008).

2.3.4. Iluminância (E)

É medida em lux (lx), que corresponde a lúmen/m^2 e definida como a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este fluxo incide (Figura 4). Devem ser respeitados os níveis fornecidos para cada ambiente na norma NBR ISO/CIE 8995 (ANEXO 2), para que seja possível a realização de uma atividade ou a permanência de

um indivíduo com conforto e segurança. A unidade lux é compreendida como o iluminamento ocasionado pela incidência uniforme de 1 lúmen em uma superfície com área de 1m², a um metro de distância da fonte.

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Onde:

ϕ = fluxo luminoso e

A = área iluminada.



Figura 4 – Iluminância
Fonte: ITAIM (2008).

Para exemplificar melhor a ideia de iluminância, têm-se algumas quantificações a seguir:

- Dia ensolarado de verão em local aberto \approx 100.000 lux.
- Boa iluminação de rua \approx 20 a 40 lux.
- - Noite de lua cheia \approx 0,25 lux.
- - Luz de estrelas \approx 0,01 lux.

2.3.4. Luminância (L)

É medida em candela/m² (cd/m²) e corresponde a quantidade de radiação luminosa que é refletida por uma superfície iluminada (Figura 5).



Figura 5 – Luminância.
Fonte: ITAIM (2008).

Mais precisamente, é a principal característica perceptível ao observador, porém depende do tipo e do material desta superfície.

“Luminância liga-se com contrastes, pois a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo e, assim, a leitura ‘cansa menos os olhos’.” (COSTA, 2006, p.231, destaque do autor).

2.3.5. Eficiência Luminosa de uma lâmpada (η_w)

Calculada em lúmen por Watt (lm/W) é a relação entre a potência elétrica consumida pela lâmpada e o fluxo luminoso emitido pela mesma. Determina a capacidade da lâmpada de transformar energia elétrica em luz.

2.3.6. Temperatura de Cor Correlata (TCC)

Quanto maior for a temperatura, maior será a energia produzida, sendo que a cor da luz está diretamente relacionada com a temperatura de trabalho (mais fria quanto maior for a temperatura). Um aspecto importante é que a temperatura da cor não pode ser empregada isoladamente e sim em conjunto com o IRC, mas independentemente deste aspecto, aceita-se que cores quentes vão até 3.000K, as cores neutras situam-se entre 3.000 e 4.000K e as cores frias acima deste último valor.

Uma iluminação usando cores quentes realça os vermelhos e seus derivados, ao passo que as cores frias, os azuis e seus derivados próximos. As cores neutras ficam entre as duas e são, em geral, empregadas em ambientes comerciais (Figura 6).



Figura 6 – Efeito da TCC nas cores dos objetos iluminados.
Fonte: OSRAM (2008).

2.3.7. Índice de Reprodução de Cores (IRC)

Este índice quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz. A capacidade da lâmpada de reproduzir bem as cores está relacionada à qualidade do espectro de luz emitido. Quanto mais completo o espectro, melhor a reprodução das cores, e é independente da sua temperatura de cor (K). O padrão de comparação deste índice é a luz solar, quando o sol encontra-se no equinócio.

2.3.8. Vida Útil de uma lâmpada

É medida em horas (h) e é definida pela média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada.

2.3.9. Eficiência de luminária (η_L)

É a razão entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, e o fluxo luminoso total emitido pela lâmpada que está dentro da luminária. Na prática, quantifica as perdas que a luminária representa para o fluxo luminoso emitido pela lâmpada, seja por absorção, reflexões indesejadas ou alguma outra característica da luminária.

2.3.10. Fator ou Índice de Reflexão

É a relação entre o fluxo luminoso refletido e o incidente. Mostra o quão eficiente uma superfície é capaz de refletir ou, caso a reflexão não seja o objetivo, quantifica as perdas que esta superfície oferece ao fluxo luminoso.

2.3.11. Depreciação do Fluxo Luminoso

É a redução do fluxo luminoso emitido por uma lâmpada ao longo de sua vida, em função do próprio desgaste e do acúmulo de sedimentos tanto na superfície interna, quanto na externa de uma lâmpada (Figura 7).



Figura 7 – Depreciação do fluxo luminoso
Fonte: elaboração do autor

Dentre estas características apresentadas, as mais relevantes para este trabalho são: eficiência luminosa da lâmpada, eficiência da luminária, vida útil da lâmpada, índice de reprodução de cores, curva de distribuição luminosa e fluxo luminoso. Os demais são considerados auxiliares para desenvolvimento do projeto.

2.3.12. Equipamentos

A eficiência em iluminação depende de cada item utilizado, desde a tomada de energia até a superfície a ser iluminada. Os principais componentes são as lâmpadas, luminárias e os reatores e ignitores (NOGUEIRA, 2011).

2.3.12.1. Lâmpadas

De acordo com NOGUEIRA (2011), as lâmpadas são equipamentos responsáveis pela emissão de luz, seja qual for a natureza desta emissão, aquecimento ou descarga elétrica. Os tipos de lâmpadas existentes são:

- **Incandescente**

Funcionam basicamente através da passagem da corrente elétrica por um filamento de tungstênio, que pode ser tanto corrente alternada quanto corrente contínua. A passagem desta corrente aquece o filamento e com isso o filamento emite luz.

A incandescente tradicional possui o filamento de tungstênio que fica imerso no vácuo para evitar a oxidação e o rompimento do mesmo, conseguindo uma vida útil de 1.000 h. Com TCC agradável, na faixa de 2.700 K (amarelada) e IRC de 100%, tem atualmente sua aplicação predominantemente residencial, possui a menor eficiência luminosa, até 15 lm/W.

- **Halógenas**

São incrementadas com gases halógenos que, dentro do bulbo, se combinam com as partículas de tungstênio desprendidas do filamento. Essa combinação, associada à corrente térmica dentro da lâmpada, faz com que as partículas se depositem de volta no filamento, criando assim o ciclo regenerativo do halogênio.

Possui eficiência entre 15 lm/W a 25 lm/W e IRC próximo ao da incandescente. Amplamente utilizada na área automotiva e possui vida útil de 3.000 h .

- **Lâmpadas de descarga**

Nas lâmpadas de descarga a luz é produzida pela radiação emitida pela descarga elétrica em uma mistura gasosa composta de gases inertes e vapores metálicos. A mistura gasosa encontra-se confinada em um invólucro translúcido (tubo de descarga) em cujas extremidades encontram-se inseridos eletrodos (hastes metálicas ou filamentos) que formam a interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação.

A descarga é formada por elétrons emitidos pelo eletrodo negativo que são acelerados por uma diferença de potencial externa em direção ao eletrodo positivo, gerando colisões com os átomos do vapor metálico. Neste caso o composto metálico responsável pela emissão de radiação encontra-se em estado sólido ou líquido, na temperatura ambiente, e o gás inerte no interior do tubo é isolante.

Portanto, inicialmente é necessário um processo de ignição para o rompimento da rigidez dielétrica da coluna gasosa. O calor gerado pela descarga através do gás inerte nos instantes iniciais após a partida da lâmpada vaporiza o composto metálico.

Após a partida, a lâmpada de descarga se comporta como um curto-circuito, permitindo indefinidamente a elevação da corrente elétrica em seu interior. Para evitar que esta elevada corrente elétrica danifique a lâmpada são adicionadas impedâncias, com a função de limitar e estabilizar a corrente no ponto de operação nominal da lâmpada. O elemento de limitação e estabilização é denominado reator.

Temos então a corrente elétrica passando pelo reator, que impõe dentro da lâmpada uma tensão elevada, permitindo que o sistema dê a partida e após isto, sua impedância em série, tem a função de limitar a corrente de operação. As lâmpadas de descarga podem ser classificadas pela pressão no interior do tubo com a lâmpada em operação, em lâmpadas de descarga de baixa pressão e lâmpadas de descarga de alta pressão. As primeiras possuem partida rápida, quase instantânea, já as demais necessitam de um tempo de 2 a 15 minutos até alcançarem seu fluxo máximo.

- **Fluorescentes tubulares**

Consideradas de baixa pressão, de alta eficiência e longa durabilidade, emitem luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás, descarga essa quase que totalmente formada por radiação ultravioleta (invisível ao olho humano) que, por sua vez, será convertida em luz visível pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. Possui temperatura de cor entre 4.000 K e 6.100 K e eficiência energética entre 70 lm/W e 100 lm/W, com IRC de 85%. São usadas em áreas comerciais e industriais, normalmente em ambientes internos.

- **Fluorescentes compactas**

Possuem a tecnologia e as características de uma lâmpada fluorescente tubular, porém com tamanho reduzido e reator já incorporado. São utilizadas para as mais variadas atividades, seja comercial, institucional ou residencial. Possui as vantagens de

durar 10 vezes mais e consumir 80% menos de energia e menor emissão térmica ao ambiente.

- **Multivapores metálicos**

São lâmpadas que combinam iodetos metálicos, com altíssima eficiência energética, excelente reprodução de cor, longa durabilidade e baixa carga térmica.

Sua luz é muito branca e brilhante. Tem versões desde baixa potência, a partir de 70 W, até alta potência, em torno de 2.000 W, com IRC de até 90%, eficiência energética de até 100 lm/W e temperatura de cor de 4.000 a 6.000 K. Podem ser encontradas em formato ovoide ou tubular, com diversos tipos de base, tornando versátil sua utilização. Apresentando alta eficiência, ótima reprodução de cor, vida útil longa e baixa carga térmica, possuem custo elevado e são classificadas como lâmpadas de descarga de alta pressão.

- **Vapor de mercúrio**

Com aparência branca azulada, eficiência de até 55 lm/W e potências de 80 a 1.000 W e vida útil de 10.000 h, são normalmente utilizadas em vias públicas e áreas industriais.

- **Lâmpadas mistas**

Compostas por um filamento e um tubo de descarga, funcionam em tensão de rede de 220 V, sem uso de reator. Representam a alternativa convencional de maior eficiência para substituição de lâmpadas incandescentes, porém só possuem vida útil de 10.000h e custo elevado. Foram desenvolvidas, mais precisamente, para substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio.

- **Vapor de sódio de alta pressão**

Emitem uma luz monocromática dourada, sem ofuscamento, e são apresentadas como a melhor solução para iluminação em locais onde existe névoa ou bruma. Com eficiência energética de até 130 lm/W, de longa durabilidade, é uma das mais econômicas fontes de luz. Com formatos tubulares e ovoides, são utilizadas em locais onde a reprodução de cor não é um fator importante, como em estradas, portos, ferrovias e estacionamentos.

As lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão tem um tubo de descarga de óxido de alumínio encapsulado por um bulbo oval de vidro (Figura 8). O tubo de descarga é preenchido por uma porção de sódio-mercúrio, além de uma mistura gasosa de neônio e argônio, utilizada para a partida.

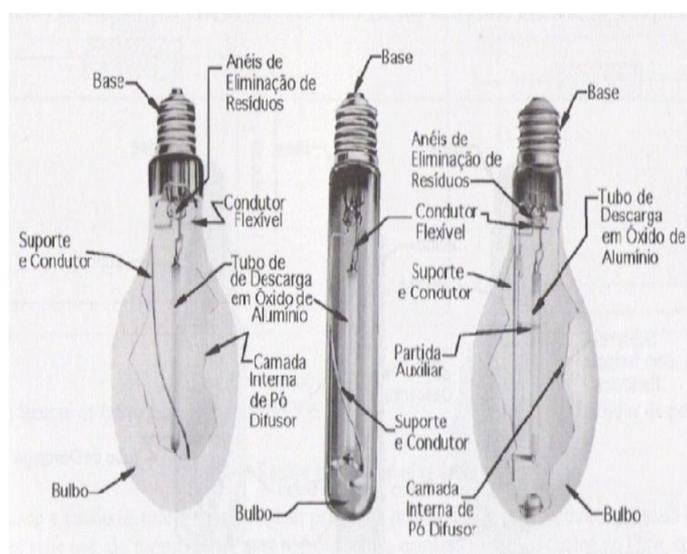


Figura 8 - Lâmpada a Vapor de Sódio.
Fonte: MAMEDE FILHO (2002).

As lâmpadas de sódio são produzidas para substituir as lâmpadas vapor de mercúrio diretamente nas potências equivalentes, devendo-se observar que estas substituições necessitam, também, da troca do reator, para um correto funcionamento e ignição estabilizados.

O IRC das lâmpadas a vapor de sódio é 23, a temperatura de cor é em torno de 2.000 K e a vida útil varia de 16.000 a 24.000 h, necessitando de reator de boa qualidade para operação e ignição confiável, não devendo ser utilizadas com circuitos capacitivos. São usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis, aeroportos, etc. Não é

recomendada a prolongada exposição de pessoas a este tipo de iluminação, pois provoca um desconforto visual, devido a sua tonalidade, além de não ser recomendada a utilização onde há a necessidade de reconhecimento de cores, dado o seu baixo IRC.

- **LED**

Os fundamentos teóricos do LED foram baseados em HARRIS (2010). Os Diodos Emissores de Luz – LEDs – são tipos específicos de diodos, também formados por uma junção tipo P-N, porém, quando atravessada por uma corrente elétrica, em um determinado sentido, emite luz.

O diodo é o tipo mais simples de semicondutor, um material com capacidade variável de conduzir corrente elétrica. A maioria dos semicondutores é feita de um material condutor com adição de átomos de outro material. Este processo é chamado de dopagem.

No caso dos LEDs, o material condutor é normalmente arsênio de alumínio e gálio, que não apresenta elétrons livre para conduzir corrente elétrica.

Quando dopado, seu equilíbrio é alterado, adicionando elétrons livres ou criando buracos onde os elétrons podem saltar. Quaisquer destas adições podem tornar o material um melhor condutor.

Um semicondutor com elétrons extras é chamado material tipo-N, enquanto que o semicondutor com buracos extras é chamado material tipo-P. O diodo é composto por uma seção de material tipo-N ligado a uma seção de material tipo-P, com eletrodos em cada extremidade. Essa combinação conduz eletricidade apenas em um sentido.

Quando os terminais do diodo não estão sob nenhuma tensão, os elétrons do material tipo-N preenchem os buracos do material tipo-P ao longo da junção entre as camadas, formando uma zona vazia, que volta ao seu estado isolante original (Figura 9).

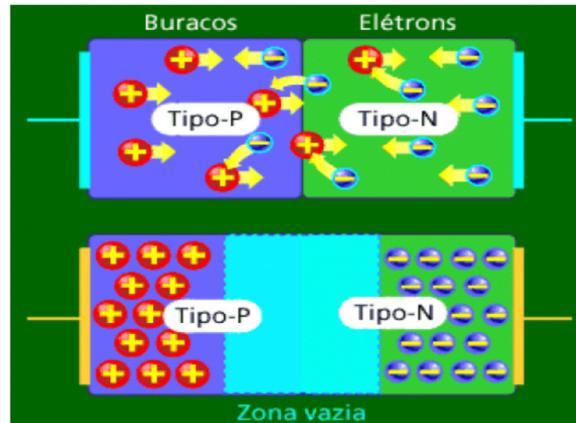


Figura 9 – Zona Vazia.
Fonte: HARRIS (2010).

Quando o lado tipo-N do diodo é conectado ao terminal negativo do circuito e o lado tipo-P ao terminal positivo (polarização direta) os elétrons livres no material tipo-N são repelidos pelo eletrodo negativo e atraídos para o eletrodo positivo. Os buracos no material tipo-P se movem no sentido contrário. Quando a diferença de potencial entre os eletrodos é alta o suficiente, os elétrons na zona vazia são retirados de seus buracos e começam a se mover livremente de novo. A zona vazia desaparece e a carga se move através do diodo e tem-se a circulação de corrente elétrica no diodo (Figura 10).

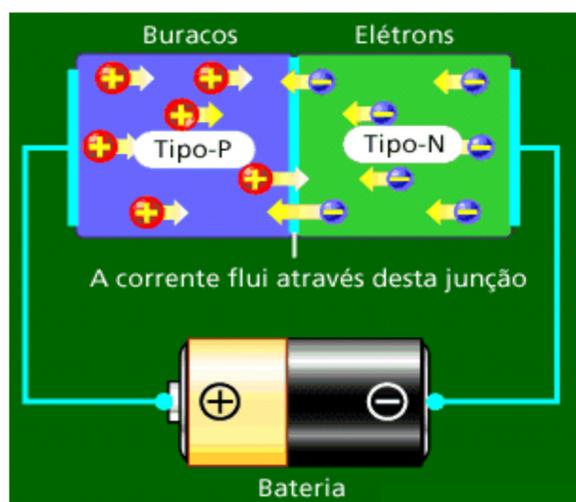


Figura 10 – Polarização Direta.
Fonte: HARRIS (2010).

Quando o diodo é polarizado inversamente, os elétrons no material tipo-N são atraídos para o eletrodo positivo e os buracos do material tipo-P são atraídos para o eletrodo negativo e a corrente não flui (Figura 11).

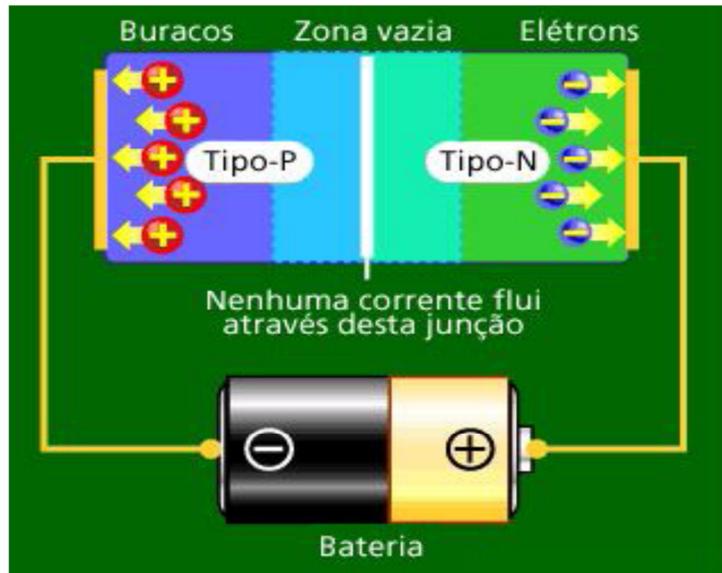


Figura 11– Polarização Inversa.
Fonte: HARRIS (2010).

O movimento dos elétrons livres através de um diodo faz com que eles caiam em buracos de uma camada tipo-P, o que envolve uma queda energética do elétron que libera um fóton com uma determinada frequência de vibração. Isso acontece em qualquer diodo, mas é possível ver os fótons apenas quando o diodo é composto por um material específico, o que força o elétron a saltar a uma determinada distância cuja frequência do fóton é visível ao olho humano.

Os LEDs são fabricados especialmente para liberar um grande número de fótons para fora. Além disso, eles são montados em bulbos de plásticos que concentram a luz em uma direção específica, conforme a necessidade, dispensando o uso de luminárias e evitando as perdas que esta representaria, conforme a Figura 12.

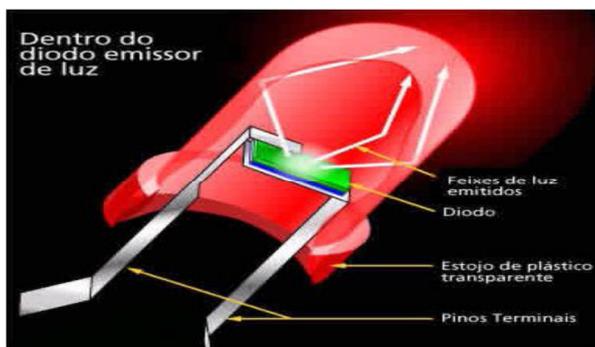


Figura 12 – LED.
Fonte: HARRIS (2010).

A principal vantagem dos LEDs é sua eficiência, pois em uma lâmpada incandescente convencional, o processo de produção de luz envolve a geração de calor, desperdiçando grande quantidade de energia na forma térmica.

Por propagar menos calor do que a tecnologia convencional hoje em uso, o LED não atrai insetos, que em alguns locais corresponde a uma verdadeira praga, já que as lâmpadas das ruas ficam tomadas por nuvens de insetos que prejudicam a luminosidade.

Inicialmente, os LEDs foram utilizados apenas em painéis e equipamentos eletrônicos, com a função de sinalização, pois sua baixa potência, cerca de alguns mW limitava sua aplicabilidade.

Com a evolução da tecnologia os LEDs ganharam espaço significativo na iluminação. Sua grande potência, eficiência, capacidade de direcionamento do fluxo e tamanho permitiram uma infinidade de novas aplicações, que vão desde as sinalizações em painéis até a iluminação de vias públicas e indústrias, passando por aplicações na medicina, em televisores e em aplicações automotivas.

Possui vida útil de 70.000 h, superior a todas as outras lâmpadas, e o IRC, dependendo do material empregado na construção, varia de 30% a 95%, mas normalmente encontrado acima de 80%. Encontrado com amplas opções de temperatura de cor, desde o infravermelho ao ultravioleta, pode ser utilizado para alterar a cor de um objeto na iluminação decorativa.

Até recentemente os LEDs possuíam custo de produção muito alto para serem usados na maioria das aplicações de iluminação porque eles são feitos com material semicondutor avançado. Entretanto, o preço de dispositivos semicondutores tem caído na última década, tornando os LEDs uma opção de iluminação mais viável para uma grande variedade de situações. Embora inicialmente eles possam ser mais caros que as luzes incandescentes, seu custo mais baixo, o longo tempo de uso e o baixo custo com manutenção e operação, fazem deles uma melhor aquisição.

Com a utilização do LED na iluminação, a troca da fonte de energia elétrica por módulos autônomos de energia alternativa com acumuladores também se tornou mais viável, uma vez que a potência consumida pelo LED é muito inferior a das lâmpadas convencionais.

2.3.12.2. Reatores

De acordo com NOGUEIRA (2011), reatores são equipamentos auxiliares que servem para dar partida e estabilizar o funcionamento da lâmpada, sem cintilação em qualquer situação, garantindo a vida útil de ambos, rendimento de luz adequado e a segurança da instalação. Supondo que a lâmpada desse a partida sem reator, sua operação exigiria elevados níveis de corrente, até que sua deterioração impedisse seu funcionamento, visto que a lâmpada se comporta como curto-circuito neste momento. A corrente ideal para o funcionamento da lâmpada é limitada pelo reator.

Por questões de eficiência, a estabilização da corrente em sistemas de corrente alternada não é feita com resistores, utilizando-se no seu lugar uma associação de elementos reativos (capacitores e indutores) para evitar a dissipação desnecessária de potência ativa.

Quando o reator não tem as características elétricas adequadas, ele estabiliza a corrente acima ou abaixo da necessária, causando queima prematura ou baixa emissão de luz, além do superaquecimento que aumenta o consumo, transformando a energia em calor e prejudicando a segurança da instalação (com risco de curtos circuitos e incêndios).

Um reator eletromagnético é formado, basicamente, por uma bobina de fio de cobre enrolada ao redor de um núcleo de material ferromagnético. Para fazer acender a lâmpada, este conjunto é ligado à rede elétrica. Neste momento, começa a circular uma

corrente elétrica nesta bobina do reator e esta passagem de corrente elétrica pela bobina de fio de cobre gera uma perda de energia em forma de calor.

Existem dois tipos de reatores eletromagnéticos: o de partida convencional (com starter) e o de partida rápida.

O funcionamento do reator de partida convencional requer o uso de starter ou interruptor manual para armar o circuito no reator e aquecer os filamentos das lâmpadas. Quando os filamentos estão aquecidos, o starter abre e o reator fornece a corrente adequada de partida. Após esta etapa, limita o fluxo da corrente aos valores corretos para o funcionamento adequado da lâmpada.

Já os de partida rápida fornecem níveis adequados de energia para aquecer continuamente os filamentos das lâmpadas por meio de pequenas bobinas de baixa tensão, reduzindo as exigências de tensão de circuitos abertos para partida e acelerando o intervalo de partida. Normalmente é necessário que o sistema esteja aterrado para que, através do efeito capacitivo entre a lâmpada e a luminária, sejam descarregadas à terra as cargas estáticas que se acumulam ao longo do bulbo da lâmpada fluorescente.

O fator de potência indica o quanto eficientemente a potência será usada, é a razão entre a potência útil, aquela que produz trabalho, e a potência aparente, potência total entregue ao equipamento. Reatores de alto fator de potência requerem baixo nível de corrente no total específico de potência requerida, permitindo a instalação de mais luminárias por circuito e reduzindo os custos de fiação.

Já os reatores de baixo fator de potência, de forma inversa, requerem correntes mais altas. Instalam-se menos luminárias por circuito, resultando na elevação desses custos.

2.3.12.3. Luminárias

Luminárias são aparatos que se prestam a distribuir a luz emitida por uma ou mais lâmpadas, e que contém todos os acessórios necessários para fixá-las, protegê-las e conectá-las ao circuito de alimentação.

- **Carcaça**

Está representada na Figura 13 e tem por finalidade a proteção e a fixação da luminária, além de ser responsável por dissipar o calor produzido pela lâmpada.

Normalmente de alumínio ou ferro, fixa todos os demais itens da luminária. Dependendo da classificação do ambiente, seja externo, interno ou até explosiva, a carcaça recebe reforço estrutural ou um fino acabamento, que contribui para a parte estética do projeto.

- **Difusor e Lente**

Indicado na Figura 13, o difusor evita que a luz seja enviada diretamente da lâmpada para os objetos ou pessoas. Trata-se de uma lente opaca que evita o ofuscamento e protege a lâmpada. Já a lente tem a função apenas de proteger a lâmpada, com a característica de menor interferência possível do fluxo luminoso. Em algumas aplicações encontramos lentes elípticas que têm a função de concentrar ainda mais o fluxo luminoso. Por mais aprimorado que seja, sempre representa uma perda adicional.

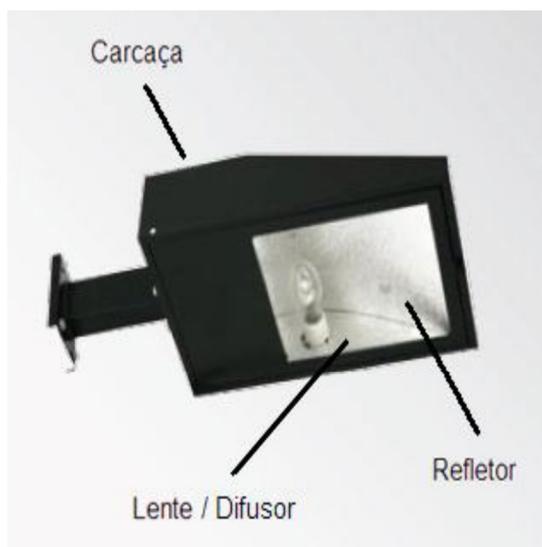


Figura 13 - Estrutura da luminária.
Fonte: ITAIM (2008).

- **Refletor**

Um refletor é uma superfície que existe no interior de uma luminária e que reflete a luz, conforme a Figura 13. Desta forma, a luz é mais bem aproveitada, pois a porção da luz emitida em uma direção não desejada é reorientada para a região desejada. Os refletores podem ser feitos de chapa de alumínio polido ou até mesmo espelho, mas mesmo assim são responsáveis por uma pequena absorção de luz.

- **Aletas**

Consideramos aletas a “grade” posicionada em frente às lâmpadas, no sentido perpendicular a elas, com a função de reduzir a emissão de fluxo luminoso para as laterais da lâmpada, limitando o ângulo de ofuscamento em um ambiente, de forma que evite a incidência direta ao olho humano, mostrado na Figura 14.

Estas, assim como os refletores, podem ser constituídas de vários materiais e com vários tipos de acabamento (alumínio, policarbonato ou aço). O uso de aletas dificulta a manutenção, aumentando o custo de manutenção e de aquisição da luminária.

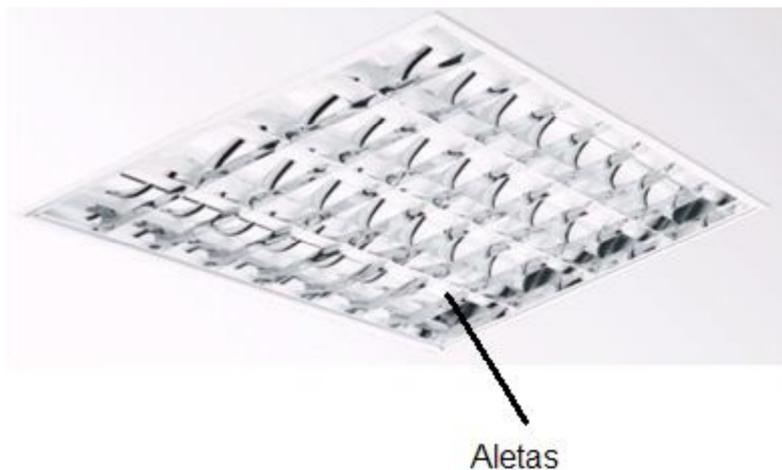


Figura 14 - Luminária com aletas.
Fonte: ITAIM (2008).

As luminárias podem ser classificadas quanto à orientação de saída do fluxo luminoso, tais como:

- **Direta**

Uma iluminação direta produz uma iluminação homogênea no plano de trabalho horizontal, através dos focos de luz produzidos. O ambiente todo fica iluminado e adequado tanto pela orientação como pelo trabalho. Deve considerar, no entanto, se o padrão de sombras na parte superior das paredes irá gerar ou não ruído visual (figura 15).



Figura 15 – Luminária Direta.
Fonte: ITAIM (2008).

- **Semi-direta**

Grande parte do fluxo é orientada direto à superfície e o restante é espalhado para o resto do ambiente (Figura 16).



Figura 16 – Luminária Semi-direta.
Fonte: ITAIM (2008).

- **Direta-indireta**

O fluxo é dividido igualmente entre a superfície objetivo e o restante do ambiente (Figura 17).



Figura 17 – Luminária Direta-indireta.
Fonte: ITAIM (2008).

- **Indireta**

Todo o fluxo é direcionado a um plano, normalmente opaco, e depois refletido à superfície desejada. Não é tão eficiente, mas reduz significativamente o risco de ofuscamento (Figura 18).

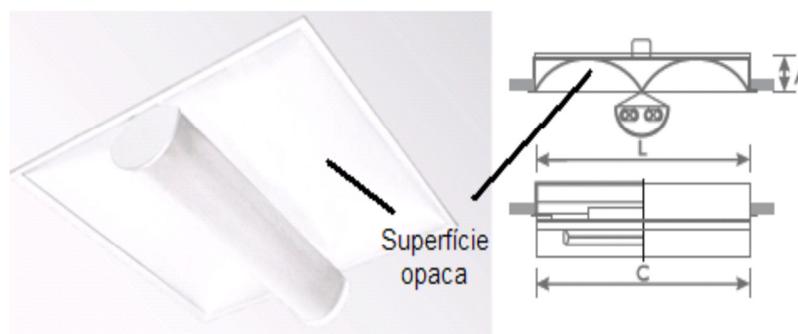


Figura 18 – Luminária Indireta.
Fonte: adaptado de ITAIM (2008).

- **Semi-indireta**

Uma pequena parte do fluxo é orientada ao ambiente e grande parte é direcionada a um plano, que depois refletirá à superfície desejada. Possui um pequeno índice de ofuscamento e não é tão eficiente quanto a semi-direta (Figura 19).



Figura 19 – Luminária Semi-indireta.
Fonte: ITAIM (2008).

- **Difusa**

Uma iluminação difusa através de focos de luz produz uma iluminação homogênea no plano de trabalho horizontal. O ambiente todo fica iluminado e adequado tanto à orientação como ao trabalho. Há que considerar, no entanto, que a parte superior das paredes e o teto serão menos iluminados que o restante do ambiente (figura 20).



Figura 20 – Luminária Difusa.
Fonte: adaptado de ITAIM (2008).

2.3.13. Cálculo de Iluminação

Para se calcular o número de lâmpadas e luminárias, levam-se em conta as dimensões do ambiente e do tipo de ambiente que será iluminado de acordo com a NBR ISO/CIE 8995. Para isso utiliza-se o método dos lúmens que é realizado da seguinte maneira:

- Escolha do nível de Iluminância;
- Determinação do Índice do Local;
- Escolha das lâmpadas e Luminárias;
- Determinação do fator de utilização (Fu);
- Determinação do Fluxo Total,
- Cálculo do número de lâmpadas e Luminárias;
- Distribuição das Luminárias.

2.3.13.1. Escolha do Nível de Iluminância

Cada ambiente necessita de um nível de Iluminância distinto. A NBR ISO/CIE 8995 classifica os ambientes e fornece o valor do nível de iluminância que deve ser escolhido para a realização do projeto.

2.3.13.2. Determinação do Índice do Local (K)

O índice do local é a relação das dimensões do ambiente de trabalho com a altura das luminárias instaladas neste local:

$$k = \frac{C * L}{h * (C + L)}$$

Em que:

K = Índice do Local;

C = Comprimento;

L = Largura;

h = altura da luminária ao plano de trabalho.

2.3.13.3. Escolha das Lâmpadas e Luminárias

Sabendo-se que as lâmpadas possuem características distintas, como fluxo luminoso e eficiência luminosa, é necessário escolher o modelo da lâmpada que será utilizada no projeto bem como o modelo da luminária, que também possui características distintas, como custo de manutenção e estética.

2.3.13.4. Determinação do Fator de Utilização

Fator de utilização é o valor encontrado quando se cruzam as informações de refletância do teto, da parede e do piso com o valor de Índice do Recinto (k). Ele tem a função de indicar a eficiência luminosa do local de estudo incluindo as informações sobre lâmpadas e luminárias (CARVALHO, 2011).

Depois de determinado o Índice do Local (K), e dos valores de refletância, é utilizada a tabela do modelo da luminária escolhida para se achar o Fator de Utilização.

2.3.13.5. Fator de Depreciação

Também conhecido como fator de manutenção, o fator de depreciação é um fator que leva em conta a quantidade de horas de utilização das lâmpadas e luminárias do local até que esta tenha manutenção, levando em consideração também as condições de limpeza do ambiente (Quadro 1).

Ambiente	Período de Manutenção		
	2500	5000	75000
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Figura 21- Fator de depreciação.
Fonte: SATYRO (2013)

2.3.13.6. Determinação do Fluxo Total

Para a determinação do Fluxo Luminoso (Φ), utiliza-se:

$$\Phi = \frac{E * S}{F_U * F_D}$$

Em que:

E – Iluminância média requerida (lux);

S – Área a ser iluminada (m²)

F_U – Fator de Utilização da luminária

F_D – Fator de Depreciação

2.3.13.7. Determinação do número de Lâmpadas e Luminárias

A partir do valor do fluxo encontrado, determinamos o número de lâmpadas dividindo o fluxo total pelo fluxo de cada lâmpada.

$$N_{Lâmpadas} = \frac{\Phi_{Total}}{\Phi_{Lâmpada}}$$

E para se determinar o número de luminárias, basta dividir o número de lâmpadas encontrado pela quantidade de lâmpadas que cada luminária suporta.

$$N_{Luminárias} = \frac{N_{Lâmpadas}}{n}$$

2.3.13.8. Espaçamento entre as Luminárias

O espaçamento entre as luminárias depende de sua altura relativa ao plano de trabalho (altura útil) e da distribuição de luz. Este valor situa-se geralmente, entre 1 a 1,5 vezes o valor da altura útil em ambas as direções, tanto para um lado quanto para o outro. Já o espaçamento entre as paredes deve ser a metade deste valor.

Caso o número de luminárias calculadas resulte em valores incompatíveis com esses limites, os mesmos deverão ser ajustados para não se correr o risco do ambiente ficar com sombras. O ajuste é feito sempre se elevando o número de luminárias ou mudando-se a distribuição das mesmas (MARTINS, 2008).

2.3.14. Programas computacionais

A utilização de ferramentas de simulação para o projeto de iluminação artificial é extremamente importante para auxiliar o projetista no uso eficiente da energia de modo a reduzir custos e proporcionar conforto.

Os programas computacionais fornecem resultados quer quantitativo quer qualitativos do projeto de iluminação. Os aspectos quantitativos referem-se aos valores de iluminância do ambiente, que podem ser comparados com os valores necessários para a atividade desenvolvida, dados pela Norma EN 12464-1.

Os aspectos qualitativos consideram, por sua vez, a percepção visual através da visualização do espaço iluminado por meio de imagens que podem ou não ser realistas.

A simulação computacional auxilia a compreensão de fenômenos físicos da luz, avaliando o impacto decorrente da manipulação dos materiais, das cores, das lâmpadas e luminárias nos níveis de iluminação. Dessa forma, a simulação serve para dar apoio técnico a julgamentos ou suposições feitas durante o processo de projeto.

Os programas computacionais permitem obter uma visualização realista do espaço antes de este ser projetado. É um aliado do projetista luminotécnico, pois permite modificar ambientes, obter representações realistas, resultados numéricos e efetuar cálculos precisos de iluminação em menor tempo e com maior precisão, além de que permitem facilmente determinar a concordância do projeto com a legislação em vigor (LOUÇANO, 2009).

2.3.14.1. DIALUX

A ferramenta DIALUX, foi desenvolvida pela Exportlux. Trata-se de uma das ferramentas mais utilizadas. Esta foi a ferramenta utilizada para efetuar estudos luminotécnicos no âmbito deste trabalho. O programa possui uma interface de rápida aprendizagem, possuindo comandos de fácil assimilação, importa formatos de arquivos gráficos, como o DXF, DWG e 3DS e aceita sólidos e superfícies modeladas em outros programas. A ferramenta utiliza dois algoritmos de iluminação global: o radiosity, usado para modelar a interação da luz entre superfícies difusoras e o Ray Tracing, que é uma técnica que permite adicionar destaque, reflexões e transparências. O programa permite calcular com precisão a maneira como a luz se propaga no ambiente, produzindo imagens realísticas, e tem como principais aplicações a simulação dos efeitos da iluminação e a análise fotométrica quantitativa. Possui ainda uma vasta biblioteca de texturas de materiais, de lâmpadas e de luminárias (LOUÇANO, 2009).

Como limitações, pode destacar-se que para ter a iluminação simulada, o ambiente deve estar totalmente caracterizado, ou seja, com formas, materiais, cores, lâmpadas e luminárias especificadas da mesma forma como será quando executado. Sendo o sistema de iluminação artificial, o sistema que mais energia consome, a simulação pode vir a ser um fator de análise dos projetos dando um enfoque maior para o conforto ambiental numa época onde há uma crescente preocupação com a poupança de energia (LOUÇANO, 2009).

As imagens 23, 24, 25 e 26 mostram alguns dados de saída desta ferramenta, nomeadamente uma representação 3D de um ambiente, o mapa de curvas isolux e o mapa da gama de cinzentos, respectivamente, e um mapa de valores de iluminâncias.



Figura 22 - Representação 3D.
Fonte: DIALUX.

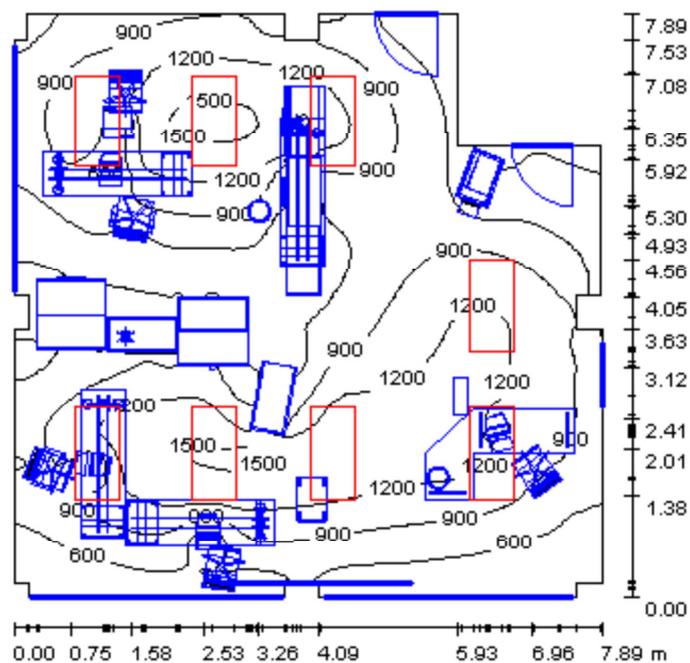


Figura 23 - Mapa de curvas Isolux.
 Fonte: DIALUX.

As curvas Isolux representam o lugar geométrico dos pontos que têm a mesma iluminância.

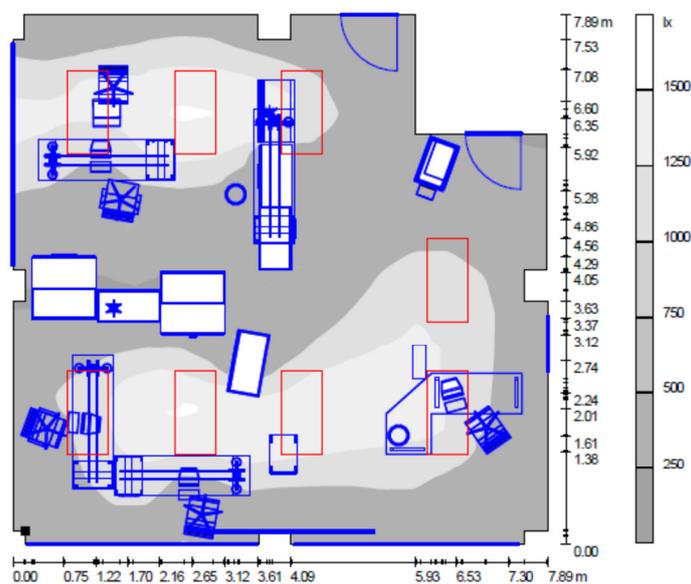


Figura 24 - Mapa gama de cinzentos das iluminâncias.
 Fonte: DIALUX.

O mapa de gama de cinzentos define lugares geométricos onde os níveis de iluminância são iguais, permitindo visualizar a distribuição da iluminação, determinar

se trata de uma distribuição com zonas onde existem reflexos através da existência de extremidades agudas, ou verificar se existe uma iluminação difusa através da existência de zonas circulares (LOUÇANO, 2009).

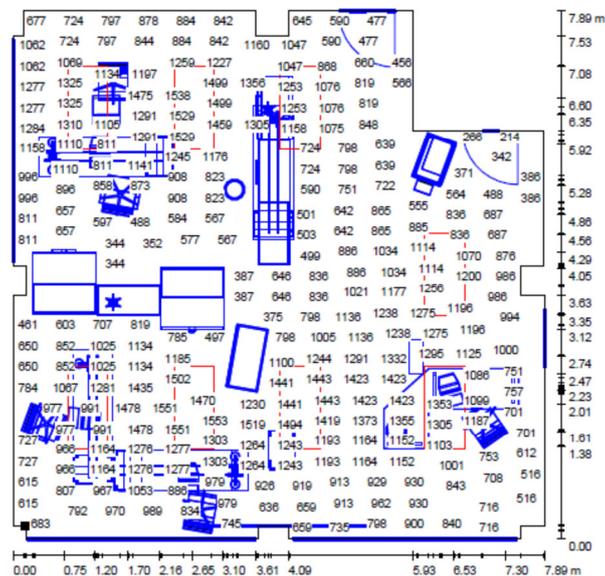


Figura 25 - Mapas de valores de iluminâncias.
Fonte: DIALUX.

Os mapas de valores de iluminâncias são também um excelente dado de saída do Dialux. Este permite com clareza verificar qual o nível exato de iluminância de um determinado ponto da zona de trabalho. O estudo destes três dados de saída permite analisar o ambiente luminoso de uma determinada zona com precisão.

Esta ferramenta foi escolhida para a realização do trabalho apresentado neste relatório, visto se tratar de uma ferramenta de acesso livre, com poderosos outputs, e por ser a ferramenta computacional que utilizam os investigadores do CIEMAT, nomeadamente os da seção da eficiência energética.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Situação atual do sistema de iluminação

O edifício em questão é constituído por salas de aula, corredores, saguão e auditórios, onde estes planos necessitam de índice de iluminância distintos. Este capítulo tem como objetivo destacar as principais características do sistema de iluminação.

A análise foi realizada na maior parte das áreas, constando o déficit deste sistema quanto à iluminação necessária das áreas, e o alto consumo de energia do sistema de iluminação utilizado.

3.2.1. Sistema de Iluminação Atual

Para o levantamento do sistema de iluminação atual, foi necessária a coleta de dados do índice de iluminação dos locais, utilizando o luxímetro, através da norma NBR ISO/CIE 8995 – 1: 2013 (ANEXO I).

Os valores médios da iluminância dos pavimentos obtidos nesta análise, se encontra no Quadro 1.

Quadro 1 - Índice de iluminância dos pavimentos.

Localidade	Iluminância (lux)
Pavimento 01 (sala grande)	256
Pavimento 01 (corredor)	90
Pavimento 01 (saguão)	36
Pavimento 02 (sala grande)	234
Pavimento 02 (corredor)	105
Pavimento 02 (saguão)	52
Pavimento 03 (sala grande)	210
Pavimento 03 (sala pequena)	108
Pavimento 03 (corredor)	112
Pavimento 03 (saguão)	50

Juntamente, foi levantado o modelo da luminária, das lâmpadas e também foi estimado o tempo de uso destes equipamentos.

Todo o ambiente de trabalho é composto por lâmpadas fluorescentes tubulares. A quantidade de luminárias, lâmpadas e seus modelos podem ser observados nos quadros 2, 3 e 4.

Quadro 2 – Sistema de Iluminação Atual – Pavimento 01

Pavimento 01				
Ala 01				
Local	Luminárias	Modelo da Luminária	Lâmpadas	Modelo da Lâmpada
Sala 01	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 02	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 05	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 06	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 09	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 10	06	4x40	24	Tubular T10
Banheiro Masculino	01	1x20	01	Tubular T10
	01	1x40	01	Tubular T10
Banheiro Feminino	01	1x20	01	Tubular T10
	01	1x40	01	Tubular T10
Depósito 01	01	1x20	01	Tubular T10
Depósito 02	01	1x20	01	Tubular T10
Corredor	10	1x40	10	Tubular T10
Ala 02				
Local	Luminárias	Modelo da Luminária	Lâmpadas	Modelo da Lâmpada
Sala 01	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 02	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 05	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 06	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 09	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 10	06	4x40	24	Tubular T10
Banheiro Masculino	02	2x20	04	Tubular T10
Banheiro Feminino	02	2x20	04	Tubular T10
Banheiro*	01	2x20	02	Tubular T10
Depósito 01	01	1x20	01	Tubular T10
Saguão	09	2x40	18	Tubular T10
Corredor	10	1x40	10	Tubular T10

*Banheiro com acessibilidade para portador de deficiência física.

Quadro 3 – Sistema de Iluminação Atual – Pavimento 02

Pavimento 02				
Ala 03				
Local	Luminárias	Modelo da Luminária	Lâmpadas	Modelo da Lâmpada
Coordenação Administração	02	4x40	08	Tubular T10
Sala 02	06	4x40	24	Tubular T10
Coordenação Pedagogia	02	4x40	08	Tubular T10
Sala Informática	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 08	08	4x40	32	Tubular T10
Sala 07 – Studio	04	4x40	16	Tubular T10
Sala 09	04	4x40	16	Tubular T10
Banheiro Masculino	01	1x20	01	Tubular T10
	01	1x40	01	Tubular T10
Banheiro Feminino	01	1x20	01	Tubular T10
	01	1x40	01	Tubular T10
Depósito 01	01	1x20	01	Tubular T10

Depósito 02	01	1x20	01	Tubular T10
Corredor	10	1x40	10	Tubular T10
Ala 04				
Local	Luminárias	Modelo da Luminária	Lâmpadas	Modelo da Lâmpada
Sala 01 – Secretaria C	04	4x40	16	Tubular T10
Auditório C	12	4x40	48	Tubular T10
Sala dos Professores	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 05	02	4x40	08	Tubular T10
Coord. Ciências Biológicas	02	4x40	08	Tubular T10
Coordenação Educação Física	02	4x40	08	Tubular T10
Coordenação Eng. Elétrica	02	4x40	08	Tubular T10
Sala 12	02	4x40	08	Tubular T10
Sala Informática	02	4x40	08	Tubular T10
Coordenação Química	02	4x40	08	Tubular T10
Copa	01	2x20	02	Tubular T10
Banheiro Masculino	01	2x20	02	Tubular T10
Banheiro Feminino	02	2x20	04	Tubular T10
Banheiro*	01	2x20	02	Tubular T10
Saguão	09	2x40	18	Tubular T10
Escada	01	1x40	01	Tubular T10
Corredor	10	1x40	10	Tubular T10

*Banheiro com acessibilidade para portador de deficiência física.

Quadro 4 – Sistema de Iluminação Atual – Pavimento 03

Pavimento 03				
Ala 05				
Local	Luminárias	Modelo da Luminária	Lâmpadas	Modelo da Lâmpada
Sala 01	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 02	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 05	04	2x40	08	Tubular T10
Sala 06	04	2x40	08	Tubular T10
Sala 07	04	2x40	08	Tubular T10
Sala 09	04	2x40	08	Tubular T10
Sala 10	04	2x40	08	Tubular T10
Banheiro Masculino	01	1x20	01	Tubular T10
	01	1x40	01	Tubular T10
Banheiro Feminino	01	1x20	01	Tubular T10
	01	1x40	01	Tubular T10
Depósito 01	01	1x20	01	Tubular T10
Depósito 02	01	1x20	01	Tubular T10
Corredor	10	1x40	10	Tubular T10
Ala 06				
Local	Luminárias	Modelo da Luminária	Lâmpadas	Modelo da Lâmpada
Sala 01	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 02	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 05	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 06	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 09	06	4x40	24	Tubular T10
Sala 10	06	4x40	24	Tubular T10
Banheiro Masculino	01	2x40	02	Tubular T10
Banheiro Feminino	01	2x40	02	Tubular T10
Depósito 01	01	1x20	01	Tubular T10
Depósito 02	01	1x20	01	Tubular T10
Saguão	10	2x40	20	Tubular T10
Corredor	10	1x40	10	Tubular T10

A Análise da Demanda Energética e do Consumo deste sistema encontra-se no quadro 13.

3.2.1. Proposta para o Sistema de Iluminação

A nova proposta para o sistema de iluminação levou em conta o dimensionamento correto dos ambientes, adequando-os às normas, o que não acontece na situação atual, onde o índice de iluminamento se encontra bem abaixo do estabelecido.

Para o dimensionamento foi utilizado o software Dialux 4.11 Light, para simulação das imagens gráficas foi utilizado o software Dialux 4.11, onde para isso foi necessário os seguintes dados: largura, comprimento e altura úteis.

Deve ser considerado também, o valor do fluxo das lâmpadas, a potência das lâmpadas, o fator de utilização das luminárias, montagem das luminárias, o grau de reflexão e a iluminância necessária a partir da norma (Anexo I).

A partir daí, foi feito o dimensionamento das lâmpadas dos cenários analisados, utilizando lâmpadas de LED, buscando assim a diminuição dos gastos energéticos do local, e melhor iluminamento.

A ideia de se utilizar as lâmpadas *LED* é importante, uma vez que estas, apesar do seu investimento inicial elevado, são muito mais econômicas, produzem uma quantidade de fluxo luminoso elevado apesar da baixa potência, além de possuírem uma vida útil maior (normalmente o dobro ou mais das lâmpadas fluorescentes) e também, dispensam o uso de reatores e starters.

As lâmpadas utilizadas foram:

- **Lâmpada 18 W**

Marca: Golden

Tipo lâmpada: Tubular T8

Potência: 18 W

Soquete: G13

Tensão: Bivolt

Cor: Neutra

Vida útil: 40.000 horas

Fluxo luminoso: 1700lm

Comprimento: 119,8 cm

Diâmetro: 31 cm

Peso: 100g (aproximadamente.)

- **Lâmpada 9 W**

Marca: Golden

Tipo de lâmpada: Tubular Led

Potência: 9 W

Soquete: G13

Tensão: bivolt

Cor: branca

Vida útil: 40.000 horas

Fluxo luminoso: 850lm

Comprimento: 5,9 cm

Largura: 3,1 cm

Diâmetro: 3,1 cm

Analisando a estrutura da edificação, chegou-se a conclusão da necessidade de se dimensionar o novo sistema, apenas para algumas áreas, devido a constatação das semelhanças entre elas, e a partir daí fazer uma generalização para todo o bloco.

Foi analisado que a edificação possui salas de aula de dimensões 5,85 x 5,8m e 8,85 x 5,8m, corredores de dimensões 30,27 x 2,95m, saguão de dimensões 14,85 x 12,25m, todos com a altura de 2,95m. Foi feita a simulação destas áreas, considerando que valerá para todas as outras áreas semelhantes. Após a simulação foi obtido um relatório do novo sistema dado pelo software, onde os dados deste, considerados de importância na nossa análise são: o mapa da curva de distribuição da iluminância no plano de trabalho (figuras 27, 29, 31 e 33) e a representação gráfica do ambiente em 3D da distribuição da luz (figuras 28,30, 32 e 34). Foi montado um quadro (quadros 5, 6, 7,8) com os dados do relatório, onde mostra os valores da iluminância média do plano de trabalho de cada uma destas áreas analisadas.

- Sala de aula de dimensões 5,85 x 5,8 metros.

A sala utilizada como exemplo foi a número 05, localizada na ALA 05 no terceiro pavimento.

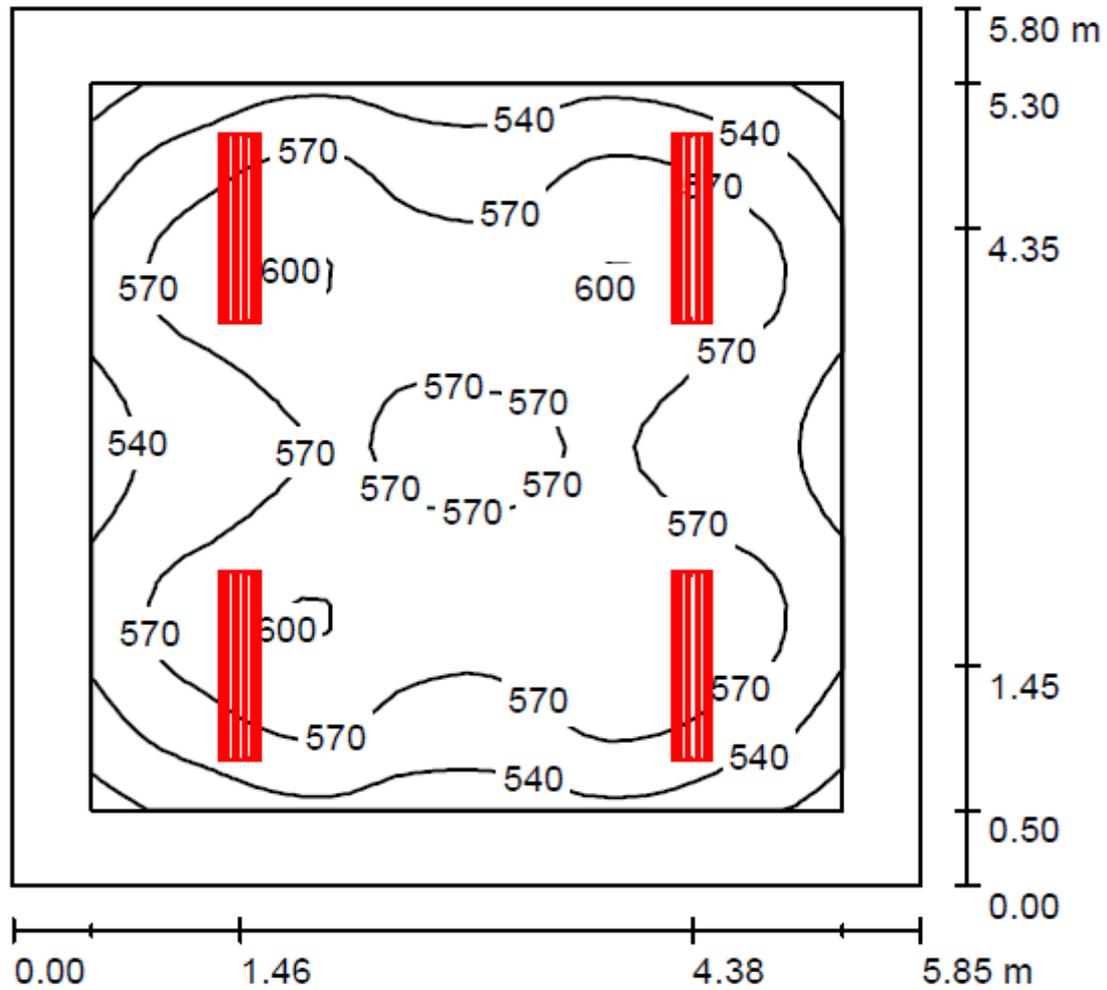


Figura 26 – Mapa de Curva Sala 05
 Fonte: elaboração do autor

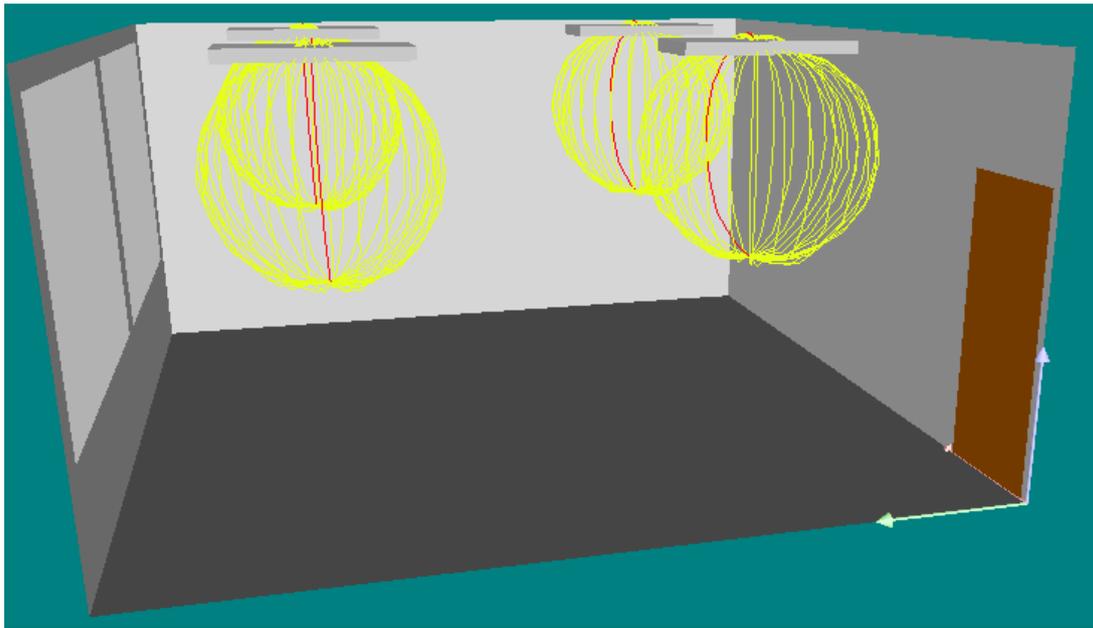


Figura 27 – Representação da Sala 05

Fonte: elaboração do autor

Quadro 5 – Iluminância média da Sala 05

Superfície	Atual	Proposto
	$E_m(\text{lux})$	
Plano de trabalho	108	566
Solo	-	473
Teto	-	282
Parede	-	394

- **Sala de aula de dimensões 8,85 x 5,8 metros**

A sala utilizada como exemplo foi a número 02, localizada na ALA 01 no primeiro pavimento.

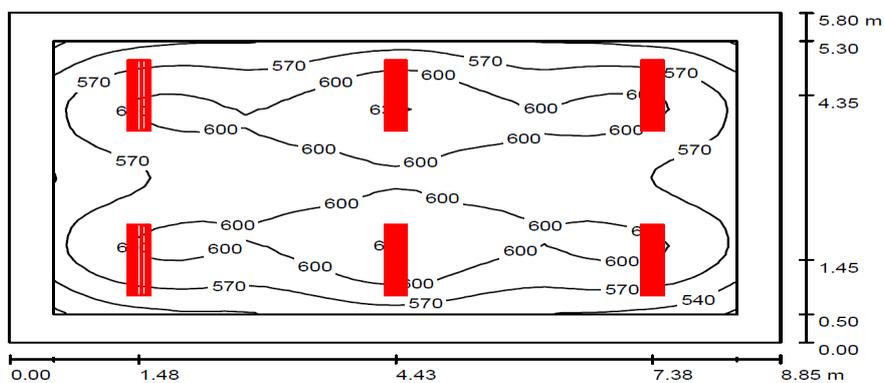


Figura 28 – Mapa de Curva Sala 02

Fonte: elaboração do autor

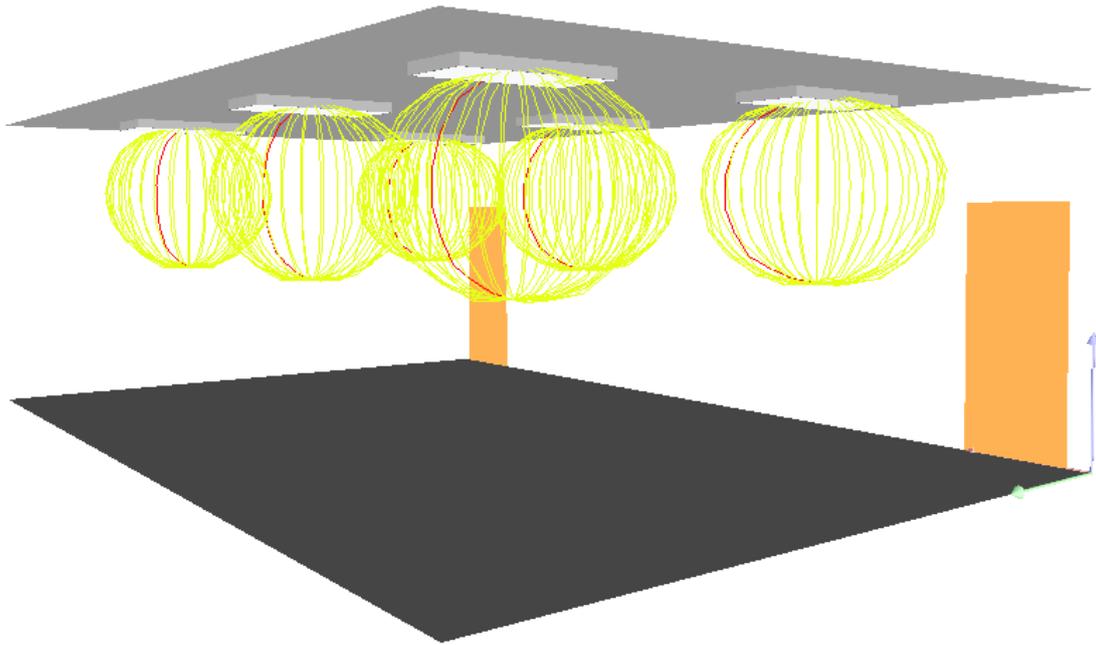


Figura 29 – Representação da Sala 02
 Fonte: elaboração do autor

Quadro 6 - Iluminância média da Sala 02

Superfície	Atual	Proposto
	$E_m(\text{lux})$	
Plano de trabalho	256	585
Solo	-	502
Teto	-	277
Parede	-	404

- **Corredor ALA 02 primeiro pavimento**

O corredor utilizado como exemplo foi o do primeiro pavimento, na ALA 02.

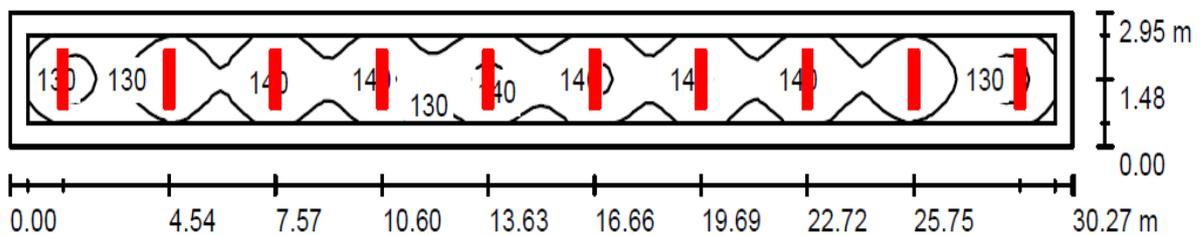


Figura 30 - Mapa de Curva Corredor
 Fonte: elaboração do autor

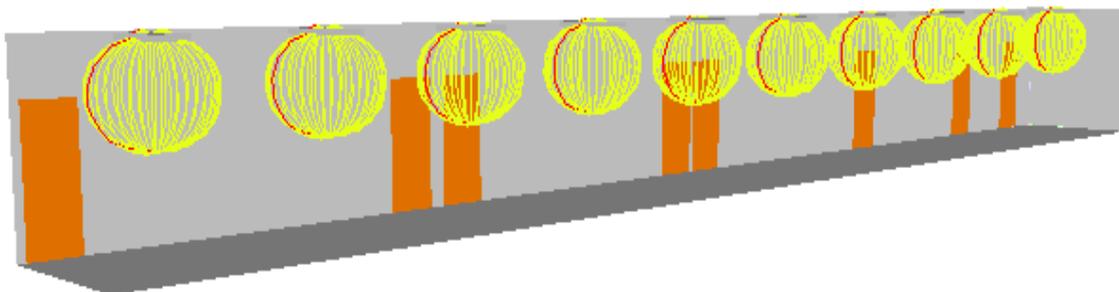


Figura 31 - Representação do Corredor
 Fonte: elaboração do autor

Quadro 7 - Iluminância média do Corredor

Superfície	Atual	Proposto
	$E_m(\text{lux})$	
Plano de trabalho	90	132
Solo	-	110
Teto	-	65
Parede	-	89

Saguão primeiro pavimento

O saguão utilizado como exemplo foi o do primeiro pavimento.

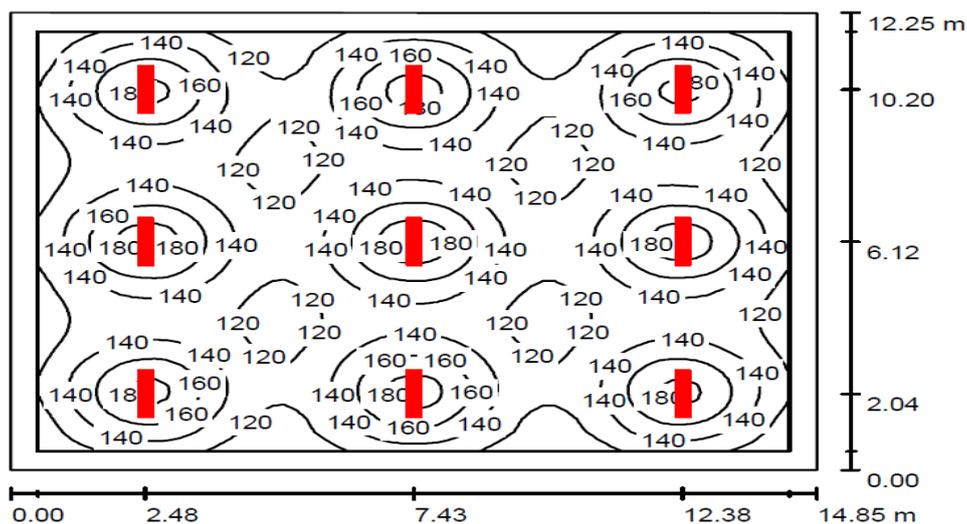


Figura 32 - Mapa de Curva Saguão
 Fonte: elaboração do autor

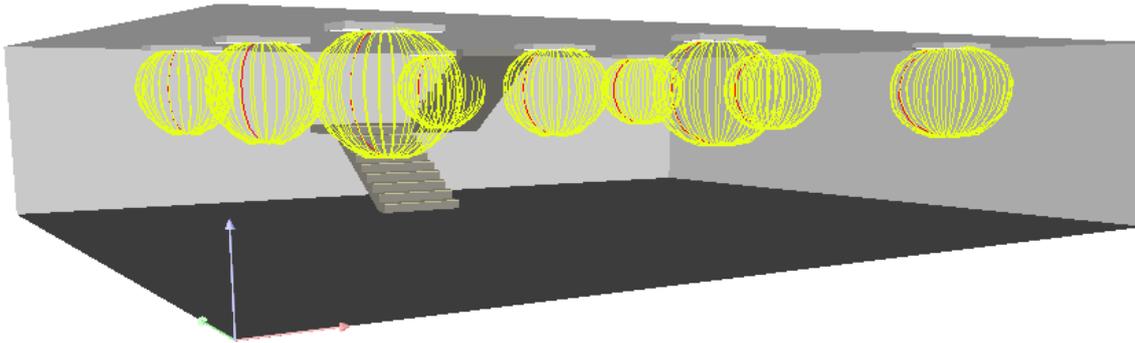


Figura 33 - Representação do Saguão
Fonte: elaboração do autor

Quadro 8 - Iluminância média do Corredor

Superfície	Atual	Proposto
	$E_m(\text{lux})$	
Plano de trabalho	36	140
Solo	-	126
Teto	-	57
Parede	-	92

Os quadros 9, 10 e 11 fazem uma análise do sistema atual e o novo, mostrando a quantidade de lâmpadas fluorescentes por sala do projeto atual e a quantidade de lâmpadas *LED*, bem como a potência total gasta.

Quadro 9 - Sistema de Iluminação - Pavimento 1

Pavimento 01						
Ala 01						
Local	Atual				Proposto	
	Lâmpadas / Potência	Potência Total(W)	Reator / Potência	Potência Reator(W)	Lâmpadas / Potência	Potência (W)
Sala 01	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 02	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 05	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 06	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 09	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 10	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Banheiro Masculino	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Banheiro Feminino	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Depósito 01	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Depósito 02	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Corredor	10 / 40 w	400	10 / 73 w	730	10 / 18 w	180

Ala 02						
Sala 01	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 02	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 05	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 06	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 09	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 10	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Banheiro Masculino	04 / 20 w	80	04 / 36 w	144	04 / 09 w	36
Banheiro Feminino	04 / 20 w	80	04 / 36 w	144	04 / 09 w	36
Banheiro*	02 / 20 w	40	02 / 36 w	72	02 / 09 w	18
Depósito 01	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Saguão	18 / 40 w	720	09 / 73 w	657	18 / 18 w	324
Corredor	10 / 40 w	400	10 / 73 w	730	10 / 18 w	180
Potência Total (W): 26735 Atual					Potência Total (W): 6039 Proposto	

*Banheiro com acessibilidade para portador de deficiência física.

Quadro 10 - Sistema de Iluminação - Pavimento 2

Pavimento 02						
Ala 03						
Local	Atual				Proposto	
	Lâmpadas / Potência	Potência Total(W)	Reator / Potência	Potência Reator(W)	Lâmpadas / Potência	Potência (W)
Coordenação Administração	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Sala 02	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Coordenação Pedagogia	08 / 40 w	320	08 / 73 w	584	08 / 18 w	144
Sala Informática	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 08	32 / 40 w	1280	16 / 73 w	1168	32 / 18 w	576
Sala 07 – Studio	16 / 40 w	640	08 / 73 w	584	16 / 18 w	288
Sala 09	16 / 40 w	640	08 / 73 w	584	16 / 18 w	288
Banheiro Masculino	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Banheiro Feminino	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Depósito 01	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Depósito 02	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Corredor	10 / 40 w	400	10 / 73 w	730	10 / 18 w	180
Ala 04						
Sala 01 – Secretaria C	16 / 40 w	640	08 / 73 w	584	16 / 18 w	288
Auditório C	48 / 40 w	1920	24 / 73 w	1752	48 / 18 w	864
Sala dos Professores	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 05	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Coord. Ciências Biológicas	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Coordenação Educação Física	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144

Coordenação Eng. Elétrica	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Sala 12	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Sala Informática	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Coordenação Química	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	08 / 18 w	144
Copa	02 / 20 w	40	02 / 36 w	72	02 / 09 w	18
Banheiro Masculino	02 / 20 w	40	02 / 36 w	72	02 / 09 w	18
Banheiro Feminino	04 / 20 w	80	04 / 36 w	144	04 / 09 w	36
Banheiro*	02 / 20 w	40	02 / 36 w	72	02 / 09 w	18
Saguão	18 / 40 w	720	09 / 73 w	657	18 / 18 w	324
Escada	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Corredor	10 / 40 w	400	10 / 73 w	730	10 / 18 w	180
Potência Total (W): 25860 Atual					Potência Total (W): 5760 Proposto	

*Banheiro com acessibilidade para portador de deficiência física.

Quadro 11 - Sistema de Iluminação - Pavimento 3

Pavimento 03						
Ala 05						
Local	Atual				Proposto	
	Lâmpadas / Potência	Potência Total(W)	Reator / Potência	Potência Reator(W)	Lâmpadas / Potência	Potência (W)
Sala 01	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 02	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 05	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	16 / 18 w	288
Sala 06	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	16 / 18 w	288
Sala 07	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	16 / 18 w	288
Sala 09	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	16 / 18 w	288
Sala 10	08 / 40 w	320	04 / 73 w	292	16 / 18 w	288
Banheiro Masculino	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Banheiro Feminino	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
	01 / 40 w	40	01 / 73 w	73	01 / 18 w	18
Depósito 01	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Depósito 02	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Corredor	10 / 40 w	400	10 / 73 w	730	10 / 18 w	180
Ala 06						
Sala 01	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 02	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 05	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 06	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 09	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Sala 10	24 / 40 w	960	12 / 73 w	876	24 / 18 w	432
Banheiro Masculino	02 / 40 w	80	01 / 73 w	73	02 / 18 w	36
Banheiro Feminino	02 / 40 w	80	01 / 73 w	73	02 / 18 w	36
Depósito 01	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Depósito 02	01 / 20 w	20	01 / 36 w	36	01 / 09 w	09
Saguão	20 / 40 w	800	10 / 73 w	730	20 / 18 w	360
Corredor	10 / 40 w	400	10 / 73 w	730	10 / 18 w	180
Potência Total (W): 22406 Atual					Potência Total (W): 5778 Proposto	

A partir da análise dos quadros acima, observamos que a potência total consumida pelo sistema de iluminação proposto é bem menor que a do sistema atual.

3.2.2. Avaliação e Investimento Inicial

A utilização de lâmpadas *LED* reduziu consideravelmente o consumo energético do sistema de iluminação, porém é necessário um investimento inicial elevado, como pode ser observado no quadro 12.

Quadro 12 - Investimento Inicial dos pavimentos

Pavimento 01, 02, 03			
Modelo	Quantidade	Valor (R\$)	Total (R\$)
Lâmpada LED Tubular T8– 18 w	929	150,91	140.195,39
Lâmpada LED Tubular T8– 09 w	35	96,89	3.391,15
Luminária Sobrepor 4x40	20	150,52	3.010,40
			R\$ 146.596,94

Além do alto investimento das lâmpadas *LED*, existe também a troca da luminária de 2x40 pela de 4x40 das salas 05, 06, 07, 09,10 do pavimento 03 da ala 05 para melhor enquadramento da iluminância.

3.2.3. Análise da Demanda Energética e do Consumo

Considerando um consumo de energia elétrica no sistema de iluminação de 6h por dia, 22 dias por mês, teremos um valor de horas mensal de 132 h, que foi referência para os cálculos. O quadro 13 mostra a comparação entre a quantidade de energia consumida atual e da situação proposta pelo projeto com base nos dados obtidos na conta de energia, no ANEXO 2, do edifício onde está localizado a faculdade.

Quadro 13 - Análise da Demanda Energética e do Consumo

	Atual		Proposto	
	Potência (kW)	Consumo (kWh/mês)	Potência (kW)	Consumo (kWh/mês)
Pavimento 01	26,735	3.529,020	6,039	797,148
Pavimento 02	25,860	3.413,520	5,760	760,32
Pavimento 03	22,406	2.957,592	5,778	762,696
Total	75,001	9.900,132	17,577	2320,164

Com o sistema proposto neste trabalho obteremos um valor na redução do consumo de energia elétrica sofrendo uma redução de 9.900,132kWh/mês para 2.320,164kWh/mês. Utilizando como base, o valor de 1kWh de R\$ 0,24403207 foi obtido o valor de consumo atual de R\$ 2.415,95 e do sistema proposto de R\$ 566,20, obtendo uma redução de 76,56% de gastos de energia elétrica.

3.2.4. Avaliação do retorno do projeto de Eficiência Energética

Todo projeto de uma instalação elétrica deve buscar a eficiência operacional. No entanto, essa eficiência deve ser medida de forma a se encontrar justificativas econômicas para tornar mais eficiente um projeto elétrico a qualquer custo. (MAMEDE, 2011).

Como foi mencionado anteriormente, neste sistema obteremos uma redução mensal de 76,56%. Este valor foi obtido em referência ao consumo atual de R\$ 2.415,95 e o proposto de R\$ 566,20. A economia mensal obtida será com base na fórmula:

$$\text{Economia mensal (R\$)} = \text{Consumo atual mensal (R\$)} - \text{consumo previsto mensal(R\$)}$$

Obtendo uma economia de R\$ 1.849,75. O retorno mensal deste investimento será com base na análise, da fórmula, onde o investimento será de R\$ 146.596,94:

$$\text{Tempo de retorno em meses} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia mensal}}$$

O tempo de retorno mensal obtido será de 79,25 meses, dividindo este valor por 12, que é a quantidade de meses em um ano, obtendo retorno em aproximadamente 7 anos.

4. CONCLUSÃO

A eficiência energética é o tema principal dos dias atuais, quando se trata da área de engenharia elétrica. Buscar soluções que minimizem os gastos de consumo deve ser primordial ao profissional desta área.

Analisando a edificação a fim de obter os resultados para a simulação, foi possível trazer os conhecimentos vistos no ambiente acadêmico e utilizá-los de forma prática.

Devido as atualização das normas e do tempo decorrido desde a construção do imóvel, o dimensionamento do sistema atual de iluminação é irregular, gerando um alto consumo de energia elétrica. Foi feito uma análise de um novo sistema que agregasse conforto luminoso e economia de gastos com energia.

Dentro da área da iluminação vem crescendo a preocupação com a diminuição do consumo energético, tendo que aumentar a quantidade de lâmpadas economizadoras que surgiram, como substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes. Por sua vez, as lâmpadas fluorescentes têm um grande consumo de energia elétrica, pouco tempo da vida útil, um baixo fluxo luminoso, alto fator de potência, grande perda ôhmica, tem emissão de raios ultravioleta e infravermelha, não pode ter o descarte em qualquer local por conter mercúrio, além de poderem ser quebradas facilmente e contaminar a região.

A ideia é utilizar lâmpadas tubulares a LED, pois tendo estas, além de inúmeras vantagens, consomem pouca potência elétrica e dispensa o uso dos reatores.

A utilização de um software de simulação para o dimensionamento do sistema proposto traz segurança de que a quantidade de luminárias é compatível às necessidades.

O sistema proposto, além de melhorar o conforto luminoso do local, aderindo à norma vigente sobre o assunto, trará uma redução de 76,56% de economia de energia elétrica e mesmo com o alto investimento em curto prazo, terá um retorno em média de 7 anos.

Como proposta para trabalhos futuros propõe – se:

- Instalação de painéis solares fotovoltaicos.
- Sistema com sensores para a iluminação.
- Dimensionamento de sistema de condicionamento de ar.
- Sistema inteligente de monitoramento do consumo de energia do bloco C.

5. REFERÊNCIAS

AGENEAL. Agência Municipal de Energia de Almada. **Ideias com energia**. Disponível:<<http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newSID=9>> Acesso em: 27 mar. 2013.

ABB, S.A. **Eficiência Energética em Edifícios com KNX** – benefícios da automação. Disponível:<<http://www.abb.com.br/cawp/seitp202/701bddcaead1ac9883257c2e0042a5c3.aspx>> Acesso em: 01 dez. 2013.

CARVALHO, Vinicius S.-**Métodos de classificação quanto a Eficiência Energética em Edificação e Estudo de caso**, Rio de Janeiro – RJ, 2011.

COSTA, Gilberto José Correa – **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. Disponível:< <http://books.google.com.br/books?isbn=8574305987>> Acesso em: 27 mar. 2013.

DIALUX. **Tutorial**, 2010. Disponível:<http://www.dial.de/DIAL/fileadmin/download/dialux/manuel/Manual49_en.zip> Acesso em: 02 dez. 2013.

HARRIS, Tom. **Como funcionam os LEDs**. Traduzido por HowStuff Works Brasil. Disponível em : < [http:// eletronicos.hsm.uol.com.br/led.htm](http://eletronicos.hsm.uol.com.br/led.htm) > . Acesso em: 05 dez. 2013.

ITAIM. **Catalogo Geral de Produtos** 2008. Disponível: < <http://pt.scribd.com/doc/2514046/itaim-catalogo-2008>> Acesso em: 16 set. 2013

LOUÇANO, Nelson Ramos - **Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema iluminação**. Disponível em: < [https:// bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/2017/1/Relatorio_Nelson_Loucano.pdf](https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/2017/1/Relatorio_Nelson_Loucano.pdf) > Acesso em: 05 nov. 2013.

MAMEDE, João – **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MAMEDE FILHO, Joao. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MARTINS, Bruno – **Atualização e Eficientização dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar do prédio do núcleo de processamento de dados da Universidade Federal do Espírito Santo**, 2008.

MARTINS, M.P. de S. **Inovação tecnológica e eficiência energética**. 1999. Monografia (Especialização) – Pós-Graduação MBA em Energia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Rio de Janeiro.

MONTOIA, Paulo. **Entenda o que é o efeito estufa e como ele provoca o aquecimento global**. Disponível em: < <http://360graus.terra.com.br/ecologia/default.asp?did=22746&action=reportagem> > Acesso: 28 de mar. 2013.

NOGUEIRA, Eduardo Santos. **Iluminação com LEDs**: Alternativa de substituição da instalação existente da subestação Jataí, 2011.

NUNES, Alexandre L.R. – **Eficiência Energética em Prédios Públicos**. Porto Alegre – RS, 2010.

SATYRO, Guilherme Vogel. **Revisão e modernização dos sistemas de iluminação e ar condicionado do bloco A1 do Edifício da CPRM no Rio de Janeiro**, 2013.

WBCSD, World Business Council for Sustainable Development. **Eficiência energética em edifícios**- realidades empresariais e oportunidades, 2009.

APÊNDICES

- APÊNDICE 1 - CONTA DE ENERGIA DA FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUIUTABA - FEIT.


www.cemig.com.br/atendimento
Distribuição S.A.
Emergências: 0800 723 2827

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 05.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 082.232138.0007
 Av. Barbacena, 1.205 - 17ª andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG
 Tarefa Social de Energia Elétrica - TSECC, foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUIUTABA Referente a **AGO/2013** Nº DO CLIENTE **7000062423**
 RUA HORACIO PAULA SIQUEIRA SN EL SETOR UNIVERSITARIO Código de Débito Automático: **000090073743**
 38902-222 ITUIUTABA, MG
 CNPJ 21.332.812/0001-04
 INSCRIÇÃO ESTADUAL 0000001

Classe		Subclasse		Datas de Leitura			Datas da Nota Fiscal		Nº DA INSTALAÇÃO
Comercial		Outros Serviços e Outras Ativ		ANTERIOR	ATUAL	PRÓXIMA	MISSÃO	APRESENTAÇÃO	
				15/07	15/08	15/09	16/08	20/08	

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº003180295 - PTA Nº18.000114527.70

Informações Técnicas

Modalidade Tarifária Convencional A4
 A partir de 2014 vigorará o sistema de bandeiras tarifárias. A bandeira verde não implicará cobrança adicional. As bandeiras amarela e vermelha, quando acionadas, implicarão tarifas de maior valor, devido ao maior custo da geração. No mês de 08/2013 vigorará a bandeira amarela, a qual implicará o adreção de R\$ 0,015/kWh de acréscimo ao valor de tarifa, líquido de benefícios. Mais informações em www.aneel.gov.br

Valores Faturados

Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Demanda Ativa kWh HPP/Único	183	33,67388625	4.478,31
Demanda Ativa kWh HFP/Único	52	27,81594041	1.438,56
Energia Ativa kWh HFP/Único	79.820	0,21403007	17.177,01

Encargos / Cobrança

Contrib. Custo Ilum. Públicas 19,14

Indicadores de Qualidade de Fornecimento

Índice de Qualidade de Fornecimento (IQF) - Mês: 08/2013

Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual
0,00	9,38	7,36	14,78
0,00	2,51	5,02	10,05
0,00	2,57	-	-
0,00	2,71	-	-

Tensão: Nominal = 13,8 kV Min. = 12,9 kV Mx. = 14,5 kV
 Valor Energia Uso Sist. Distribuição: R\$ 145,87

VENCIMENTO 27/08/2013

VALOR A PAGAR R\$ 13.468,32

Reservado ao Fisco: 7385.A55F.80BD.F6E7.7235.E021.3C70.87C8

Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)	PASEP (R\$)	COFINS (R\$)
11.755,82	18	2.116,01	111,81	516,43

Histórico do Consumo

Mês/Ano	DEMANDA (kW)		ENERGIA (kWh)		HR
	HP	HFP	HP	HFP	
JUL/13	0	151	0	33.480	0
JUN/13	0	157	0	40.320	0
MAI/13	0	150	0	36.920	0
ABR/13	0	174	0	41.720	0
MAR/13	0	188	0	46.720	0
FEV/13	0	141	0	28.420	0
JAN/13	0	122	0	26.740	0
DEZ/12	0	192	0	48.080	0
NOV/12	0	196	0	50.680	0
OUT/12	0	190	0	43.620	0
SET/12	0	187	0	44.640	0
AUG/12	0	151	0	32.400	0

Informações de Faturamento

Ouvvidoria CEMIG: 0800 723 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares.

CEMIG
Distribuição S.A.

Unidade de Leitura: 50540179

Conta Contrato: 000090073743

Vencimento: 27/08/2013

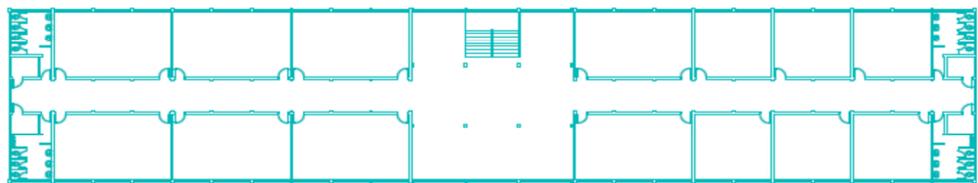
Total a Pagar: R\$ 13.468,32

DÉBITO AUTOMÁTICO

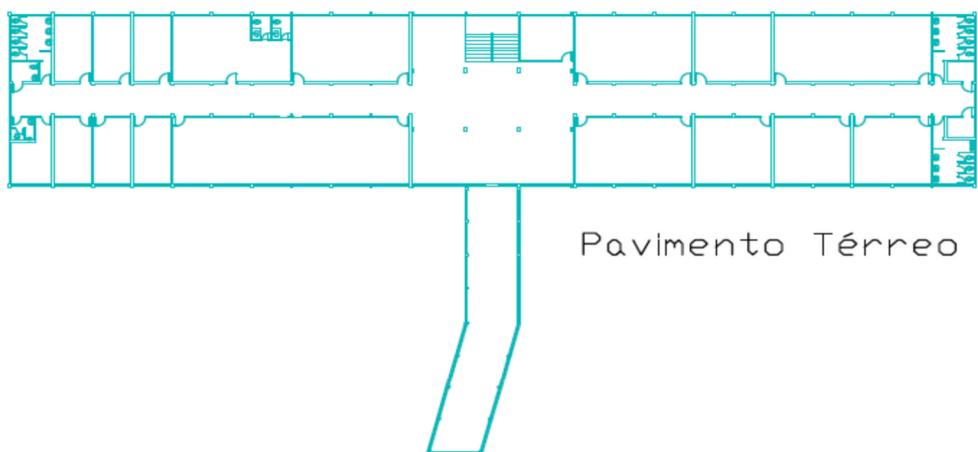
83620000134-2 68320138000-6 20959997111-3 00090073743-8 Agosto/2013



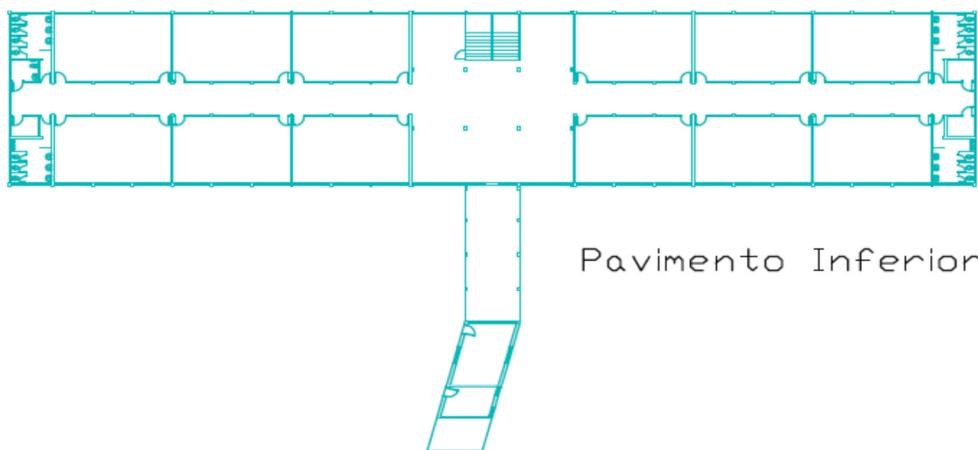
- APÊNDICE 2 – PLANTA BAIXA DO BLOCO C



Pavimento Superior



Pavimento Térreo



Pavimento Inferior

ANEXOS

- ANEXO 1 – ABNT NBR ISO / CIE 8995 – 1: 2013_ *ILUMINAÇÃO DE AMBIENTES DE TRABALHO PARTE 1: INTERIOR*

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Anexo B (informativo)

Malha de cálculo para projeto do sistema de iluminação

B.1 Introdução

Este Anexo recomenda os critérios da malha de cálculo para elaboração de projetos em programas de cálculo e verificação do nível de iluminância nas instalações.

B.2 Malha de cálculo para projeto do sistema de iluminação

A princípio, a malha necessária para determinar as iluminâncias e uniformidades médias depende do tamanho e da forma da superfície de referência (área da tarefa, local de trabalho ou arredores), da geometria do sistema de iluminação, da distribuição da intensidade luminosa das luminárias utilizadas, da precisão requerida e das quantidades fotométricas a serem avaliadas.

O tamanho da malha recomendado para salas e zonas de salas é dado na Tabela B.1.

Tabela B.1 – Tamanhos da malha

Ambiente	Maior dimensão da zona ou sala <i>d</i>	Tamanho da malha <i>p</i>
Área da tarefa	Aproximadamente 1 m	0,2 m
Salas/zonas de salas pequenas	Aproximadamente 5 m	0,6 m
Salas médias	Aproximadamente 10 m	1 m
Salas grandes	Aproximadamente 50 m	3 m
NOTA Recomenda-se que o tamanho da malha não seja excedido.		

O tamanho da malha é dado pela equação a seguir:

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

onde

p é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

d é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m);

n é o número de pontos de cálculo considerando a malha *p*.

O número de pontos (*n*) é então estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação *d* para *p*.

As superfícies de referência retangulares são subdivididas em pequenos retângulos, aproximadamente quadrados, com os pontos de cálculo em seu centro. A média aritmética de todos os pontos de cálculo é a iluminância média. Quando a superfície de referência tem uma relação do comprimento *versus* a largura entre 0,5 e 2, o tamanho da malha p e, portanto, o número de pontos podem ser determinados com base na maior dimensão d da área de referência. Recomenda-se que, em todos os outros casos, a menor dimensão seja tomada como base para o estabelecimento do espaçamento entre pontos da malha.

Para as superfícies de referência não retangulares, ou seja, superfícies limitadas por polígonos irregulares, o tamanho da malha pode ser determinado de forma análoga através de um retângulo adequado circunscrito e dimensionado. Os meios aritméticos e as uniformidades são então estabelecidos considerando-se apenas os pontos de cálculo dentro dos limites dos polígonos da superfície de referência.

Para as superfícies de referência do tipo faixa, que normalmente resultam das imediações das áreas avaliadas, convém que seja considerada a dimensão da faixa em seu ponto mais largo como base, para determinar o tamanho da malha. No entanto, não é recomendado que o tamanho da malha assim estabelecido seja superior à metade da dimensão da faixa em seu ponto mais estreito, se este for de 0,5 m ou mais. Os meios aritméticos e as uniformidades são determinados novamente considerando-se apenas os pontos de cálculo dentro da faixa. Ver Figura B.1.

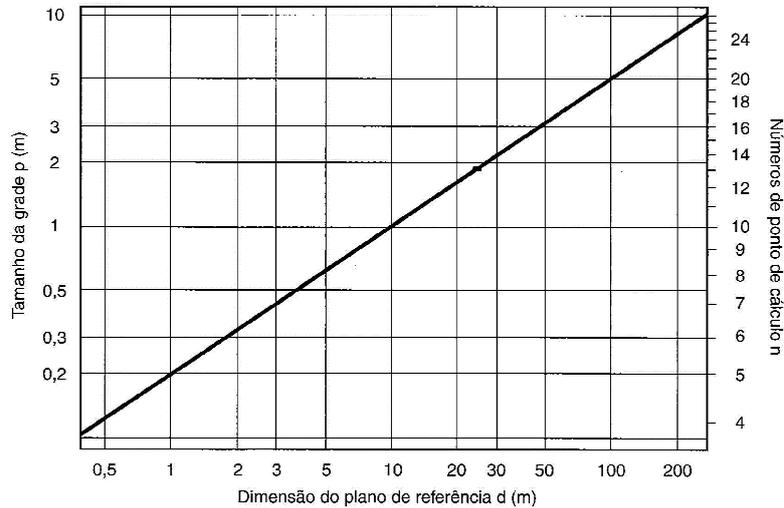


Figura B.1 – Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência

- **ANEXO 2 – PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES (ÁREAS), TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR.**

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observações
Corredores	100	25	80	Durante o período da noite são aceitáveis baixos níveis de iluminação.
25. Locais de entretenimento				
Teatros e salas de concerto	200	22	80	
Salas com multiuso	300	22	80	
Salas de ensaio, camarins	300	22	80	É necessário que a iluminação do espelho seja isenta de ofuscamento para a maquiagem.
Museus (em geral)	300	19	80	Iluminação adequada para atender aos requisitos de exibição, proteção contra os efeitos de radiação.
26. Bibliotecas				
Estantes	200	19	80	
Área de leitura	500	19	80	
Bibliotecárias	500	19	80	
27. Estacionamentos públicos (internos)				
Rampas de entrada e saída (durante o dia)	300	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Rampas de entrada e saída (durante a noite)	75	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Pistas de tráfego	75	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Estacionamento	75	28	40	Uma iluminância vertical elevada aumenta o reconhecimento das faces das pessoas e, por esta razão, a sensação de segurança.
Guichê	300	19	80	1) Evitar reflexões nas janelas. 2) Prevenir ofuscamento oriundo do lado externo.
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	