FERNANDA DE VARGAS NASCIMENTO

GESTÃO DA EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL INTEGRADA À ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS: ESTUDO DO RETROFIT LUMINOTÉCNICO

São Paulo

2019

FERNANDA DE VARGAS NASCIMENTO

GESTÃO DA EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL INTEGRADA À ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS: ESTUDO DO RETROFIT LUMINOTÉCNICO

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Gestão de Projetos na Construção.

Orientadora:
Profª. Drª. Joana Carla Soares Gonçalves

São Paulo

2019

À minha família, que sempre esteve
presente me apoiando e incentivando ao
longo de toda a minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Zuleika e Luiz, pelo amor incondicional e pelo incentivo e apoio de sempre. Por todo carinho e paciência ao me ajudarem em todos os desafios da vida.

À Profa. Dra. Joana Carla S. Gonçalves, por toda a paciência e dedicação em contribuir com este trabalho e compartilhar sua experiência. Seu entusiasmo e apoio desde o início do trabalho foram fundamentais. Sem dúvidas a melhor orientadora que poderia ter escolhido.

Ao Ruy Soares, pela disponibilidade em me atender e compartilhar seus projetos e conhecimento para o trabalho.

Às minhas amigas, pelo apoio e entendimento da minha ausência durante esse período de estudo.

Aos colegas da turma de pós-graduação, por todas as trocas de experiência, companheirismo e risadas ao longo do curso

À Deus, por todas as oportunidades e todas as bênçãos que recebo em minha vida,

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho, meu sincero agradecimento.

“A arquitetura é a arte que determina a identidade do nosso tempo e melhora a vida das pessoas”

Santiago Calatrava

RESUMO

A integração da iluminação natural e a artificial é uma estratégia de projeto importante não apenas para a economia do consumo de energia elétrica, mas também para o bem-estar das pessoas. Em ambientes corporativos, inclusive, sabe-se que a presença da luz natural e o contato visual com o meio externo contribuem para satisfação dos usuários e, consequentemente, aumenta sua produtividade. O trabalho realizado fez um levantamento das estratégias de projeto para integração da iluminação natural e artificial em ambientes internos. É abordado também sobre a importância do retrofit luminotécnico a fim de aumentar a vida útil o sistema de iluminação e melhorar seu desempenho, tanto de eficiência energética quanto de conforto visual, de acordo com a norma NBR ISO 8995-1. Paralelamente a isso, projetos de retrofit são uma oportunidade para reprojetar os sistemas de iluminação artificial existentes considerando a contribuição da luz natural. Os dados teóricos e estudo de caso contribuíram para a elaboração de uma proposta de processo de projeto de retrofit luminotécnico e um estudo, com base em simulações computacionais, de um retrofit em um ambiente de trabalho. Para o estudo do retrofit luminotécnico, foi avaliada uma sala de aula onde percebeu-se que não há aproveitamento da luz natural e o sistema de iluminação artificial instalado não fornece o mínimo de 500lx indicado pela norma NBR ISO 8995-1. Na nova proposta para o sistema de iluminação do ambiente, foram utilizadas luminárias com maior eficiência luminosa, além de ter sido planejado como complementar à luz natural. Com os resultados das simulações realizadas utilizando o *software* Dialux EVO, pôde-se concluir que considerar a luz natural no ambiente influencia bastante no consumo energético. Houve horário simulado em que, para complementar a iluminância já fornecida pela luz solar, foi necessário apenas 20% do total de fluxo luminoso das luminárias. Assim, este trabalho evidencia os benefícios de se ter a iluminação natural incorporada nos ambientes com o objetivo de incentivar tal estratégia em futuros projetos.

Palavras-chave: Iluminação Artificial, Retrofit, Eficiência energética, Projeto Luminotécnico, Gestão do Retrofit Luminotécnico.

ABSTRACT

The integration of natural and artificial lighting is an important strategy for a project, not only for saving electrical energy, but also for the well-being of people. In work places, is already known that the presence of natural light and visual contact with the external environment contribute to users' satisfaction and, consequently, increase their productivity. The work carried out surveyed the design strategies for the integration of natural and artificial lighting in internal places. It also discusses the importance of lighting retrofit in order to increase the service life of the lighting system and improve its performance, both energy efficiency and visual comfort, according to NBR ISO 8995-1. In parallel to this, retrofit projects are an opportunity to redesign artificial lighting systems. The theoretical data and the case study contributed to the elaboration of a proposal of a lighting retrofit design process and a study, based on computational simulations, of a retrofit in a work place. For the study of lighting retrofit, a classroom was evaluated where it was realized that there is no use of natural light and the artificial lighting system installed does not provide the minimum of 500lx indicated by the norm NBR ISO 8995-1. In the new proposal for the lighting system in the room, luminaires with higher luminous efficiency were used, besides being planned as complementary to the natural light. With the results of the simulations carried out using the Dialux EVO software, it was concluded that considering the natural light inside the building influences a lot in the energy consumption. There was simulated time in which, to complement the illuminance already provided by sunlight, only 20% of the luminous flux of the luminaires was required. Thus, this work shows the benefits of having the natural light incorporated in the rooms of a building with the objective of encouraging such a strategy in future projects.

Keywords: Artificial lighting, Retrofit, Energy efficiency, Lighting Project, Lighting Retrofit Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A complexa cúpula da Capela da Santíssima Sindone, em Turim, na Itália, contribuindo para o efeito da luz com seus lanternins.....2
Figura 2: Interior do Larkin Building.....3
Figura 3: Interior do museu Guggenhein, iluminação zenital central iluminando áreas de circulação complementada pela iluminação artificial direcionadas às obras de arte.....5
Figura 4: Esquematização de alguns conceitos 13
Figura 5: Esquematização da intensidade luminosa, dependendo do facho da lâmpada sua intensidade será maior ou menor. 13
Figura 6: Demonstração do mesmo objeto sendo iluminado com lâmpadas de IRC diferentes. 14
Figura 7: Exemplificação das temperaturas de cor. 15
Figura 8: Iluminação direta dirigida para uma das paredes do ambiente 20
Figura 9: Exemplo de iluminação geral com luz indireta, criada a partir de sanca aberta feita no forro de gesso, com a luz refletida no teto e redirecionada ao ambiente 21
Figura 10: Ilustração representando iluminação geral com luz direta 21
Figura 11: Exemplificações de iluminação localizada / de tarefa 22
Figura 12: Exemplo de iluminação de destaque com iluminação direta, direcionada para as prateleiras.....23
Figura 13: Exemplo de iluminação indireta que, além de destacar a textura da parede, proporciona luz geral e cria uma atmosfera mais confortável e amena. 23
Figura 14: Exemplificações dos sensores controlando a iluminância do ambiente em duas situações com diferentes incidências de luz natural.....25
Figura 15: Ilustração demonstrando do ofuscamento direto e do ofuscamento reflexivo, quando reflete em alguma superfície. 29
Figura 16: Planta baixa do projeto luminotécnico de todas as salas da empresa 42
Figura 17: Planta baixa do projeto de iluminação da sala do *Staff,* mesmo o ambiente ter formato bastante irregular, as luminárias foram dispostas da forma mais homogênea possível. 44
Figura 18: Gráfico de cores falsas feito na sala do *Staff.* 45

Figura 19: Gráfico de iluminâncias resultado da simulação computacional da iluminação artificial. 46
Figura 20: Planta baixa do projeto luminotécnico da sala do Henry, um dos sócios .47
Figura 21: Gráfico de iluminância na mesa de trabalho da sala do Henry 48
Figura 22: Gráfico de cores falsas da sala do Henry....49
Figura 23: Parte do memorial descritivo, com as características no circuito 01 50
Figura 24: Parte do memorial descritivo, com características do circuito 30, na sala do Henry....51
Figura 25: Imagem da sala a ser estudada. 57
Figura 26: Simulação da luz natural da sala de aula no horário de 9:00h 59
Figura 27: Simulação da luz natural da sala de aula no horário de 13:30h 60
Figura 28: Simulação da luz natural da sala de aula no horário de 17:00h 61
Figura 29: Cálculo de iluminância na superfície de 3 mesas. 62
Figura 30: Simulação da luz natural da sala de aula, com película atualmente instalada no vidro da janela, no horário de 9:00h 63
Figura 31: Simulação da luz natural da sala de aula, com película atualmente instalada no vidro da janela, no horário de 13:30h 63
Figura 32: Simulação da luz natural da sala de aula, com película atualmente instalada no vidro da janela, no horário de 17:00h 64
Figura 33: Desenho da planta baixa da sala com o layout, forro modulado e as medições de iluminância feitas nas mesas. 65
Figura 34: Simulação da luz natural, com nova película protetora nos vidros das janelas, às 9:00h 66
Figura 35: Simulação da luz natural, com nova película protetora nos vidros das janelas, às 13:30h 67
Figura 36: Simulação da luz natural, com nova película protetora nos vidros das janelas, às 17:00h 67
Figura 37: Ilustração da luminária escolhida e suas características....68
Figura 38: Simulação da iluminação artificial, sem a luz natural. 69
Figura 39: Planta baixa da sala com a nova disposição das luminárias e novos circuitos. 69
Figura 40: Simulação da luz natural às 9:00h complementada com dois circuitos da iluminação artificial ligados, ambos funcionando com 100% do total. 70

Figura 41: Simulação da luz natural às 13:30h complementada com dois circuitos da iluminação artificial ligados, ambos funcionando com 50% do fluxo luminoso.....71
Figura 42: Simulação da luz natural às 17:00h complementada com o circuito 3 funcionando com 20% e circuitos 1 e 2 funcionando com 40% do fluxo luminoso..72
Figura 43: Cálculo de iluminância na superfície de 3 mesas, com luz natural e artificial.....72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Recorte da tabela da NBR8995 com indicações de alguns casos em abientes de escritório e educacionais. 27
Tabela 2: Tabela da NBR 8995-1 indicando os níveis adequados de iluminância do entorno imediato de acordo com a área de tarefa. 28
Tabela 3: Classificação das aparências de cor 30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUX	Associação Brasileira da Industria de Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
APO	Avaliação Pós Ocupação
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	*Light Emitting Diode*
LEED	*Leadership in Energy and Environmental Design*
MEC	Ministério da Educação
NBR	Norma Brasileira
PMBOK	*Project Management Body of Knowledge*
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia
UGR	*Unified Glare Rating*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **1**
JUSTIFICATIVA **9**
OBJETIVOS **9**
OBJETIVOS ESPECÍFICOS **10**
MÉTODOS DE PESQUISA **10**
ESTRUTURA DA PESQUISA **11**
CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **12**
1.1 UNIDADES E GRANDEZAS DA ILUMINAÇÃO 12
1.2 CARACTERIZAÇÃO E DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL 15
1.2.1 FONTES DE LUZ ARTIFICIAL ELÉTRICA 16
1.2.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO 20
1.3 NORMA DE DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO 25
1.4 VANTAGENS DO APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL E O CONCEITO DE CONFORTO LUMINOSO 30
1.5 CONCEITUAÇÃO E VANTAGENS DO *RETROFIT* 33
1.5.1 *RETROFIT* LUMINOTÉCNICO 36
CAPITULO 2: ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE PROJETO **39**
2.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO 39
2.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO 40
2.3 ESTRATÉGIAS DO PROJETO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO LUMINOSO 41
2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO 51
CAPITULO 3: PROPOSTA METODOLÓGICA: DIRETRIZES PARA GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO **53**
3.1 DIRETRIZES PARA O PROCESSO DE PROJETO DE *RETROFIT* LUMINOTÉCNICO 53
CAPÍTULO 4: ESTUDO PROPOSITIVO DE APLICAÇÃO DE *RETROFIT* LUMINOTÉCNICO **57**

4.1 APRESENTAÇÃO DO AMBIENTE A SER ESTUDADO 57
4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NO AMBIENTE DE ESTUDO.....58
4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NO AMBIENTE DE ESTUDO.....64
4.4 PROPOSTA DE *RETROFIT* DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL 65
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....73
CONCLUSÃO 75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....76

INTRODUÇÃO

A LUZ NA ARQUITETURA

Seja direta ou indiretamente, a luz do sol é a principal fonte de luz natural do nosso planeta. A luz do sol incide sobre a Terra de diversas maneiras: diretamente, sendo refletida e difundida pelas nuvens, de forma dispersa na estratosfera ou refletida pelos objetos que se encontram na superfície do planeta (INNES, 2014).

A luz sempre esteve relacionada à arquitetura e sua manipulação teve particularidades em cada época. Muito explorada nas construções religiosas, a luz era associada à um forte simbolismo de veneração e exaltação dos Deuses, com intenção de criar ambientes de maior solenidade.

> Na arquitetura Clássica da Grécia Antiga, a luz natural passa essencialmente a ser utilizada como meio de definição da forma. Os edifícios eram estudados de forma a enfatizar o efeito da luz, sombra e cor. As colunatas serviam de filtro de luz entre o exterior e a cella. [...] O monumento mais célebre da civilização da Grécia antiga é o Partenón, na Acrópole de Atenas (447 – 438 d.C.). O contraste entre o brilho do sol no exterior e a escuridão mística do interior produz uma atmosfera mágica, onde a luz apenas consegue entrar através da porta principal do santuário. Já os Romanos trataram o espaço como uma substância modelar e articulável de escala monumental, obtida através de grandes projetos estruturais de engenharia. A luz enaltecia a sua plasticidade, integrada, realçada através da forma e das relações espaciais sem, geralmente ser exaltada ou mistificada. Assim, o espaço interior torna-se de grande qualidade devido à grandiosa forma de manipulação cenográfica e do cuidadoso manuseamento da luz. (COSTA, 2013)

Na arquitetura Gótica, aliada aos emblemáticos vitrais coloridos, a luz ganha ainda mais força. As inovações técnicas da época trouxeram a construção de janelas ainda maiores. Incorporadas a elas, os vitrais permitiam a entrada de uma luz diferente, modificada pelas suas cores, transformando seu interior num ambiente ainda mais místico.

A idade moderna traz novos movimentos e transformações no tratamento da luz. No Renascimento e no Barroco a luz foi incorporada nas cúpulas, permitindo a entrada de uma iluminação difusa, vinda de cima e refletindo nas paredes. A valorização da luz natural, sem filtros, era então agregada à cúpula, elemento importante na arquitetura, com intenção de ressaltá-la ainda mais. Os efeitos criados pela luz, destacando as cores, formas e texturas, era uma das questões principais

trabalhadas na arquitetura. Foi uma época que inspirou ainda mais os arquitetos a procurarem soluções que permitissem maior controles da luz nas edificações.

Figura 1: A complexa cúpula da Capela da Santíssima Sindone, em Turim, na Itália, contribuindo para o efeito da luz com seus lanternins.
Fonte: https://www.museireali.beniculturali.it/cappella-della-sacra-sindone/

No período da Revolução industrial (começada no século XIX e influenciando na construção civil principalmente a partir do século XX), as novas tecnologias construtivas incentivaram novas abordagens da luz na arquitetura. A introdução do ferro e os novos métodos construtivos, com estruturas mais leves, permitiam a abertura de maiores vãos nas fachadas, e assim maior entrada de iluminação natural. A luz zenital também foi muito explorada, algo que já havia sido construído no passado, mas agora era possível ser executado de maneira bem menos complexa. Vale ressaltar que, se por um lado as maiores aberturas permitiam maior entrada de luz, por outro comprometia o conforto térmico nos ambientes.

Arquitetos e outros profissionais da área, desde o século XX já demonstravam preocupação com as inadequadas condições projetuais e ambientais em locais de trabalho. Segundo Fonseca (2004), ainda na primeira metade do século XX, vários profissionais dedicaram-se a analisar questões relacionadas a como o ambiente interno poderia ser melhor projetado de acordo com as demandas dos seus usuários.

Em relação à arquitetura dos edifícios de escritórios, a Escola de Chicago (movimento arquitetônico iniciado no final do século XIX nos EUA) exerceu grande influência na sua evolução (FONSECA, 2004). Sua grande contribuição foi nos projetos inovadores de edifícios altos com estruturas de concreto armado e de aço. A nova tipologia liberava as fachadas e paredes internas de sua função estrutural, e assim permitia aberturas maiores e o aumento das lajes. Na mesma época, em meados do século XX, também se consagraram as fachadas com painéis de vidro.

Tais inovações foram importantes para atender a necessidade de ter iluminação mais abundante dentro dos espaços e a racionalização dos pilares internos, o que permitia espaços mais amplos e layouts mais flexíveis.

> O primeiro arquiteto a encarar de uma forma global e integrada, o projeto arquitetônico e o design dos ambientes e instrumentos de trabalho, segundo os ideais da Escola de Chicago, foi Frank Lloyd Wright. Um exemplo é o projeto do Larkin Building, 1904, em Buffalo (NY). Nesse projeto, o átrio central, de pé-direito elevado, destinado aos empregados de escalão inferior, é iluminado por ampla clarabóia e circundado por quatro pavimentos de galerias, onde se localizavam as salas privativas dos funcionários mais importantes. [...]. Pela primeira vez adotou-se um sistema central de renovação e climatização do ar, com dutos embutidos na alvenaria e grelhas de insuflação e retorno. Também, pela primeira vez, se projetou um mobiliário específico de trabalho, sendo o aço o material de acabamento, condizente com a clareza e racionalidade do desenho geral do edifício. (FONSECA, 2004)

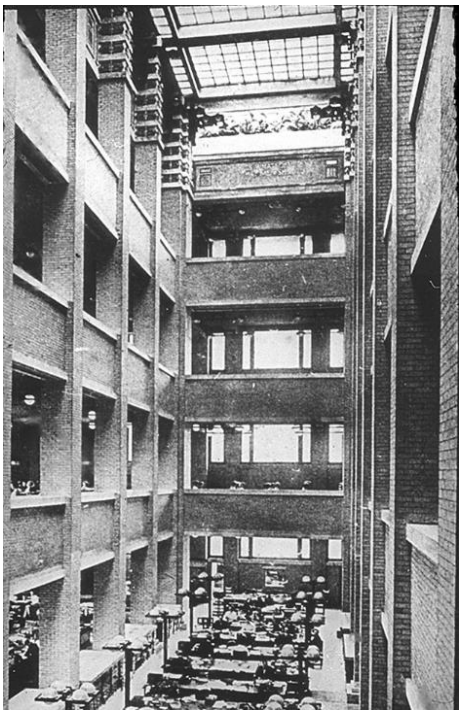


Figura 2: Interior do Larkin Building.
Fonte: http://rubens.anu.edu.au/raid2/no_dgb/pics/4/large/002132922905_08.jpg

Segundo Gutierrez e Labaki (2005), no Brasil, as discussões acerca da importância do projeto bioclimático já se manifestavam a partir da década de 20. Em memoriais descritivos de projetos da época, observam-se indicações do uso de soluções passivas na concepção das envoltórias das edificações, inclusive para o controle da entrada de insolação.

A ideologia dos edifícios com fachadas de vidro foi amplamente difundida em diversos países. Esta questão teve um impacto muito grande na produção da arquitetura, especialmente a tipologia de edifícios altos de escritórios, devido ao

excesso da radiação direta que penetra nas edificações com grandes áreas envidraçadas. “As torres de vidro foram exportadas sem uma readaptação ao clima e características culturais dos locais de destino, como um símbolo de poder, criando um verdadeiro ícone dos edifícios de escritório” (PEREIRA, 2013 *apud* DUTRA, 1994).

Vários arquitetos da época, como Mies Van der Rohe e Le Corbusier demonstravam muito interesse em estudar a luz na arquitetura. Foram desenvolvidos diversos ensaios explorando a transparência do vidro permitindo a entrada da luz, experimentos com as reflexões da luz por meio dos materiais, e o jogo de luz e sombra como forma de proporcionar um aspecto escultural à arquitetura.

Com a lâmpada já inventada no século XIX, o início do século XX trouxe uma inovação importante: a introdução de sistemas de iluminação artificial nos edifícios. Com o fácil acesso a fontes de energia elétrica eficientes, eletricidade barata e abundante, a iluminação artificial passa a ser usada de um modo extensivo e contínuo e não apenas como complemento à luz natural. “Contrariamente ao que acontece com a iluminação natural, a iluminação artificial oferece uma luz constante e facilmente quantificada e permite ainda uma maior flexibilidade no desenho de espaços construídos” (COSTA, 2013).

> Os Estados Unidos e a Alemanha foram pioneiros na utilização da iluminação artificial, mas enquanto os Estados Unidos se iniciaram na iluminação comercial e desenhavam a sua própria revolução interna na área da engenharia elétrica, a Alemanha desenvolvia ideias utópicas de um futuro dominado pela luz e pelo vidro, tornando os edifícios em estruturas cristalinas que filtravam a luz solar até ao seu interior, durante o dia, e que se tornavam em lanternas incandescentes ao anoitecer. Com o potencial crescimento da luz artificial, também a luz natural nos edifícios se altera. As construções tornam-se cada vez mais leves e transparentes, permitindo uma enorme quantidade de luz natural, decompondo a divisão o entre espaço interno e externo. (COSTA, 2013)

O ar condicionado e a iluminação artificial foram inovações tecnológicas marcantes na arquitetura pois permitiam o controle das principais variáveis climáticas, muitas vezes comprometendo as questões ambientais do projeto (MASCARÓ, 2005). A arquitetura moderna trouxe vários exemplos de edifícios com maior interesse nos valores visuais e desinteresse pela qualidade de isolamento térmico e acústico pela envoltória das construções, explicados pela possibilidade de adoção das novas tecnologias. As estruturas com vidro nas fachadas e coberturas

surgem como “parte de um período importante na nova arquitetura, que implicava em gastos (quando não desperdício) de energia devido às perdas e ganhos térmicos, próprios de sua capacidade térmica” (MASCARÓ, 2005).

Ainda em meados do século XX, os sistemas de condicionamento de ar passam ser utilizados de forma mais intensiva. O desenvolvimento e disseminação da luz artificial e de sistemas de condicionamento de ar, aliados à energia elétrica barata e o seu fácil acesso nos centros urbanos, impulsionaram ainda mais a ideologia dos edifícios com fachadas inteiramente de vidro, pois assim conseguiam proporcionar melhor conforto ambiental, independente das condições climáticas dos locais (GUTIERREZ; LABAKI, 2005).

Segundo Costa (2013), a partir da segunda metade do século XX, a luz natural ainda continuava a ser explorada na arquitetura, apesar da energia elétrica e novas tecnologias se imporem rapidamente. Os projetos do arquiteto Frank Lloyd Wright são exemplos desta tipologia, sempre com interesse na compatibilização entre a luz natural e a artificial. Sua obra do Museu Guggenheim (1959), em Nova York, permite a entrada da luz pela sua cúpula, iluminando a famosa rampa em espiral, e tem a complementação pela iluminação artificial direcionada às obras de arte nas paredes que cercam a rampa.

Figura 3: Interior do museu Guggenhein, iluminação zenital central iluminando áreas de circulação complementada pela iluminação artificial direcionadas às obras de arte.
Fonte: Acervo pessoal

Na segunda metade do século XX, a energia elétrica passa por um revés:

> No início dos anos 1970, a crise do petróleo impactou profundamente o uso da iluminação artificial nas edificações. Com o aumento do custo do petróleo, muitos países tiveram que reduzir o consumo de energia elétrica, pois suas matrizes de geração eram termoelétricas, ou seja, consumiam derivados de petróleo. Surgiram preocupações na sociedade quanto à otimização no uso da iluminação e buscou-se a melhoria na eficiência nos equipamentos. Foram criadas, por exemplo, lâmpadas fluorescentes eletrônicas compactas para que fossem facilmente utilizadas nas habitações, bem como houve o desenvolvimento de lâmpadas de descarga mais eficientes e duráveis para o uso na iluminação pública, como as lâmpadas de vapor de sódio, por exemplo. Nas primeiras décadas do século XXI, as lâmpadas de LED, muito mais duráveis e com baixíssimo consumo de energia, começam a substituir todas as outras e, com a diminuição de seu custo final ao consumidor, passam a tornar-se acessíveis aos usuários de todas as categorias de uso, seja ele residencial, comercial ou industrial. (GALVÃO; D´OTTAVIANO, 2015).

Preocupações ambientais começaram a surgir ainda no final do século XX, impactando na utilização da iluminação artificial. Programas de controle do desperdício de energia relacionado ao uso dos sistemas de iluminação se tornaram comuns (GALVÃO; D´OTTAVIANO, 2015). Com este cenário, o uso da iluminação natural aliada à artificial passou a receber ainda maior atenção nos projetos.

Neste momento começam a surgir uma nova geração de edifícios altos com premissas de buscar melhor desempenho ambiental e eficiência energética (PEREIRA, 2013). Os novos projetos traziam estratégias com soluções passivas para ter melhor aproveitamento de iluminação e ventilação naturais. Também houve edifícios com maior preocupação em incorporar os avanços tecnológicos em termos de sistemas prediais mais eficientes e de materiais de menor impacto ambiental.

As preocupações com sustentabilidade passaram a receber ainda maior atenção com as criações dos “selos verdes”. Eles consistem em certificações que possuem determinados critérios para ser seguidos e assim o empreendimento gerar menos impacto ambiental. Existem vários sistemas de certificação ambiental em diversos países. Hoje, no Brasil, dois muito utilizados são o LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*), criado nos EUA em 1994 e difundido em diversos países, e o AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental - *Haute Qualité Environmentale*), criado na França em 1996 e lançado no Brasil em 2008.

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica), instituído em 2003 no Brasil, também criou um selo (Procel Edificações, de 2013) para incentivar a eficiência energética nos edifícios. Em geral, ele avalia a envoltória do edifício, iluminação e sistemas de condicionamento de ar e de aquecimento de água. O Procel Edifica calcula que o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Deste consumo, estima-se um potencial de redução em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações.

Para os edifícios já construídos, surge o conceito de *retrofit*: mais do que reformar o edifício e readequá-lo ao seu uso, o conjunto de intervenções também implica em modernizar suas instalações e prolongar a vida útil da construção. Para atender especificamente à iluminação artificial, tem-se o *retrofit* luminotécnico.

Equipamentos eficientes aliados com um bom projeto de iluminação é uma estratégia importante para auxiliar na redução de consumo de energia elétrica. A consciência tem de ser a de sempre procurar opções mais eficientes. Energia mais barata e eficiente é aquela que deixamos de usar, substituindo-a por fontes alternativas (SOUZA, 2008).

> Por que acender lâmpadas durante o dia? [...]. Somos chamados a mudar, a rever conceitos, a reciclar, reaproveitar, a gastar menos.... Enfim, a sermos mais conscientes. Mas nossas lâmpadas continuam acessas durante o dia. Por quê? (SOUZA, 2008)

Um projeto inteligente de iluminação adequa a tipologia do edifício para aproveitar a luz natural e faz uso da iluminação artificial apenas para complementar, planejando na sua necessidade para atingir níveis adequado de iluminação para o desenvolvimento das tarefas.

A integração da luz natural e artificial é de extrema importância para a arquitetura. A luz consegue realçar elementos, dar forma e volume à arquitetura, e conduzir a percepção do indivíduo. Além da estética, a iluminação também traz benefícios técnicos e fisiológicos, uma vez que bem aplicada diminui a fadiga visual, melhora a qualidade do ambiente para execução de todos os tipos de tarefas, auxilia na prevenção de acidentes, além de trazer bem-estar.

A busca da melhoria dos ambientes de trabalho, baseada na crença moderna de que a satisfação do funcionário com o seu local de trabalho aumenta a sua produtividade, tem incentivado até hoje grandes avanços do ponto de vista da ergonomia, da luminotécnica e do conforto termo acústico (FONSECA, 2004).

É considerando todos os aspectos expostos que a busca da melhoria deve ser contínua. Como integrar a luz natural com a artificial em um edifício já construído? Não havendo luz natural no ambiente, como tornar o sistema de iluminação artificial mais eficiente?

A sustentabilidade é uma temática com muito destaque atualmente e que definitivamente veio para ficar e contribuir com nossos hábitos e como nos relacionamentos com o meio ambiente. O consumo de energia elétrica é apenas um de seus conceitos e que já influencia a todos na sociedade, tornando essencial a busca por novos estudos, novas propostas e novas tecnologias.

JUSTIFICATIVA

A luz, seja ela natural ou artificial, é uma das questões essenciais num projeto de arquitetura, uma vez que essa é uma necessidade dos usuários. Para um projeto de iluminação mais eficiente, a luz natural e a artificial tem que ser pensadas em conjunto, porém este é um aspecto que nem sempre é considerado. Além de interferir no conforto visual dos usuários, uma iluminação artificial mal planejada também acarreta em elevado consumo de energia, uma questão importantíssima nos dias de hoje devido ao seu elevado custo e à alta demanda do setor energia elétrica.

Segundo Souza (2003), em edifícios de escritórios, o aproveitamento da luz natural pode reduzir de 35% a 70% o consumo de energia elétrica gasta em iluminação artificial. Quando associada a controles de iluminação artificial, a redução no gasto de energia pode alcançar de 60% a 80% (SOUZA, 2003)

A iluminação artificial é um assunto que vem crescendo e ganhando maior atenção ao longo das últimas décadas. Porém, ainda é possível perceber que a ampla compreensão e domínio de um bom projeto luminotécnico é algo que não está sempre presente nos edifícios. Para tornar os espaços já construídos mais adequados aos seus usuários, o *retrofit* luminotécnico aparece como solução, melhorando o conforto visual, diminuindo o consumo energético e atualizando a demanda do local à novas instalações e tecnologias. Junto ao projeto também é importante atentar-se à gestão do mesmo, entender todo seu processo e avaliar a execução final.

Assim, tendo em conta o impacto que o sistema de iluminação tem no conforto visual dos usuários e na eficiência energética, é importante que as questões pertinentes ao assunto continuem a ser abordadas. Dando também enfoque aos edifícios já existentes, com instalações defasadas ao que o mercado proporciona e com um sistema que não atende à demanda do local, se torna necessária uma maior atenção ao *retrofit* luminotécnico, aliado também à um modelo de gestão do processo de projeto.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de uma proposta para a gestão do processo de projeto de um *retrofit* luminotécnico de um ambiente de trabalho. Para tanto, a pesquisa analisa os conceitos que permeiam a iluminação artificial, sua integração com a natural e o *retrofit* luminotécnico, a partir da formulação de um referencial teórico e da avaliação de um estudo de caso de projeto luminotécnico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contextualizar a importância da integração entre a iluminação natural e artificial nos projetos de ambientes internos;
- Apresentar as características de uma iluminação natural e artificial de qualidade para o ambiente interno;
- Caracterizar a importância do projeto de *retrofit* luminotécnico;
- Propor diretrizes para a gestão do processo do projeto de *retrofit* luminotécnico.

MÉTODOS DE PESQUISA

Esta pesquisa é desenvolvida essencialmente a partir do levantamento de dados da teoria e da prática associados às condições de iluminação natural e artificial em ambientes internos e seu impacto na eficiência energética das edificações. Este levantamento foi seguido da análise crítica de um ambiente de estudo, com base em estudos de simulação computacional, para o qual foi elaborado um projeto de *retrofit* do seu sistema de iluminação artificial, com critérios para com a qualidade da iluminação e a eficiência energética.

Inicialmente foram feitos levantamentos bibliográficos relacionados à iluminação artificial, *retrofit*, projetos luminotécnicos e a gestão do processo de projeto por meio de artigos, teses e livros.

Acrescentando à revisão bibliográfica, foi feito um estudo das estratégias de um projeto de luminotécnico na intenção de exemplificar as principais questões abordadas sobre iluminação. O estudo foi realizado com os dados cedidos pelo arquiteto idealizador do projeto, que cedeu o material para ser apresentado e as informações relacionadas a ele.

Diante das informações levantadas da teoria e da boa prática, foi elaborado um processo de projeto de um *retrofit* luminotécnico. Também visando colocar em prática as questões abordadas, foi proposto um projeto de *retrofit* luminotécnico em um ambiente de sala de aula. O projeto foi elaborado com medições in loco e o auxílio de simulações computacionais de luz natural e artificial.

Ao final, foi elaborada a conclusão referente à importância do projeto de *retrofit*, como conduzi-lo e quais os possíveis resultados que pode trazer para os usuários.

ESTRUTURA DA PESQUISA

A monografia se inicia trazendo um breve histórico de como a luz, tanto natural como artificial, foi introduzida na arquitetura ao longo dos anos. A partir desta introdução, o trabalho está estruturado em 4 capítulos principais.

O capítulo 1 traz a revisão bibliográfica. Nele é abordado sobre os conceitos e grandezas da iluminação, a caracterização dos sistemas de iluminação artificial, conceituação de conforto luminoso e do projeto de *retrofit*.

No capítulo 2 é apresentado um estudo de um projeto luminotécnico em ambiente de trabalho, evidenciando suas estratégias de projeto para melhorar a eficiência energética.

O capítulo 3 apresenta uma proposta de gestão de processo de projeto de *retrofit* luminotécnico, tendo em vista tudo o que foi abordado nos capítulos anteriores.

O capítulo 4 é uma proposta de projeto de *retrofit* luminotécnico em um ambiente de sala de aula, que coloca em prática parte das diretrizes apresentadas no trabalho, com ênfase naquelas associadas ao projeto do *retrofit* propriamente dito.

CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 UNIDADES E GRANDEZAS DA ILUMINAÇÃO

Para ser possível mensurar os níveis de iluminação foram criadas terminologias e unidades de medidas específicas. Esses conceitos também são usados para definir as características das lâmpadas e outros equipamentos de iluminação.

FLUXO LUMINOSO (Φ)

O fluxo luminoso é a radiação (ou a quantidade de luz) total emitida pela fonte luminosa em todas as direções. O fluxo luminoso é representado pela letra grega Φ (FI) e sua unidade de medida é o lúmen (lm).

ILUMINÂNCIA (E)

É a quantidade de luz (o fluxo luminoso) incidida em determinada área. Como o fluxo luminoso não tem uma distribuição uniforme, a medida da iluminância não terá os mesmos valores em todos os pontos de uma mesma superfície. Unidade de medida é o lux (lx) e pode ser medida com Luxímetro. A NBR 8995-1 possui valores de iluminâncias recomendadas de acordo com o ambiente e sua atividade.

LUMINÂNCIA (L)

Luminância é a luz refletida nas superfícies. Pode ser medida com um aparelho chamado Luminancímetro. O valor é dado com a razão entre a intensidade luminosa na direção do observador e a superfície vista pelo mesmo (cd/m^2). Podemos definir também que a luminância é a percepção da claridade do observador no ambiente.

Luminância e Iluminância estão relacionados, considerando que a iluminância é usada para emissões de luz e luminância é usada para luz emitida a partir de superfícies. A Figura 4 ilustra estas grandezas.

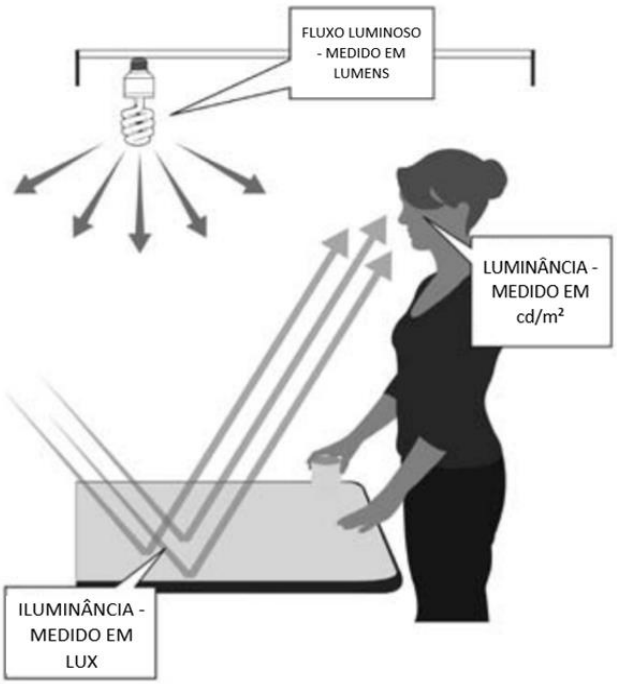


Figura 4: Esquematização de alguns conceitos
Fonte: *Lighting Handbook and Retrofit Guide*

INTENSIDADE LUMINOSA (I)

É a percepção da quantidade de luz emitida em determinada direção. Sua unidade de medida é candelas (cd). Quanto menor o facho de abertura da lâmpada, mais “forte” é aquela luz, ou seja, maior quantidade de candelas. Quando mais aberto for o ângulo da lâmpada, mais a luz se distribui e, portanto, menor quantidade de candelas.

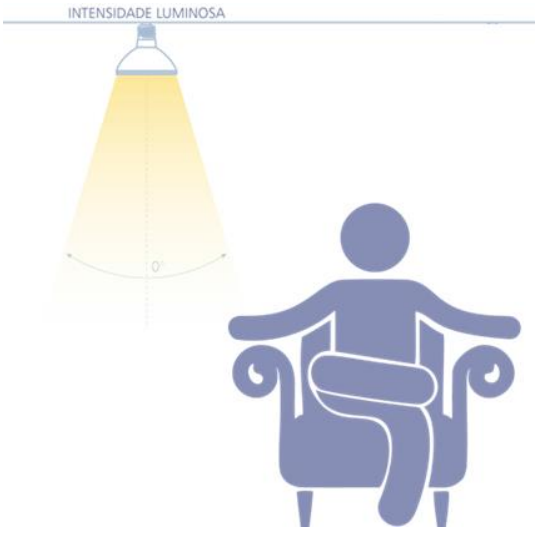


Figura 5: Esquematização da intensidade luminosa, dependendo do facho da lâmpada sua intensidade será maior ou menor.
Fonte: http://www.empalux.com.br/?a1=l

INDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)

Índice que demonstra a relação entre a cor real e a aparência percebida onde a luz artificial incide. Quando mais próximo de 100, significa que as cores apresentam maior fidelidade, mais próximo à reprodução de cores pela iluminação natural. Quanto mais baixo for o índice do IRC, mais deficiente é a reprodução de cores.

A Figura 6 demonstra o mesmo objeto sendo iluminado com lâmpadas de IRC diferentes. É possível verificar que mais à esquerda, com um IRC>90 as cores são reproduzidas de forma mais realista, com maior contraste. Na imagem mais à direita, com IRC<60, as cores já ficam distorcidas quanto a sua realidade, como se os tons se misturassem.

Figura 6: Demonstração do mesmo objeto sendo iluminado com lâmpadas de IRC diferentes.
Fonte: http://www.empalux.com.br/?a1=l

Se a reprodução de cor não for um dos quesitos mais importantes, então um IRC em torno de 70 pode ser suficiente. Porém, se o IRC for um requisito essencial para o projeto (como em supermercados) então as lâmpadas devem ter um índice de 90 ou mais. IRC 80 é um índice médio (considerado boa reprodução de cor) especificado na maioria dos projetos.

TEMPERATURA DE COR (K)

É o “termo usado para descrever a aparência de cor de uma fonte de luz comparada à cor emitida pelo corpo negro radiador (corpo que teoricamente irradia toda a energia que recebe) “ (VIANNA; GONÇALVES, 2001). Um corpo negro muda de cor ao mudar de temperatura. À medida que se torna mais quente, ele se transforma para uma aparência amarelada, branco e depois azul. Logo, há uma relação entre temperatura e cor da luz emitida, expressa em graus Kelvin.

A temperatura de cor é, portanto, a aparência cromática da luz emitida pela fonte. Na iluminação, quanto maior a temperatura de cor (K), diz-se que a tonalidade

de luz é mais “fria”, enquanto quanto mais baixa for a temperatura, mais ”quente”, com um tom amarelado. Em ambientes internos, normalmente usa-se temperaturas de cor variando de 2500K à 6500K.

Figura 7: Exemplificação das temperaturas de cor.
Fonte: https://www.foxlux.com.br/blog/dicas/as-unidades-de-medida-da-luz/

POTÊNCIA (W)

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

EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W)

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

1.2 CARACTERIZAÇÃO E DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O projeto luminotécnico começa a ser desenvolvido a partir da definição do tipo de iluminação que o ambiente precisa, isto é, de acordo com a sua função. Além do objetivo principal, de proporcionar boa visibilidade dentro do local para determinada atividade, pensa-se também no tipo de “atmosfera” que se deseja criar no ambiente, se terá algum efeito de luz, ou algum ponto de destaque (efeitos que são comumente utilizados em ambientes que não são somente de trabalho, diferentes de laboratórios, bancos, indústrias, etc.). A partir do escopo do que se deseja obter, são definidas as fontes de luz, os sistemas de iluminação e sua distribuição no ambiente.

1.2.1 FONTES DE LUZ ARTIFICIAL ELÉTRICA

LUZ INCANDESCENTE

O funcionamento de uma lâmpada incandescente ocorre pela passagem de corrente elétrica por um fio fino (filamento da lâmpada, feito de tungstênio), com alta resistência à eletricidade. Aquecida pela passagem da corrente elétrica, ela irá emitir tanto luz como calor e se tornará incandescente. O filamento está contido numa ampola de vidro preenchida por um gás inerte (que não participa da reação, como argônio, criptônio, nitrogênio, etc.) ou em vácuo, no caso de lâmpadas de potências inferiores a 40W, de modo a retardar o desgaste do filamento. (FERNANDES, 2008)

Para se obter um maior rendimento o filamento é espiralado. Com esta técnica, o filamento apresenta uma menor superfície efetiva de contato com o gás, reduzindo as perdas de calor por condução e convecção. (FERNANDES, 2008).

As lâmpadas incandescentes possuem ótimo índice de reprodução de cor, próximo a 100, porém, as mais tradicionais tinham apenas 10% de sua energia consumida transformada em luz. Devido à sua baixa eficiência, estas lâmpadas, que eram muito utilizadas em residências, estão fora de circulação no Brasil desde 2016, proibidas pela Portaria nº1007 de 2010 do Ministério de Minas e Energia.

Ainda há outra lâmpada de fonte de luz incandescente muito utilizada, chamada popularmente de halógena. A lâmpadas incandescentes halógenas tem um filamento de tungstênio semelhante ao da lâmpada incandescente tradicional, mas é muito menor. Além do gás inerte, contém um elemento halógeno (normalmente bromo ou iodo) no interior do bulbo (feito em quartzo, que resiste à altas temperaturas). A reação com o gás halógeno permite o filamento a trabalhar em temperaturas mais elevadas, além de contribuir para a regeneração de suas partículas (OSRAM, 2005). Assim, as halógenas obtém uma luz mais brilhantes e uniforme e, se comparada às incandescentes tradicionais, tem ainda maior eficiência energética (mais luz com potência menor ou igual) e vida útil mais longa.

Algumas lâmpadas halógenas possuem um refletor espelhado multifacetado, como as populares lâmpadas dicróicas. O refletor tem a propriedade de desviar parte do calor para trás, reduzindo sua radiação térmica (cerca de 60% da radiação infravermelha emitida), além de fornecer uma iluminação mais dirigida (VIANNA, GONÇALVES, 2001).

LUZ DE DESCARGA

As lâmpadas de descarga caracterizam-se pela condução da corrente elétrica em um meio gasoso (normalmente argônio, neônio, xenônio, hélio ou criptônio, além dos vapores de mercúrio e sódio). Este tipo de lâmpadas é constituído por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor metálico e dois eletrodos colocados nos extremos do tubo. Quando uma tensão é aplicada aos eletrodos, tem-se uma descarga elétrica produzindo excitação dos elétrons, o que leva à ionização do gás, e que por sua vez dá origem à emissão de luz (FERNANDES, 2008). Para o controle da corrente elétrica fornecida à lâmpada ou a estabilização da corrente, as lâmpadas de descarga requerem um outro dispositivo, chamado reator.

> A passagem de uma corrente elétrica através de um gás pode produzir luz visível. Este é um processo completamente diferente do modo pelo qual as fontes incandescentes emitem luz. A excitação do gás pela eletricidade provoca colisões entre seus átomos, e essas colisões resultam na liberação de energia na forma de luz ultravioleta ou visível. Na natureza, a descarga de eletricidade mais comum que testemunhamos é o relâmpago – uma descarga elétrica através do ar. Ele dura apenas um instante, mas produz um flash muito intenso de luz visível. (INNES, 2012)

Uma vez que o processo de descarga do gás não envolve o aquecimento de materiais (como acontece nas fontes de iluminação incandescentes), ele costuma ser uma maneira mais eficaz de produzir luz visível. As lâmpadas de descarga também conseguem ter vida útil mais longa do que as incandescentes, e isto, somado à sua maior eficiência (geram mais luz visível para uma menor energia despendida), as tornam uma alternativa mais atraente (INNES, 2012).

Este tipo de fonte de luz divide-se em lâmpadas de descargas num gás ou vapor de baixa pressão ou de alta pressão (FERNANDES, 2008). As lâmpadas de descarga a baixa pressão operam sob pressão interna inferior à pressão atmosférica – o interior da lâmpada está em vácuo parcial ou total. Elas incluem as lâmpadas fluorescentes comuns, as lâmpadas fluorescentes de cátodo frio (geralmente empregadas em letreiros e que costumam ser chamadas de lâmpadas de neon, embora essa denominação esteja errada, pois frequentemente contem argônio, e não neon) e as lâmpadas de vapor de sódio (que produzem uma luz muito alaranjada, sendo mais comum na iluminação urbana) (INNES, 2012).

As lâmpadas fluorescentes talvez sejam a fonte de luz moderna mais comum, principalmente as fluorescentes compactas, muito usadas em residências. Elas são fabricadas em diversos formatos, tamanhos, potências e cores (INNES, 2012). A

lâmpada fluorescente recebe a corrente elétrica e produz quase que totalmente radiação ultravioleta, e não luz visível. O revestimento branco no interior do tubo de vidro é uma camada de pó fluorescente e outros minerais que reagem à radiação ultravioleta, absorvendo-a e voltando a irradiar parte dela na forma de luz visível (processo chamado fluorescência).

É da composição deste pó fluorescente que resultam as mais diferentes alternativas de cores, além de determinar a quantidade de luz e eficiência na reprodução de cor. Existem lâmpadas fluorescentes tubulares revestidas com pós especiais que garante maior IRC e redução no consumo de energia em torno de 20%. (VIANNA; GONÇALVES, 2001). Estas se tornam uma boa alternativa para instalações comerciais, escolas, escritórios, etc.

As lâmpadas de descarga de alta intensidade trabalham a uma pressão interna mais elevada que a pressão atmosférica. Elas incluem as lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão (utilizadas na iluminação urbana, produzem uma luz alaranjada levemente mais branca do que aquela criada pelas lâmpadas de vapor de sódio da baixa pressão), as lâmpadas a vapor de mercúrio (tecnologia relativamente antiga que produz uma luz branca levemente esverdeada, também usada em iluminação pública) e as lâmpadas de vapor metálico (uma ampla categoria de lâmpadas com opções de alta eficácia, usada em locais amplos, como estádios) (INEES, 20012).

Ainda há a lâmpada de luz mista, que além do filamento de tungstênio possui seu tubo de descarga preenchido com gás. “A radiação das duas fontes mistura-se harmoniosamente passando através da camada de fosforo para dar uma luz branca difusa com aparência agradável“ (VIANNA; GONÇALVES, 2001). São lâmpadas usadas em locais que necessitam de grande quantidade de luz e, por não precisarem de reator, são boas opções para a substituição das incandescentes, não havendo custo extra com demais equipamentos.

FONTES DE LUZ ELETROLUMINESCENTES

Os materiais eletroluminescentes emitem luz visível quando submetidos a uma corrente elétrica. Ao contrário da incandescência, no processo da eletroluminescência não exige a aplicação de calor; assim, suas as fontes de luz são essencialmente mais frias. “Elas também não dependem da criação de uma

descarga elétrica através de um gás, podendo seus bulbos ser muito menores do que os bulbos das fontes de luz de descarga" (INNES, 2012).

O processo de geração de luz de um LED (diodo emissor de luz) opera com base no princípio da eletroluminescência. Os LEDs são um dos mais recentes avanços na tecnologia da iluminação. Embora tenha sido descoberto no início do século XX, foi apenas no final dos anos 90 que se criou um LED de alta luminosidade e que emitisse luz branca.

> Com o desenvolvimento da tecnologia dos LEDs, as aplicações desses componentes, anteriormente restritas à utilização como lâmpadas indicadoras de relógios, calculadoras e outros aparelhos, ganharam nas últimas décadas, novos importantes mercados, destacando-se os dos produtos utilizados em sistemas para controle de tráfego (semáforos) e painéis luminosos de anúncios e mensagens, além dos sistemas para a indústria automotiva e para a iluminação arquitetônica. Esta última aplicação vem recebendo nos últimos anos uma grande contribuição de tecnologias emergentes de equipamentos e sistemas que incluem as novas gerações de LEDs de luz branca, mais potentes e eficientes, e de sofisticados sistemas de controle da intensidade e da cor dos fachos luminosos. (PIMENTA, 2006)

O LED é um componente eletrônico sem filamento ou tubo de descarga, composto de materiais semicondutores que convertem a energia elétrica diretamente em radiação luminosa. Para o seu funcionamento é necessária uma fonte de alimentação (também chamado de *driver*), um dispositivo que controla a corrente elétrica que chega à lâmpada de LED. Para o bom desempenho do LED também é essencial a sua dissipação de calor. A quantidade de calor emitida é mínima, porém, se a luminária onde ele for instalado não permitir esta dissipação, sua vida útil diminui drasticamente.

As lâmpadas de LED possuem alta eficiência energética e longa vida útil e por isso são uma escolha muito frequente em projetos de *retrofit* luminotécnico. Segundo Fernandes (2008), por não emitirem radiação ultravioleta e infravermelha, também são boas aplicações em locais para iluminação de quadros e obras de arte, onde a radiação é indesejada.

Esta ainda é uma tecnologia em constante avanço, mas atualmente já é possível encontrar lâmpadas LED dos mais diferentes formatos e características fotométricas, para as mais diversas aplicações. Uma de suas desvantagens é o IRC, normalmente com índice de até 80. Porém, no mercado já é possível encontrar algumas poucas opções com reprodução de cor mais elevada, com índice próximo a

100, o que demonstra sua constante evolução e potencial de ser aplicada em ambientes que demandem maior qualidade da luz.

1.2.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

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

- Iluminação Direta: quando o fluxo luminoso é incidido diretamente sobre a superfície que se quer iluminar. A luz direta pode estar associada à iluminação geral ou de destaque, dependendo de como for a luminária e sua aplicação. A luz direta pode ser dirigida, quando é direcionada para iluminar determinada superfície (exemplo da Figura 8); ou difusa, quando a luminária possui um difusor (normalmente de vidro ou acrílico), suavizando e distribuindo a luz para várias direções, proporcionando uma iluminação mais uniforme.

Figura 8: Iluminação direta dirigida para uma das paredes do ambiente
Fonte: http://angelaabdalla.blogspot.com/2010/09/tecnicas-de-iluminacao.html

- Iluminação Indireta: quando a fonte de luz não é vista e o ambiente é iluminado pela luz refletida. É um recurso muito utilizado para criar ambiências mais confortáveis, em locais de descanso, criando efeitos de luz ou uma iluminação geral mais amena. No exemplo da Figura 9, a fonte de luz fica escondida na sanca criada no gesso, reflete no teto e ilumina o ambiente de forma geral.
- Iluminação geral: quando a luz é direcionada a iluminar o ambiente por completo, podendo ser de forma indireta ou direta. Em locais onde se quer obter maior conforto visual, por exemplo, a iluminação geral pode ser projetada com luz indireta, criando uma ambiência mais amena.

Figura 9: Exemplo de iluminação geral com luz indireta, criada a partir de sanca aberta feita no forro de gesso, com a luz refletida no teto e redirecionada ao ambiente
Fonte: https://br.pinterest.com/pin/41658365286762470/

Em ambientes de trabalho, procura-se ter uma iluminação geral mais uniforme, normalmente com iluminação direta, dispondo as luminárias numa configuração mais regular de maneira que a luz seja distribuída de forma mais homogênea. É uma iluminação que proporciona maior flexibilidade na disposição do layout, já que o fluxo luminoso é distribuído de forma mais uniforme no ambiente. Porém, pode não atender níveis de iluminância mais elevados, se esta for uma necessidade para a atividade realizada no ambiente. Também é necessário ter atenção na forma que for aplicada, pois o sistema de luz direta, dependendo da altura da instalação e das caraterísticas das luminárias, pode acarretar em ofuscamento.

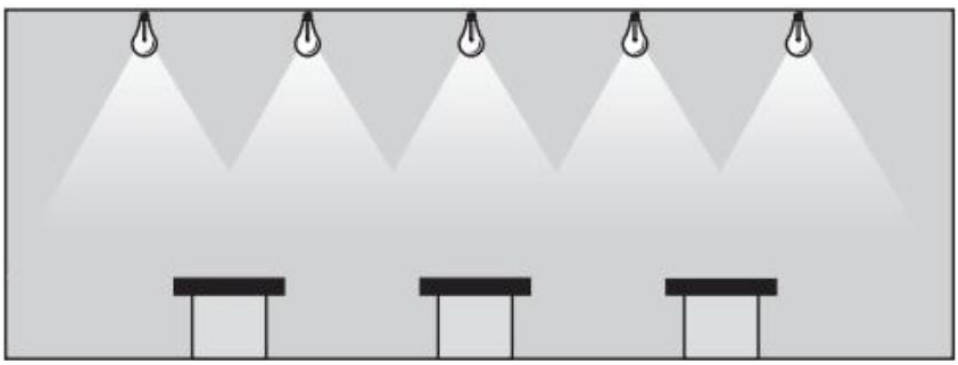


Figura 10: Ilustração representando iluminação geral com luz direta
Fonte: https://issuu.com/editorablucher/docs/issuu_ergonomia_isbn9788521203544/51

- Iluminação localizada ou de tarefa: quando a luminária é direcionada para concentrar a luz em determinado local de interesse. É muito utilizada em áreas de trabalho, como mesas de escritório, ou tarefas de fábricas, por exemplo. As luminárias devem ser instaladas de forma que a iluminância seja uniforme na área de trabalho, de acordo com o nível mínimo adequado indicado na norma ABNT NBR 8995-1. É um sistema que limita o layout, pois se houver mudanças perde-se o planejamento do sistema de iluminação. Porém, é um método de boa eficácia, posicionada de forma a elevar a iluminância numa determinada área do ambiente. Em alguns casos, ela é direcionada bem próxima ao plano de tarefa, iluminando uma área mais restrita, como no segundo exemplo da Figura 11, proporcionando uma iluminância que a iluminação geral precisaria de um alto consumo energético para conseguir atingir o mesmo resultado. A iluminação localizada sempre é complementada com iluminação geral, a fim de atingir maior uniformidade da iluminância no entorno ao plano de tarefa, como determina a norma.

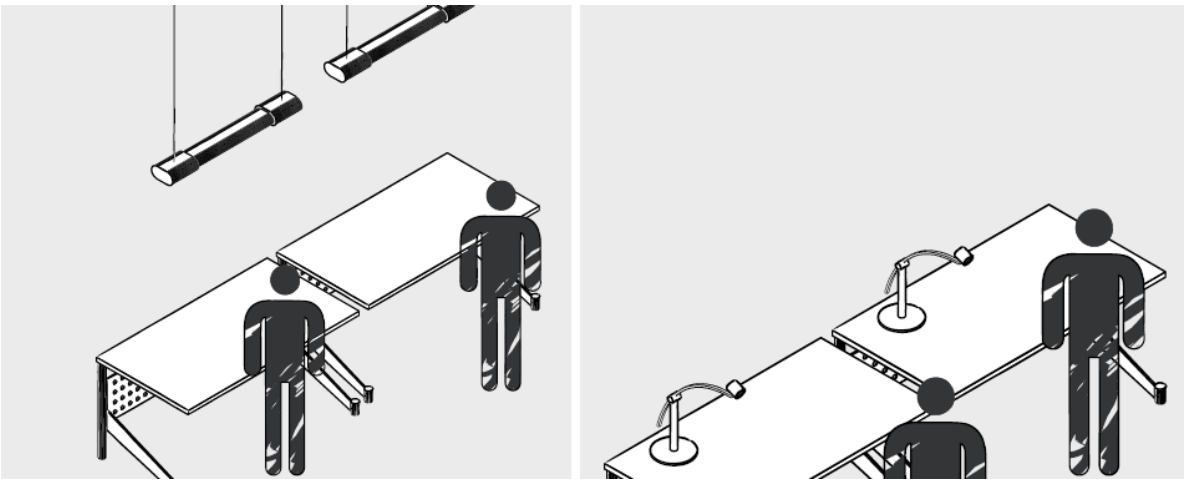


Figura 11: Exemplificações de iluminação localizada / de tarefa
Fonte: (OSRAM)

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

> Isso oferece ao especialista em luminotécnica o poder de estabelecer uma hierarquia visual ao controlar o brilho a cada parte de uma cena. Os destaques podem ser criados não apenas com o aumento dos níveis de iluminância, mas também com mudanças na direção ou na cor da luz. Eles podem ser empregados de modo sutil para atrair as pessoas às áreas iluminadas ou ressaltar um detalhe que de resto seria difícil de ver. (INNES, 2014)

Figura 12: Exemplo de iluminação de destaque com iluminação direta, direcionada para as prateleiras.
Fonte: https://www.siteco.com/fileadmin/downloads/application_brochures/Retail_2011_EN

Figura 13: Exemplo de iluminação indireta que, além de destacar a textura da parede, proporciona luz geral e cria uma atmosfera mais confortável e amena.
Fonte: https://www.hometeka.com.br/aprenda/tudo-sobre-iluminacao-indireta/

Como visto, os sistemas e efeitos de iluminação podem ser usados juntos, num mesmo ambiente, de acordo com a proposta do projeto. Aliados aos sistemas de iluminação, também é possível empregar sistemas de controle, adaptando os acendimentos, circuitos e fluxos luminosos, através de equipamentos auxiliares, de acordo com a necessidade de projeto.

Além do liga/desliga dos interruptores, é possível controlar a iluminação por meio de *dimmers*. Este é um dispositivo que permite o controle do fluxo luminoso da iluminação. Ao invés de ligar o circuito para funcionar com 100% do seu fluxo, quando o ambiente precisar de menos luz pode-se fazer esta diminuição pelo

dimmer, de forma manual. Este recurso permite adaptar a iluminação artificial para o necessário de acordo com a atividade no ambiente no momento que estiver sendo utilizado, diminuindo assim o consumo energético.

Para que se consiga alcançar uma economia de energia através da utilização de controles manuais é necessária uma atenção especial na distribuição dos circuitos de uma sala ou zona de iluminação. Segundo Costa (2003, *apud* BOYCE, 1980) é improvável que um usuário mude as condições de iluminação de um ambiente onde existam outras pessoas trabalhando, a menos que tal solicitação seja feita. Isto sugere que os sistemas de iluminação tenham em circuitos divididos em pequenas áreas, dando ao usuário a sensação de posse da luminária que está acima do seu posto de trabalho, encorajando-o a adaptar a iluminação conforme a sua necessidade (SOUZA, 2003).

Para o controle do acendimento do sistema de iluminação de forma automática, tem-se os sensores. Os sensores de ocupação são dispositivos que respondem à presença ou ausência de pessoas. Os sensores passivos de infravermelho, por exemplo, reagem à energia do calor infravermelho emitido pelas pessoas. São considerados passivos porque apenas detectam radiação, não a emitem (SOUZA, 2003). Portanto, percebendo o ambiente ocupado, os dispositivos são programados para manter as lâmpadas ligadas e possuem um tempo prefixado para desligar depois de perceber a ausência de pessoas. De acordo com Souza (apud JENNINGS et al, 2000), foi verificado em um edifício de escritórios em San Francisco (EUA) que a utilização de sensores de ocupação é capaz de reduzir o consumo de energia de 23% a 26%, quando comparado ao consumo de energia de um sistema com interruptor manual.

Também é possível controlar o sistema de iluminação com sensores de presença, que, ao captar algum movimento, aciona as lâmpadas. Este é um recurso muito utilizado em corredores e áreas comuns em edifícios públicos. Apesar do nome ser sensor de presença, é um sensor que capta o movimento, podendo ter as lâmpadas desligas mesmo que a pessoa permaneça no local, mas não se mova. Portanto, para um ambiente de trabalho esta não seria a melhor opção, mas ainda pode se mostrar eficiente quando instalados em locais de passagem.

Outro recurso de controle de iluminação é o fotossensor ou sensor de luz (fotocélula). Esta solução altera o fluxo luminoso das lâmpadas em função dos níveis de luz natural no ambiente, de forma a manter a iluminância definida em projeto (GHISI, 1997). Na Figura 14 é demonstrada a ação da fotocélula atuando em duas situações diferentes. Na figura da esquerda, com alta incidência da luz solar, a iluminação artificial e complementada com apenas 1% da sua capacidade. No segundo exemplo, com o céu nublado, a luz natural incidindo no ambiente não é suficiente para o nível de iluminância ideal, tendo a iluminação artificial atuando com 100% do seu fluxo luminoso.

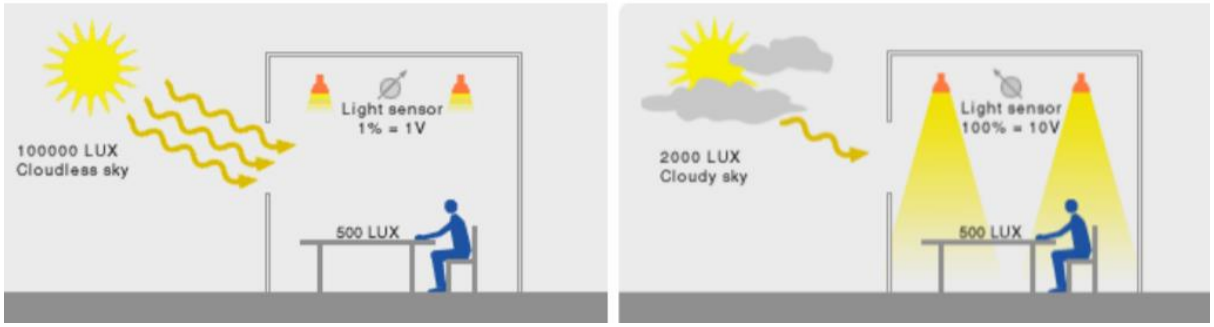


Figura 14: Exemplificações dos sensores controlando a iluminância do ambiente em duas situações com diferentes incidências de luz natural
Fonte: (LOUÇANO, 2009)

De acordo com Souza (2003), os sensores de luz são dispositivos que utilizam componentes eletrônicos que transformam a radiação visível (no caso, a luz natural) em sinais elétricos. Os sensores geram uma corrente elétrica proporcional à radiação recebida, ajustando, assim, a produção de luz do sistema de iluminação. Segundo GHISI (1997 *apud* VAN BOGAERT, 1996), a utilização de sistemas de controle de iluminação artificial em função dos níveis de iluminação natural pode gerar economia de 30 a 70%.

1.3 NORMA DE DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO

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

> A prática de uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais que apenas fornecer uma boa visualização da tarefa. É essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Desta maneira a

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

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

A boa distribuição da luminância é importante para conforto visual do usuário. Para tal, a NBR 8995-1 indica evitar luminâncias muito altas, que podem levar ao ofuscamento; contrastes muito altos, que causam fadiga visual devida à continua readaptação dos olhos; e luminâncias e contrastes muito baixo, gerando um ambiente de trabalho sem estimulo.

A norma determina índices de iluminância de acordo com diversos tipos de ambientes e atividades, a fim de proporcionar segurança visual no trabalho e as necessidades do desempenho visual. Para determinados ambientes de trabalho em escritórios e edifícios educacionais, algumas das recomendações estão demonstradas na Tabela 1. A iluminância média para cada tarefa não pode estar abaixo dos valores indicados, independentemente da idade dos usuários e condições da instalação.

A Tabela 1 estabelece o nível de iluminância mantida (E_m, em lux) recomendado para a superfície de referência para a tarefa ou atividade do ambiente indicado; o índice limite de ofuscamento (UGR_L) aplicável; o índice de reprodução de cor (R_a) mínimo; e algumas observações com recomendações específicas. É possível perceber que onde há tarefa de leitura e escrita o indicado é 500lux. Para alguns ambientes de atividades mais especificas, como atividades mais técnicas, que podem requerer maior acuidade, a iluminância média aumenta para 750lux. Para lugares onde a área específica é desconhecida, a área do ambiente onde a tarefa pode ocorrer é considerada a área de tarefa.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
22. Escritórios				
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300	19	80	
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Desenho técnico	750	16	80	
Estações de projeto assistido por computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Salas de reunião e conferência	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Recepção	300	22	80	
Arquivos	200	25	80	
28. Construções educacionais				
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	$T_{cp} > 5\,000$ K.
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.

Tabela 1: Recorte da tabela da NBR8995 com indicações de alguns casos em ambientes de escritório e educacionais.
Fonte: NBR ISO 8995-1

Convém o aumento da iluminância se as condições visuais forem diferentes, com alguma especificidade. Exemplo disso são situações em que a capacidade de visão dos trabalhadores está abaixo do normal, ou quando o trabalho visual é crítico e requer maior exatidão. Também é possível reduzir o nível de iluminância em locais onde a tarefa é realizada em um tempo excepcionalmente curto, ou se os detalhes da atividade forem de um tamanho muito grande, por exemplo. Mesmo havendo redução, a iluminância em ambientes de trabalho não deve ser inferior a 200lux.

Além da iluminância na área de tarefa é também preciso atenção para a iluminância no seu entorno imediato, provendo uma distribuição bem balanceada da luminância no campo de visão. Segundo a NBR 8995-1, mudanças drásticas nas

iluminâncias ao redor da área de tarefa podem levar a um esforço visual estressante e desconforto. A Tabela 2 indica os níveis de iluminância do entorno imediato de acordo com a iluminância da área de tarefa.

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

Tabela 2: Tabela da NBR 8995-1 indicando os níveis adequados de iluminância do entorno imediato de acordo com a área de tarefa.
Fonte: NBR ISO 8995-1

A uniformidade da iluminância é outro critério importante, calculado pela razão entre o valor mínimo e o valor médio de iluminância do ambiente. O cálculo é feito medindo (ou fazendo simulação em software de iluminação) a quantidade de luz em vários pontos da área de tarefa e área de entorno. A uniformidade é então calculada com os valores da maior e da menor iluminância medida. A iluminância deve se alterar gradualmente. A área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível e seu índice não pode ser menor que 0,7. A uniformidade da iluminância no entorno imediato não pode ser inferior a 0,5.

O ofuscamento visual ocorre quando há uma perturbação causada pelo brilho em excesso, indesejado, causado pela luz em grande intensidade. O ofuscamento pode se dar por uma luz direta ou indireta, refletida por alguma superfície em direção do campo visual do observador (luminâncias muito altas), como demonstrado na Figura 15. É importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes.

O cálculo do valor referente ao ofuscamento considera tanto fatores e luminâncias do ambiente quanto da luminária, além de sua posição e ângulo em relação ao observador. De acordo com a norma NBR 8995-1, a escala dos valores de ofuscamento (UGR) é “13-16-19-22-25-28” (sendo 13 o valor para ofuscamento menos perceptível) e seu índice não pode exceder o indicado de acordo com a atividade do ambiente (como visto na Tabela 1).

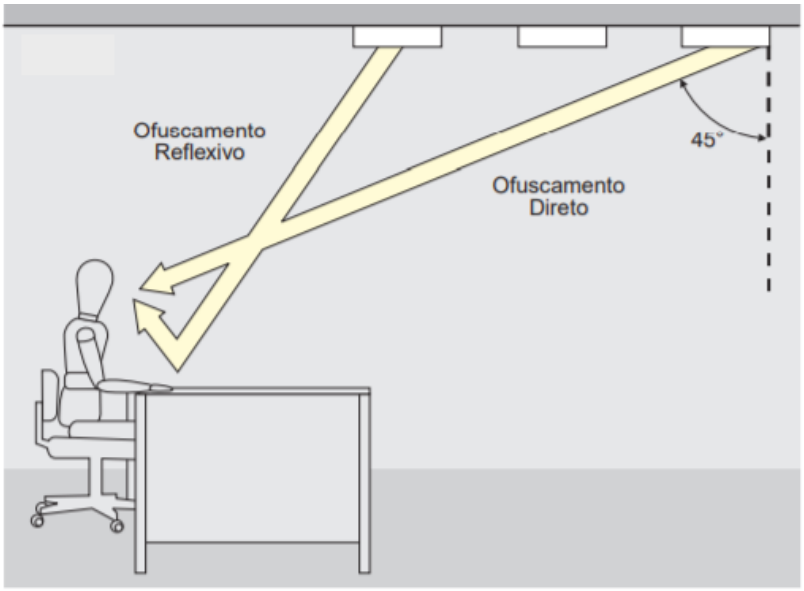


Figura 15: Ilustração demonstrando do ofuscamento direto e do ofuscamento reflexivo, quando reflete em alguma superfície.
Fonte: https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf

Nos ambientes de trabalho, o ofuscamento geralmente surge diretamente de luminárias brilhantes ou janelas. Para que isto seja evitado, a norma indica o recurso de proteção contra visão direta das lâmpadas e por anteparos nas janelas (elementos que controlem a entrada de luz natural a reduzam intensidade luminância das superfícies, como brises e persianas). Também é possível evitar o ofuscamento reflexivo no ambiente, tendo maior cuidado nos materiais de acabamentos utilizados (preferindo materiais pouco reflexivos), inclusive em tetos e paredes, evitando pontos brilhantes.

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

A aparência de cor da lâmpada é normalmente dividida em quente, intermediária (ou neutra) e fria, de acordo com a sua temperatura de cor, como mostra a Tabela 3. No projeto de iluminação, esta escolha varia de acordo com a estética e a ambiência que se quer criar. Em ambientes de trabalho, normalmente de usa aparência de cor neutra ou fria, enquanto que em ambientes de descanso, utiliza-se mais as lâmpadas de aparência de cor quente.

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata
quente	abaixo de 3 300 K
intermediária	3 300 K a 5 300 K
fria	acima de 5 300 K

Tabela 3: Classificação das aparências de cor
Fonte: NBR ISO 8995-1

Para o desempenho visual e a sensação de conforto, é importante que as cores do ambiente sejam reproduzidas corretamente, respeitando o indicado na norma (como demonstrado na Tabela 1, com os valores mínimos de *R*a de acordo com o tipo ambiente ou atividade). O valor máximo da reprodução de cor (*R*a ou IRC) é 100, diminuindo conforme a qualidade é reduzida. A norma não recomenda lâmpadas com IRC inferior a 80 em interiores onde as pessoas trabalham ou permanecem longos períodos.

A norma também ressalta a importância da manutenção para manter todas as características do sistema de iluminação definidos no projeto. É necessário preparar um cronograma de manutenção abrangente, incluindo a frequência necessária para substituição das lâmpadas, os intervalos e métodos de limpeza das luminárias, bem como dos equipamentos auxiliares.

1.4 VANTAGENS DO APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL E O CONCEITO DE CONFORTO LUMINOSO

O conforto ambiental é uma área de formação técnica definido pelo MEC que compreende o estudo das condições térmicas, acústicas, de ergonomia e organização do espaço e de iluminação.

O entendimento de conforto refere-se à resposta fisiológica do usuário ao estímulo que ele recebe. Ele sentirá as variáveis física do espaço e responderá através das suas sensações. Para conforto luminoso, quanto melhores forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço físico que o olho terá de fazer para se adaptar às condições ambientais, e, portanto, maior será a sensação de conforto do indivíduo (OSRAM).

Além de satisfazer aos índices de iluminância definidos na norma, também é importante atender às questões qualitativas da iluminação (como a adequada distribuição de luz para se obter maior uniformidade, qualidade das fontes de luz,

contrastes, ausência de ofuscamento, etc.) e o seu impacto no conforto visual dos usuários. A resposta fisiológica de cada indivíduo pode variar pois depende da interpretação de cada um, com suas diferenças físicas e emocionais, o que torna o conceito de conforto visual um tanto subjetivo. Portanto, é imprescindível atender aos requisitos mínimos da norma para o sistema de iluminação ter um desempenho adequado e, de acordo com os usuários, os índices para se obter maior conforto luminoso podem sofrer alguma alteração, como maiores níveis de iluminâncias.

> Dentro da relação entre iluminação natural e artificial, colocaríamos a seguinte premissa básica: é a luz natural que caracteriza o espaço. A artificial é um apoio necessariamente subordinado a ela. Esta premissa é realmente polêmica e deve ser relativizada. Primeiro, lembrando-se da condição noturna, quando a luz natural já não está presente. Segundo, considerando-se casos onde, pelas características do edifício, a luz natural não pode chegar. (VIANNA; GONÇALVES, 2001)

Durante a concepção do projeto, é importante que o arquiteto estude a variabilidade de luz solar no local e planeje a forma que a luz natural estará incorporada nos ambientes. A partir destas definições é feito então o planejamento de como a iluminação artificial será integrada.

> O uso da iluminação natural em edificações é tanto arte quanto ciência, ou seja, a luz natural é tanto um elemento estético de projeto quanto elemento técnico que exige dimensionamento e avaliação de desempenho. O uso da luz natural pode afetar o arranjo funcional do espaço, o conforto visual e térmico dos ocupantes, a estrutura do edifício, o uso de energia na edificação, o tipo e uso de iluminação elétrica e de sistemas de controle associados, sendo que o calor vindo da entrada direta de radiação solar deve ser contrabalançado com adequada ventilação natural dos ambientes. (SOUZA, 2008)

Um bom planejamento do sistema de iluminação artificial acarreta em complementar os níveis de iluminância proporcionados pela luz natural, de acordo com o que for necessário para o desenvolvimento das tarefas do ambiente. Para tal, são definidos os sistemas de iluminação artificial, o posicionamento das luminárias de acordo com as aberturas dos ambientes, e a distribuição dos circuitos e utilização de controles de atendimento de forma coerente.

Em um projeto de iluminação bem dimensionado, além do fornecimento adequado de níveis de iluminância (determinado pela norma NBR 9885-1) também há dois outros propósitos: trazer satisfação de conforto e estética, e de promover a conservação de energia. (SOUZA, 2008).

Projetos desenvolvidos integrando a luz natural conseguem obter de 80% a 90% da iluminância necessária, nas horas diurnas do ano (VIANNA; GONÇALVES, 2001). De acordo com SOUZA (2003), a redução no gasto de energia elétrica,

proporcionada pela luz natural, quando associada a controles de iluminação artificial, pode alcançar de 60% a 80%.

Considerando que o sistema de iluminação artificial representa uma quantia considerável do consumo total energia elétrica das edificações, e o atual cenário de elevado custo e preocupação com novas crises no setor elétrico, fazer uso da luz natural em ambientes internos torna-se uma importante estratégia para a contribuição nessa redução de consumo de despesas. Em um país como o Brasil, com características climáticas que proporcionam elevada quantidade de luz natural durante o ano todo, percebe-se o grande potencial de contribuição para a sustentabilidade.

Segundo Dias (2011, *apud* AMORIM, 2002), quando se há um bom projeto de luz natural, ocorre ainda "uma economia indireta de energia, pois ao proporcionar a entrada de luz natural difusa controlada, obtém-se valores mais altos de iluminação com carga térmica menor que a gerada pela iluminação artificial, diminuindo a carga de refrigeração do ar condicionado".

A iluminação natural proporciona também uma ambientação agradável e mais humana, exerce um importante e positivo impacto na qualidade dos espaços, vida e saúde dos usuários, na medida em que a sua inconstância pode até interferir para as funções biológicas do corpo humano (DIAS, 2011 *apud* JOHNSEN, 998).

> Os benefícios da iluminação natural [...] não são somente para a economia de energia. A importância dada pelos ocupantes para a presença da luz natural e a comunicação visual com o exterior é fato inquestionável e determinante na agenda atual dos projetos que consideram a real qualidade ambiental dos edifícios, visando a satisfação e produtividade dos ocupantes. (GONÇALVES; BODE, 2015)

Segundo Souza (2008), diversas pesquisas realizadas verificaram que as pessoas preferem a luz natural à artificial, inclusive em ambientes de trabalho. A luz natural traz também vantagens no ponto de vista psicológico, proporcionando a comunicação visual com o exterior e a percepção das variações da luz com o passar do dia. "A luz do dia garante a riqueza de uma fonte em constante transformação. Temos a luz suave do entardecer suavizando as formas, os amarelos do fim de tarde dramatizando a paisagem, a força da luz ao meio-dia, a dramaticidade de um céu cinza carregado de chuva" (SOUZA, 2008).

Portanto, temos que considerar indispensável a luz natural sendo projetada para atender demanda de iluminação do ambiente, pensada como ferramenta de

diminuição do consumo de energia elétrica e melhoria do conforto do ambiente. E assim, a iluminação artificial é trazida para complementar, também com estratégias de eficiência e conforto visual.

1.5 CONCEITUAÇÃO E VANTAGENS DO *RETROFIT*

Além de sofrerem degradação natural, os edifícios, de um modo geral, tendem a se tornar antiquados, já que com o passar dos anos novos materiais e novas tecnologias surgem no mercado da construção civil.

O conceito de *retrofit* (“retro”, do latim, significa movimentar-se para trás e *fit*, do inglês, adaptação, ajuste) surgiu ao final da década de 90 nos Estados Unidos e na Europa. À princípio, o termo era utilizado na aeronáutica para se referir à atualização de aeronaves aos novos e modernos equipamentos disponíveis no mercado (BARRIENTOS; QUALHARINI, 2004).

Na construção civil usa-se o termo *retrofit* quando o principal foco é a modernização e requalificação do edifício, atualizando – o com materiais e tecnologias atuais. “A inserção de brises, alteração de esquadrias, mudanças nos revestimentos, instalação de novos sistemas elétricos, hidráulicos e de ar-condicionado, adequação à acessibilidade, todas as melhorias que garantam melhores usos e aproveitamento do potencial construtivo são ações de *retrofit*” (SAYEGH, 2008)

O conjunto de intervenções do *retrofit* é uma estratégia para modernizar, valorizar o edifício e prolongar a vida útil da construção, além de muitas vezes vir aliada à uma reabilitação do edifício, adequando sua funcionalidade à novos usos.

O surgimento do *retrofit* se deu principalmente porque a legislação de vários países não permitia substituir edifícios históricos, na intenção de preservar o acervo arquitetônico das cidades. Esta modalidade tem permitido construções antigas, muitas vezes abandonadas, terem seu partido arquitetônico e estrutural mantidas, revitalizando todo seu interior e modernizando as instalações, reabilitando-as para um novo uso.

> No Brasil, com a ampliação da preocupação com a defesa de áreas tombadas, aliada ao desenvolvimento das cidades, fez com que as

> técnicas do *retrofit* se mostrassem como uma ótima ferramenta neste mercado que se mostra em ampla expansão. Desta forma, percebe-se hoje uma tendência pela busca da moderna face do antigo, onde, prédios tradicionais das grandes cidades escapam da decadência, adotando fachadas arrojadas, aparato tecnológico e novas utilizações para seus espaços. (VALE, 2006)

Segundo Gonçalves e Bode (2015), por razões óbvias, a substituição do enorme estoque de edifícios existentes é inviável, e mesmo a demolição de grande parte dele resultaria em gastos muito altos, além de contribuir fortemente para as emissões de $CO_{2,}$ como resultado da energia associada à produção de materiais e ao processo da construção. Assim, é essencial que sejam desenvolvidas estratégias e técnicas para melhorar o as condições dos edifícios existentes.

Existem várias razões para se realizar um *retrofit.* Diversos autores indicam como principais vantagens a valorização direta do imóvel, o maior conforto proporcionado aos usuários, e a redução de custos de operação da edificação (custos necessários para o funcionamento do edifício). Outro aspecto para ser considerado tão importantes quanto, é a utilização do *retrofit* como ferramenta para a preservação da história de uma cidade ou país, através de seu patrimônio arquitetônico.

> Seguindo a mesma trilha de sucesso, já adotada em outros países cujo parque edificado encontra-se em idade mais elevada, grandes centros urbanos nacionais como Rio de Janeiro e São Paulo, vem apresentando nos últimos anos propensos sinais para requalificação e regeneração de suas edificações. Desta forma, apesar de jovem, o Brasil se mostra como um mercado bastante promissor para as intervenções de *retrofit* arquitetônico. Dentro do setor imobiliário percebemos uma maior procura por *retrofit* das edificações de uso comercial. As empresas, geralmente, têm maior capital para investir nessa área, aliada a uma busca constante da minimização de gastos. (VALE, 2006)

Portanto, o *retrofit* é um aliado na revitalização de regiões urbanas com grande quantidade de edifícios antigos, muitas vezes até abandonados. Com a escassez de terrenos vazios em regiões já consolidadas e com boa infraestrutura urbana, e os altos valores dos poucos ainda existentes, o *retrofit* torna-se uma solução viável para a demanda de novos edifícios do mercado imobiliário.

Barrientos (2004) classifica o *retrofit* em quadro tipos:

- *Retrofit* rápido: com serviços de recuperação de instalações e revestimentos internos;
- *Retrofit* médio: engloba os serviços de intervenção rápida e também intervenções em fachadas e mudanças nos sistemas de instalações da edificação;

- *Retrofit* profundo: além das atividades anteriores, inclui as intervenções em que há mudanças de layout que engloba, desde a compartimentação até a própria estrutura dos telhados;
- *Retrofit* excepcional: quando a intervenção ocorre, principalmente, em edificações históricas ou localizadas em áreas protegidas.

As fases do *retrofit* podem ser concentradas em 3 principais: diagnóstico do desempenho da edificação antes do *retrofit,* análise de desempenho das estratégias de *retrofit*, e escolha das estratégias a serem aplicadas (FERNANDES, 2015).

Para o diagnóstico da edificação, além da análise técnica, a avaliação pós ocupação (APO) é uma ferramenta importante a ser inserida (quando o local continuar com o mesmo uso). Segundo Romero (2016), a APO é uma "metodologia de avaliação que insere a figura do usuário no processo avaliativo".

> Os espaços construídos que abrigam as suas práticas... como é estar neles? São adequados, parcialmente adequados ou inadequados? Em que aspectos? Em que medida? A sua opinião com relação a isso é igual à opinião de alguém que compartilha estes mesmos espaços com você? (ROMERO, 2016)

Para o diagnóstico inicial, muitas questões podem ser analisadas pela avaliação pós ocupação, variando de acordo com o tipo de ambiente em análise ou com o objetivo específico da avaliação. Das variáveis abrangidas pela avaliação, podemos citar: as questões construtivas, abrangendo desde as fundações ao acabamento da edificação; o conforto ambiental e conservação de energia, avaliando aspectos relacionados também com ventilação e iluminação natural; questões funcionais, referentes ao planejamento e funcionalidade do local, além de fluxos de trabalho, dimensionamento de áreas e adequação de mobiliário; questões econômicas, analisando os indicativos financeiros relacionados às propostas formuladas para o estudo de caso, fornecendo também parâmetros para se medir a eficiência do ambiente construído; questões estéticas, relacionadas à análise do estilo e da percepção ambiental, a partir das características do local; e questões comportamentais, através de questionários, entrevistas e observações do comportamento dos usuários , analisar aspectos da adequação do espaço ao uso (ROMERO, 2016).

O custo do *retrofit*, segundo Barrientos (2004), depende de vários fatores como o grau de intervenção, o tipo de trabalho e os serviços a serem feitos, os

materiais gastos, profissionais necessários, dificuldade de acesso, e a presença de ocupantes durante o processo.

Segundo Moraes e Quelhas (2011), cabe aos gestores da construção civil, em particular aos que irão se envolver na recuperação, manutenção e restauração de edifícios, “considerarem que os aspectos ambientais de uma construção são tão relevantes quanto os aspectos técnicos e econômicos, considerando que mesmo um *retrofit* causaria impacto no meio natural”. Portanto, é essencial adotar uma postura técnica que contribua para minimizar impactos ambientais, priorizando a utilização de tecnologia limpa e não poluente.

1.5.1 *RETROFIT* LUMINOTÉCNICO

O *retrofit* luminotécnico é um termo utilizado para definir alterações em sistemas de iluminação visando a utilização de tecnologias mais eficientes quanto ao consumo energético, alinhado à qualidade de lâmpadas e equipamentos e conforto do usuário (GHISI, 1997). O desgaste dos sistemas elétrico e de iluminação dos edifícios é inevitável, muitas vezes ocorrendo de não atenderem às normas e consumir energia elétrica em excesso.

Portanto, na iluminação, o conceito de *retrofit* tem o mesmo objetivo: modernizar e adequar o sistema de iluminação ao edifício e seus usuários, tornando-o mais eficiente e aumentando sua vida útil. O método tem se tornado uma solução muito utilizada também em situações que visam a diminuição do consumo de energia elétrica.

Segundo Barrientos (2004), a eficiência de uma edificação pode ser entendida como um conjunto de fatores e soluções adotadas que visam obter a maximização da qualidade de utilização do ambiente e a redução dos custos de operação.

De acordo com dados do Procel Edifica, o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. De acordo com a ABILUX (2015), o sistema de iluminação representa cerca de 20% do consumo de energia elétrica.

O *retrofit* luminotécnico, no sentido da eficiência energética, é uma estratégia viável para a maioria dos edifícios comerciais. A substituição de componentes do sistema de iluminação antigos, por novos de mais eficiência, pode economizar até 50% do consumo de energia com iluminação de um edifício, mesmo mantendo ou melhorando a qualidade visual do ambiente de trabalho. A maioria dos trabalhos de *retrofit* de iluminação tem o retorno do investimento inicial em menos de 5 anos. Quando a satisfação do usuário e sua produtividade são consideradas na análise econômica, as melhorias no sistema de iluminação produzem benefícios imediatos (BENYA; LEBAN, 2011)

Mas os benefícios do *retrofit* luminotécnico vão além da economia de energia. Há outros objetivos que devem ser atingidos, como a quantidade de luz adequada, sua qualidade, o conforto luminoso que a instalação proporciona, redução em custos de manutenção, além de se adequar à norma. Também é importante incluir que reduzindo o consumo de energia consequentemente contribui-se para preservação do meio ambiente.

De acordo com Pereira (*apud* BOYCE, 2003), o conforto visual depende da tarefa a ser executada, assim, o que é considerado confortável em um espaço de lazer pode ser considerado desconfortável em um espaço de trabalho. A qualidade da iluminação deve considerar, além das medidas fotométricas, também a interferência no psicológico e fisiológico das pessoas.

Segundo Barrientos (2004), o projeto de *retrofit* de iluminação eficiente (com enfoque no consumo de energia), deve considerar alguns pontos principais: buscar o melhor aproveitamento possível de iluminação natural; consultar as normas quanto as indicações dos índices mínimos; escolher lâmpadas com maior eficiência luminosa (lm/W); escolher luminárias que potencializem a distribuição da luz; aplicar nas superfícies do ambiente materiais de boa refletância; aplicar dispositivos de automação, como *dimmers* e sensores fotométricos.

Atualmente, é muito comum o uso de softwares de simulação para se ter uma melhor análise da situação atual, e também das estratégias de projeto para o ambiente ou edifício. Vários *softwares* (tais como Dialux, Relux, AGI, Radiance, entre vários outros) permitem verificar a incidência de luz natural no local e seu potencial, e também o resultado final da implantação do sistema de iluminação

artificial. Além dos dados de cálculo dados pela simulação (como o nível de iluminância, ofuscamento, etc.), também é gerada uma análise em 3D demonstrando com cores os estão as maiores incidências de luz.

É importante ressaltar que deve haver um constante acompanhamento do projeto desde sua concepção à sua implementação e utilização. Sistemas de iluminação natural irão requerer usuários dispostos a fazer controle dos sistemas instalados ou dispostos a aceitar os controles automáticos instalados. Para tal, o conhecimento de seu funcionamento e a conscientização de suas vantagens têm papel fundamental para o bom uso dos sistemas (SOUZA, 2003).

CAPITULO 2: ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE PROJETO

2.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

O projeto luminotécnico de estudo, apresentado nesta pesquisa, foi feito para uma empresa de tecnologia, especializada em produtos e soluções de áudio, vídeos e sistemas de automação (por questões de sigilo foi solicitada não divulgação do nome da empresa). A realizadora do projeto luminotécnico foi a empresa WeLight, tendo o *lighting designer* Ruy Soares liderando uma equipe com mais 2 projetistas. O projeto luminotécnico foi entregue em julho de 2018.

A empresa estudada fica localizada no Condomínio Atlas Office Park, no bairro Vila Leopoldina, em São Paulo, e o edifício possui certificação LEED Gold (o 3º nível máximo dos 4 níveis do LEED, adotando estratégias sustentáveis em vários aspectos da construção). O empreendimento de uso comercial possui 4 torres com 3 pavimentos cada, além de ampla área verde, lojas e áreas de convivência.

Todas as informações deste estudo foram obtidas por entrevista com o *lighting designer* Ruy Soares e complementadas por materiais de projeto disponibilizados pela empresa realizadora do projeto luminotécnico.

No projeto corporativo havia salas para financeiro, comercial, reuniões, sala de treinamento, laboratório, salas para cada diretor, showroom, café, auditório e uma ampla sala de quase 190m² para funcionários em geral (staff).

Para o projeto luminotécnico, a intenção era adotar iluminação geral e de tarefa nos ambientes de trabalho, seguindo a norma técnica ABNT NBR 8995-1. Além desta norma, também era preciso atender os critérios estabelecidos pelo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design,* um selo de certificação para projetos que atendam uma série de requisitos de sustentabilidade), já que o edifício onde está o escritório possui a certificação.

A empresa também possui ambientes que não são essencialmente de trabalho, como o showroom, auditório, e um *working* café (espaço planejado para ser uma “sala de descompressão”), e para estes o partido foi criar uma atmosfera mais agradável à percepção dos usuários, estabelecendo níveis de iluminância adequados à visualização dos espaços.

2.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO

De acordo com o *lighting designer* Ruy Soares, o início do projeto foi pelo *briefing* com o cliente, coletando todas as suas demandas e expectativas. A partir desta reunião foi montado um programa de necessidades, definindo os principais pontos a serem atendidos.

Ainda na fase inicial, juntamente ao *briefing* também foi feito uma coleta de dados do local. Como era uma obra em fase de construção, não houve avaliação de sistema de iluminação previamente existente, mas foi necessário avaliar o potencial de aproveitamento da iluminação natural do local. Antes da visita ao local foi feito um estudo prévio da incidência solar das fachadas, já percebendo quais salas teriam maior potencial de aproveitamento da luz natural. Em todas as salas que possuíam janelas foram feitas medições com luxímetro para saber a incidência de luz que os ambientes recebiam.

Com os dados coletados, foi iniciado então o partido de projeto, apresentando todo o conceito inicial. Nesta etapa a equipe de projetistas utilizou imagens de referências e esboços iniciais, demonstrando as ideias que poderiam ser aplicadas. Após a apresentação, de acordo com o feedback dos clientes o partido recebe alterações.

Após a aprovação do partido inicia-se o anteprojeto. Nesta etapa o conceito é colocado no projeto técnico, já executando os cálculos necessários e simulações no software. Ao final, o anteprojeto também é apresentado ao cliente, explicando as simulações gráficas nos ambientes e como conceitos iniciais foram aplicados.

Com tudo aprovado, o projeto executivo vem complementando o anteprojeto, com todas as especificações técnicas e detalhamentos de execução. Além de todas as plantas do projeto executivo, também foi elaborado um memorial descritivo com todas as características das luminárias e lâmpadas de cada circuito do projeto.

Durante a fase projetual, a comunicação entre as equipes dos demais projetos complementares é fundamental para evitar conflitos de compatibilização durante a obra. O projeto de sistema de iluminação costuma conflitar principalmente com os de ar de condicionado e de sistema de incêndio (*sprinklers*).

Outro ponto importante de mencionar é que durante a etapa de execução é essencial o acompanhamento pela equipe especializada nas instalações de iluminação. Ainda é muito comum a execução incorreta quando feita por profissionais que não tem amplo entendimento do sistema, portanto este cuidado é importante para se alcançar todos os objetivos pretendidos pelo projeto.

Para o plano de manutenção, foi acordado que a equipe voltaria depois de um ano de funcionamento do local. Esta visita é importante para verificar se o sistema de iluminação ainda proporciona a iluminância necessária, já que as lâmpadas sofrem depreciação com o passar do tempo.

2.3 ESTRATÉGIAS DO PROJETO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO LUMINOSO

Para a análise das estratégias abordadas no projeto luminotécnico, foram avaliados os materiais disponibilizados pela empresa realizadora, além de informações fornecidas pelo *lighting designer* responsável pelo projeto.

A partir do programa de necessidades foram definidos os principais critérios que o projeto precisava atender. Além do estabelecido pela norma NBR 8995-1, era essencial também seguir as exigências do LEED, já que o edifício possui a certificação. De acordo com o manual do condomínio, é estabelecido que os sistemas de iluminação não ultrapassem, ao todo, um consumo de 9,5W/m². Além de atender aos índices de iluminância adequados para os ambientes de trabalho, em alguns ambientes, os clientes também solicitaram uma iluminação mais cenográfica, com maior conforto visual. Considerando que os donos também recebem clientes em suas respectivas salas, essa demanda foi principalmente pensando nesses momentos, criando uma nova atmosfera, mais agradável, além da iluminação de trabalho.

Os níveis de iluminância e distribuição das fontes de luz foram determinados seguindo os critérios de conforto visual, controle de ofuscamento, temperatura de cor adequadas, além do tratamento estético condizente com a expectativa dos clientes. Foi utilizada a temperatura de 4000K (branco neutro) para a iluminação em áreas de trabalho, e 2700K e 3000K para as áreas sociais e circuitos com finalidades mais cenográficas. A equipe também optou pela utilização de LEDs, considerando a

versatilidade e elegância que proporciona, além do baixo consumo de energia elétrica e longa vida útil. Também foi levado em conta o fato do LED não aquecer o ambiente, o que contribui para o maior conforto térmico e consequentemente reduz o consumo elétrico dos aparelhos de ar condicionado.

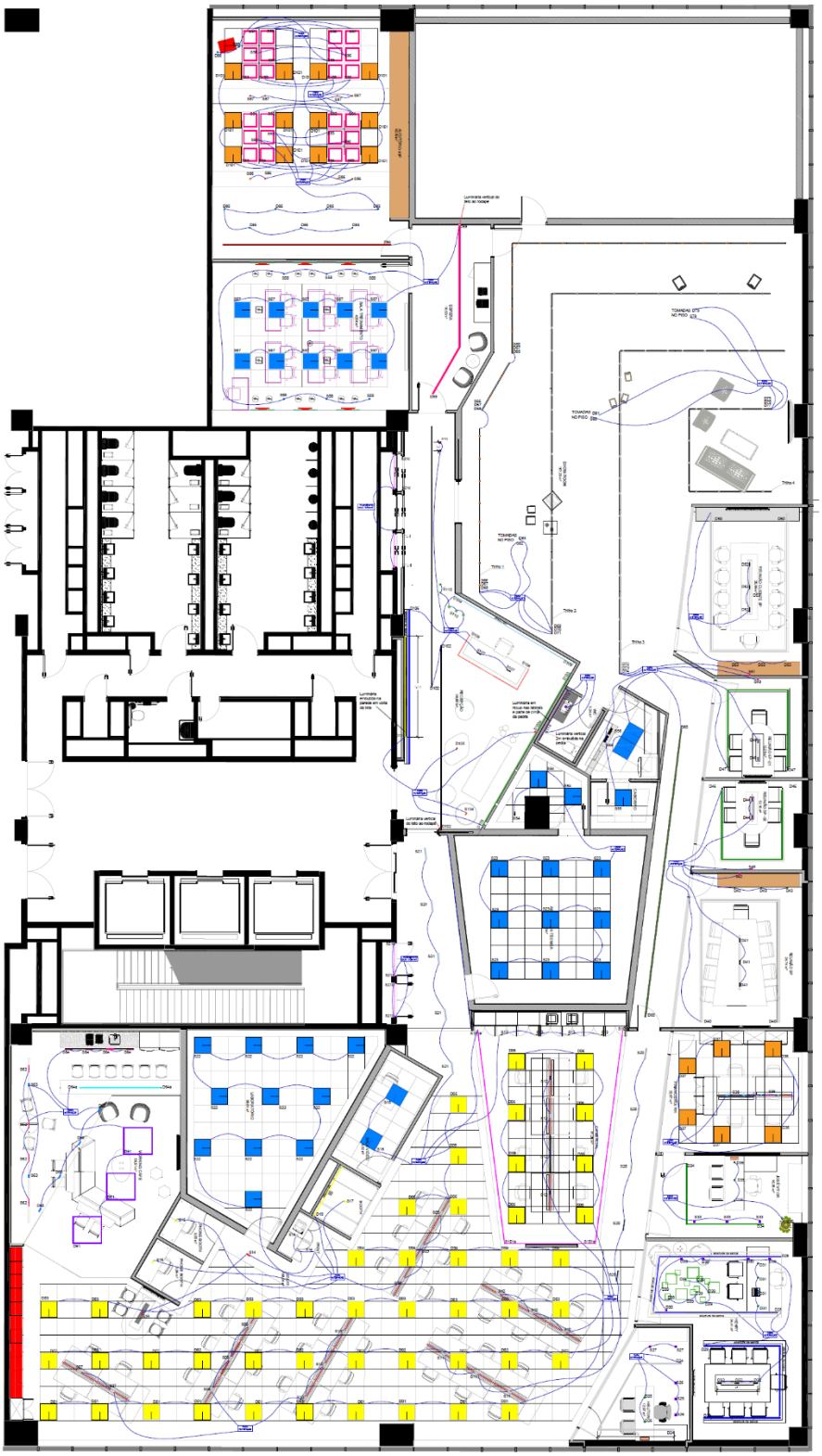


Figura 16: Planta baixa do projeto luminotécnico de todas as salas da empresa
Fonte: Material cedido pela We Light

No caso deste projeto estudado, a equipe preferiu fazer um anteprojeto levando em consideração apenas o atendimento à NBR8995-1 e às demandas do cliente para depois de aprovado adequá-lo aos requisitos do LEED. Este foi o principal desafio, pois, no anteprojeto apresentado, a Densidade de Potência de Iluminação (também chamado DPI, calculado pelo número de luminárias X potência das luminárias e equipamentos auxiliares / área do ambiente) ficou em 35W/m², enquanto a exigência do LEED era 9,5W/m² (valor estabelecido no manual do condomínio).

Para solucionar esta questão, foi realizado uma espécie de *retrofit* do anteprojeto: como torná-lo mais eficiente? Os pendentes das salas de reunião possuíam, de início, luz direta e indireta, e tiveram a luz indireta retirada. Não foi uma proposta bem aceita pelos clientes, já que a luz indireta traz o conforto visual e a proposta cenográfica que eles também queriam para as salas. Porém foi uma mudança que precisou ser feita, já que a luz direta proporciona maior eficácia na iluminação de trabalho, o que era essencial para o projeto e para o atendimento aos critérios do LEED.

Também houve a troca de fitas de LED por barras de LED. A barra de LED costuma alcançar uma eficiência maior (lm/W) e permite uma dissipação térmica maior do que a fita LED, conseguindo assim preservar a sua vida útil.

No sentido de corroborar com todos os parâmetros de eficiência energética, uma das estratégias principais era o aproveitamento de luz natural, e pelo levantamento de dados percebeu-se que havia este potencial. Na sala do staff, por exemplo, fazendo a medição em um dia ensolarado, num período com grande incidência de luz, foi percebido que as amplas janelas da fachada permitiam uma entrada de luz uniforme, tendo em torno de 500 lux até a metade da área da sala. Este é o maior ambiente da empresa, com maior número de funcionários (Figura 17). Assim, aliando-se à iluminação natural, foi especificado para a sala de *Staff* sistemas de controle para aproveitar ao máximo este potencial. As luminárias do ambiente foram previstas com sensores de luz, controlando automaticamente o fluxo luminoso de cada circuito, variando de acordo com o necessário para complementar a iluminação natural.

As luminárias de LED, para iluminação geral difusa, foram fornecidas pelo condomínio e adotadas no projeto. Porém, estas luminárias não possuíam o sensor de luz, necessária para a dimerização do fluxo luminoso, de acordo com a incidência da iluminação natural. Portanto, foi realizado como um *retrofit* nas luminárias LED trocando suas fontes convencionais para fontes com os sensores de luz.

Na Figura 17, o ambiente apresentado é a sala do *Staff.* É um ambiente de quase 190m², com formato muito irregular, o que já dificulta a distribuição homogênea da luz. No forro modular foram dispostas as luminárias de LED (representadas pelos quadrados amarelo), equidistantes, de modo que atendesse toda a área onde há estações de trabalho.

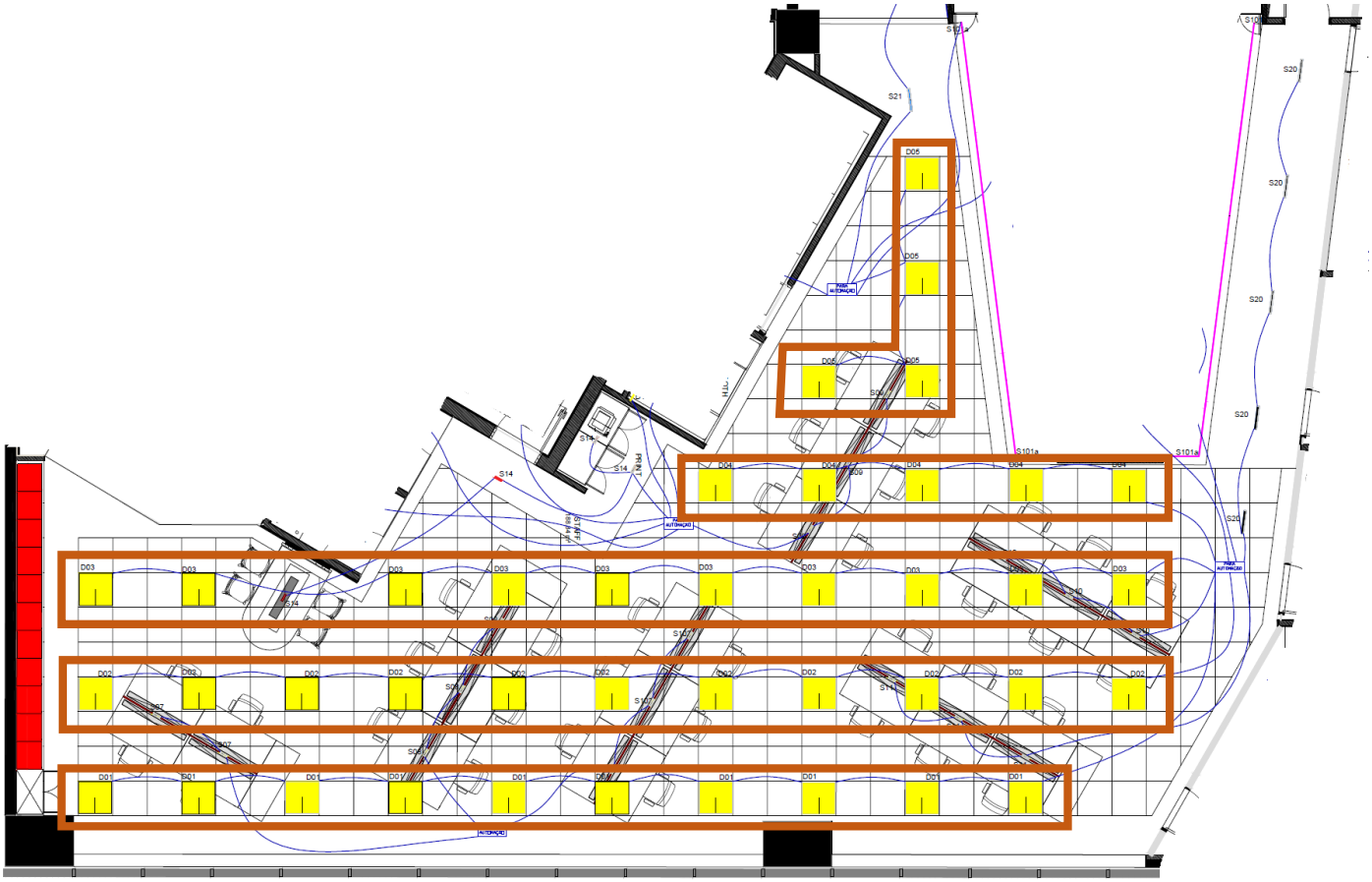


Figura 17: Planta baixa do projeto de iluminação da sala do *Staff,* mesmo o ambiente ter formato bastante irregular, as luminárias foram dispostas da forma mais homogênea possível.
Fonte: Material cedido pela We Light

A disposição dos circuitos foi feita de forma paralela à janela do ambiente, representados na Figura 17 (demonstrados pelas linhas vermelhas contornando as luminárias), totalizando 6 circuitos. Com a implantação dos sensores de luz, cada circuito tem um acendimento diferenciado, respondendo à iluminação natural que

recebem. Como resultado, na sala de staff foi possível verificar, em visita posterior, que as lâmpadas das duas fileiras mais próximas da janela funcionavam com baixo fluxo luminoso, enquanto o circuito mais distante da janela funcionava com 100% do seu fluxo luminoso. Não foi feita medição, mas foi constatado que o sistema estava funcionando como planejado e que estavam ocorrendo a economia de energia elétrica.

Na fase projetual também foram realizados estudos luminotécnicos utilizando o *software* Relux. Com o Gráfico de cores falsas (Figura 18), a imagem 3D montada pelo software demonstra, através de cores, onde há mais e menos iluminância no ambiente, de acordo com a iluminação artificial projetada. Pela escala tem-se que nas mesas de trabalho, onde está a coloração azul, há maior iluminância, acima de 500lux. Quanto mais vermelho, menor a luminância, podendo ser percebido nas paredes. As simulações não consideram a iluminação natural.

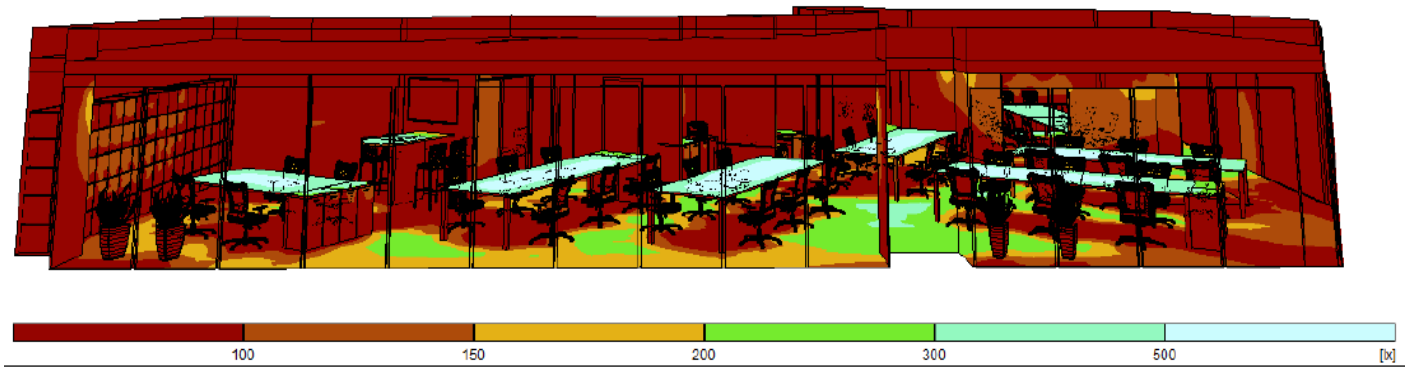


Figura 18: Gráfico de cores falsas feito na sala do *Staff.*
Fonte: Material cedido pela We Light

Além do gráfico de cores, o software também demonstra os níveis de iluminância em gráfico com a malha de cálculo feita para o projeto. Na Figura 19 está demonstrado o cálculo feito nas superfícies de trabalho em uma pequena área da sala de *Staff.*

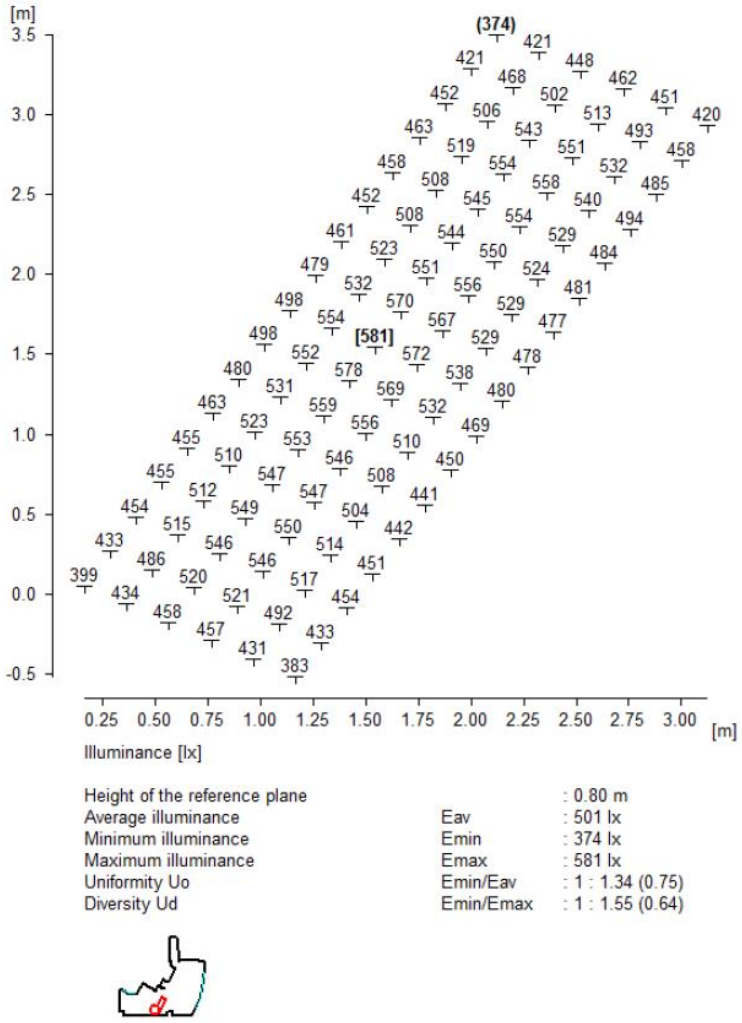


Figura 19: Gráfico de iluminâncias resultado da simulação computacional da iluminação artificial.
Fonte: Material cedido pela We Light

Na figura 19, abaixo da malha de cálculo estão definidos os resultados dos cálculos feitos na simulação. Neste exemplo, a altura de referência para o cálculo foi de 0,80m, considerando a superfície de trabalho. A maior iluminância encontrada na simulação feita pelo *software* foi 581lux e menor 374lux, tendo como média 501lux (na norma o indicado é pelo menos 500lux). O índice de uniformidade da iluminância foi 0,75, sendo na norma definido que não deve ser inferior a 0,7 para área de trabalho ou 0,5 para o entorno imediato.

Neste segundo exemplo (Figura 20), a sala de um dos sócios recebeu além da iluminação de trabalho, uma iluminação também mais cenográfica. Nesta sala as janelas foram fechadas, portanto não há ocorrência de iluminação natural, mas vale ressaltar as estratégias adotadas, utilizando vários sistemas de iluminação, para atender a eficiência energética, a norma e o que foi solicitado pelos clientes.

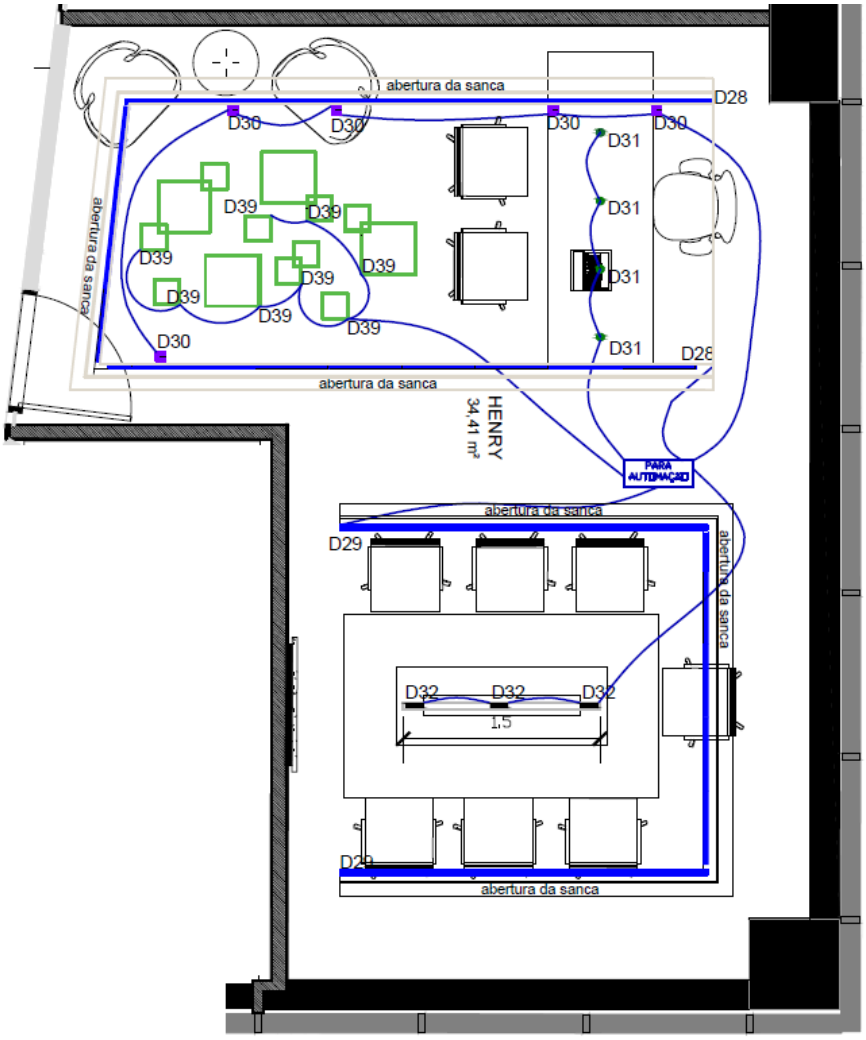


Figura 20: Planta baixa do projeto luminotécnico da sala do Henry, um dos sócios
Fonte: Material cedido pela We Light

Para a iluminação geral do ambiente foram feitos rasgos no forro iluminadas com barras de LED (circuitos D28 e D29 na Figura 20). Com essa estratégia de iluminação indireta, a intenção foi trazer uma iluminação mais confortável, e aliando à dimerização, possibilita controlar ainda mais o conforto visual do ambiente, aumentando ou diminuindo o fluxo luminoso. A iluminação decorativa é feita pelas luminárias direcionadas destacando os quadros (circuito D30) e pela luminária especial decorativa, fazendo um desenho diferenciado no forro e contribuindo para a iluminação geral (circuito D39 na Figura 20). Para a iluminação de trabalho foi usada iluminação direta pontual, com focos em cima da mesa do sócio (circuito D31), e luz direta difusa, com pendente em cima da mesa de reuniões (circuito D32).

Na Figura 21 está demonstrado os níveis de iluminância na mesa de trabalho do sócio. A média da iluminância simulada pelo software ficou em 449 lux, abaixo do indicado pela norma (500 lux). Porém, pelo gráfico é possível perceber que na área

central da mesa há boa iluminância, atingindo até 580lux, e a média acaba diminuindo pois nas extremidades da área a quantidade de luz diminui de forma considerável. Isto acarretou num índice de uniformidade de 0,61, sendo indicado pela norma no mínimo 0,70 para áreas de tarefa. Isso ocorreu pelo fato da iluminação ter sido pontual, o que dificulta o fluxo luminoso se espalhar e atingir uma área maior com uniformidade. Porém a uniformidade consegue ser melhorada tendo a iluminação da mesa e a iluminação geral funcionando juntas.

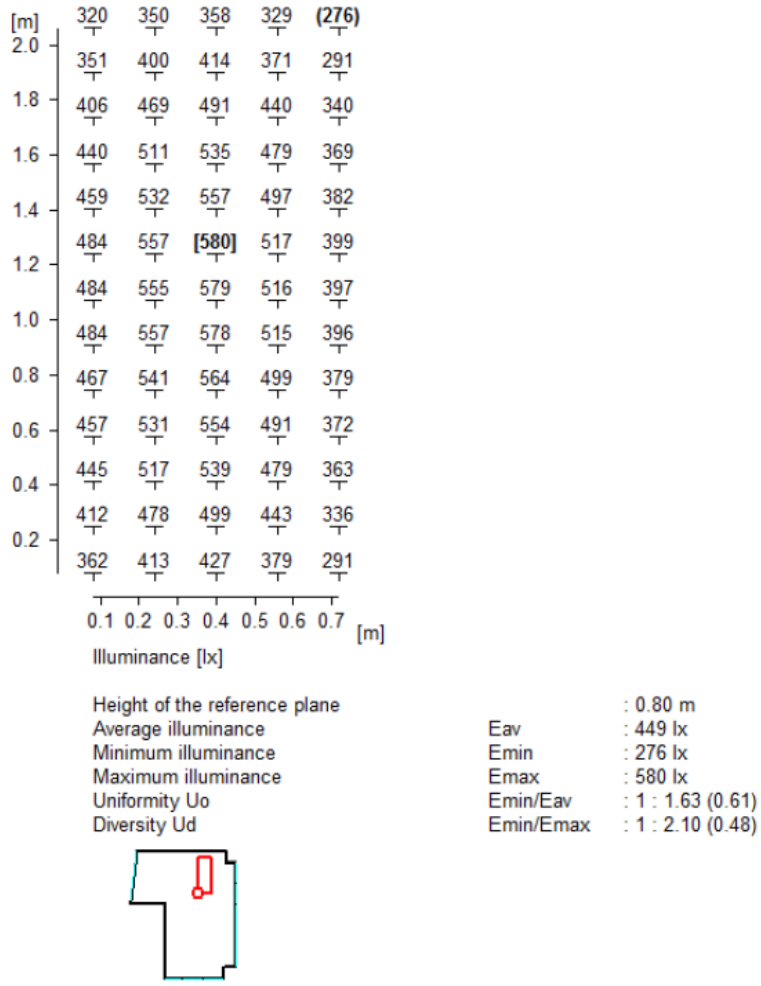


Figura 21: Gráfico de iluminância na mesa de trabalho da sala do Henry
Fonte: Material cedido pela We Light

Pelo gráfico de cores falsas da Figura 22 é possível perceber as maiores iluminâncias (cores verdes e azul) nas áreas de trabalho e nos destaques das paredes. O gráfico também mostra um nível alto de iluminância no chão, indicando que a iluminação geral possui um fluxo luminoso capaz de iluminar a sala por completo. Portanto, nesta sala do sócio foram criados vários possíveis cenários, de acordo com cada circuito, atendendo a demanda do cliente.

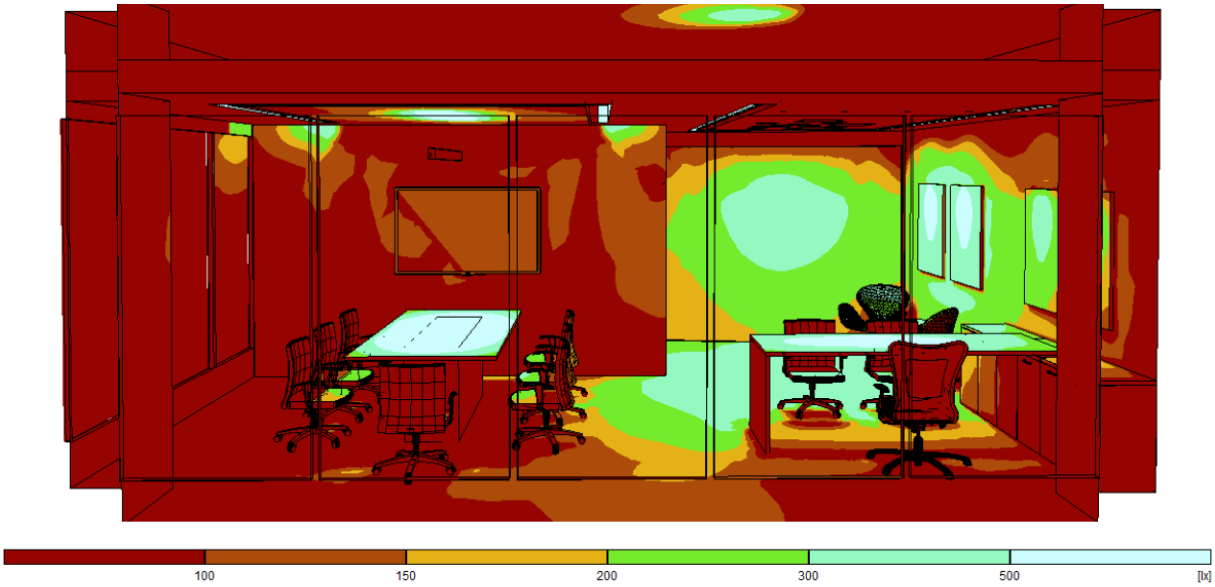


Figura 22: Gráfico de cores falsas da sala do Henry
Fonte: Material cedido pela We Light

Além dos projetos executivos (com cotas e especificações das instalações), também faz parte da entrega final o Memorial Descritivo, elaborado após o projeto definido, com todas as definições das lâmpadas, luminárias e como estão instaladas. A Figura 23, mostra a luminária LED de um dos circuitos dimerizáveis da sala do *Staff*, e a Figura 24 é da iluminação de destaque de uma das salas dos sócios.

O Memorial Descritivo é importante para deixar registrado todas as especificações e suas respectivas finalidades no projeto. No exemplo da Figura 23, juntamente com a marca, potência, fluxo luminoso, curva fotométrica e outras características técnicas, as luminárias do circuito estão descritas como luz geral e difusa, demonstrando a intenção de se ter uma luz mais uniforme no espaço de trabalho.

Memorial Descritivo

Os circuitos iniciados pela letra "D" são dimerizáveis;
Os circuitos iniciados pela letra "S" são ON/OFF

D01 – Iluminação Geral Direta – Comercial/Staff

Potência Instalada: 380W

Iluminação geral difusa por meio de Luminárias Técnicas embutidas no forro modular (625x625), conforme planta luminotécnica. **Esta luminária deverá passar por retrofit para ser controlada por protocolo DALI.**
Material:

- 10 Luminárias de embutir em forro modular de perfil "T" de aba 25mm com barra de LED 38W, 3010lm e emissão de luz na cor branco neutro 4000K, da Itaim.
- 10 Fontes de corrente constante (500mA x 76VDC), dimerizáveis por protocolo DALI marca MeanWell modelo LCM-60DA. Cada fonte alimentará as 4 barras LED da luminária conforme ilustração abaixo.

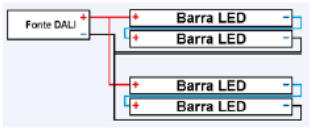
Quantidade: 10	
Imagem Ilustrativa	
Diagrama Fotométrico	
Fonte de Luz(s)	Painel 38W / 3010lm / 4000K
Equipamento auxiliar	Fonte Meanwell de corrente constante
Fornecedor(es)	Itaim
Local de aplicação	Comercial/Staff

Figura 23: Parte do memorial descritivo, com as características no circuito 01
Fonte: Material cedido pela We Light

Já na Figura 24, a iluminação é descrita como decorativa para quadros, por meio de luminárias embutidas orientáveis. Essas descrições são importantes no caso de substituições de peças posteriormente, em ocasiões de manutenção. É comum, infelizmente, de haver trocas de lâmpadas que não condizem com o que estava antes instalado, havendo perda da qualidade do sistema de iluminação definido no projeto. Portanto, com os registros feitos no memorial descritivo é possível fazer as manutenções necessárias seguindo o especificado no projeto original.

D30 – Iluminação de Destaque – Sala Henry

Potência Instalada: 24W

Iluminação decorativa para quadros por meio de luminárias orientadas embutidas em forro de gesso, conforme planta luminotécnica. Material:

- 5 Embutidos de teto direcionáveis marca Bella Luce, modelo para AR70. Dimensão: ø = 110mm. (código: BL 1076D).
- 5 Lâmpadas Stella AR70 4,8W, 24D, 300lm, 2700K. Fontes Inclusas.

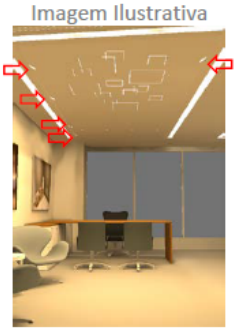
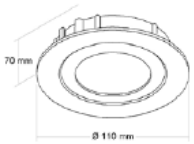
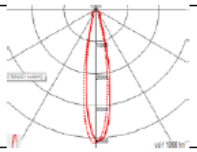
Quantidade: 5	
Imagem Ilustrativa 	
Diagrama Fotométrico	
Fonte de Luz(s)	AR70 24D 4,8W / 300lm / 2700K
Equipamento auxiliar	Fonte Inclusa
Fornecedor(es)	Bella Luce / Stella
Local de aplicação	Sala Henry

Figura 24: Parte do memorial descritivo, com características do circuito 30, na sala do Henry
Fonte: Material cedido pela We Light

A comunicação da equipe do projeto de iluminação com as equipes que realizavam os demais projetos era por meio de um *extranet*, o Autodoc. A extranet é um conjunto de duas ou mais *intranets* - rede privativa que utiliza as mesmas tecnologias da internet para possibilitar o intercâmbio de informações – e o seu principal objetivo é proporcionar a colaboração entre parceiros. Assim, a troca de informações era muito rápida quando havia alguma mudança. Para o projeto de iluminação a equipe se atentava principalmente ao projeto de ar condicionado, para não haver conflitos. Aconteceu apenas um entrave, com a disposição das luminárias coincidindo com o projeto de sprinkler. Neste caso optou-se por mudar a posição dos sprinklers pois senão comprometeria a uniformidade da disposição da luz.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO

Resumindo, podemos definir alguns pontos importantes para o processo e desenvolvimento do projeto de iluminação:

- O *briefing* é o início do processo de projeto. Muito importante para saber as expectativas dos clientes e definir um programa de necessidades.
- Antes de iniciar a proposta de projeto, é fundamental avaliar o potencial de aproveitamento da luz natural nos ambientes – medindo com Luxímetro.
- Com o partido do projeto aceito pelos clientes, já no anteprojeto começam as simulações em software de iluminação, avaliando o desempenho das estratégias adotadas. É uma importante ferramenta para conferir se o que está sendo projetado atende aos requisitos da norma.
- Durante todo o desenvolvimento de projeto é importante manter uma comunicação eficaz com as outras equipes (construtora, arquitetura, etc.), a fim de minimizar erros e solucioná-los rapidamente.
- Com o anteprojeto aprovado, o projeto executivo é desenvolvido, entregue também com o memorial descritivo, especificando todos os equipamentos e suas instalações.
- Também é importante definir os períodos de manutenção, evitando que os níveis de iluminância fiquem defasado de acordo com seus usos. Para as manutenções, é essencial seguir o que está definido no Memorial Descritivo.
- O acompanhamento durante a execução da obra também faz parte do processo, garantindo que o que foi projetado será entregue para o cliente em pleno funcionamento.

CAPITULO 3: PROPOSTA METODOLÓGICA: DIRETRIZES PARA GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO

De acordo com o PMBOK, um processo é “um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas que são executadas para criar um produto, serviço ou resultado pré-especificado”. Ele propõe um fluxo eficaz do projeto ao longo de sua existência, e gerenciamento é a aplicação de habilidades, ferramentas e técnicas às atividades a fim de cumprir os seus requisitos.

Para o planejamento e controle do andamento das atividades de desenvolvimento do projeto, é necessário entender e identificar as interações existentes entre elas, sempre tomando por base o escopo do projeto definido entre a empresa e o cliente (OLIVEIRA; MELHADO, 2006).

De acordo com Barrientos (2004), é importante criar uma metodologia eficiente que oriente os processos de *retrofit* e os profissionais responsáveis, para assim obter maior otimização dos recursos disponíveis.

O projeto de intervenção deverá ser sempre supervisionado por um arquiteto ou engenheiro, responsável pela gestão, e cujas responsabilidades são as de definir, junto ao proprietário, um programa de *retrofit* viável, fazer todos os levantamentos necessários para o diagnóstico, elaborar o projeto, definir o planejamento e orçamento da obra, controlar custo, fechar contratos, enfim, resolver todo e qualquer tipo de imprevisto que possa ocorrer (BARRIENTOS, 2004).

Um bom mapeamento do fluxo do processo de projeto permite um controle do andamento das atividades de execução do projeto de forma mais precisa e ágil, possibilitando detectar a ocorrência de possíveis problemas e fazer suas correções a tempo de garantir o cumprimento do prazo e custo preestabelecidos (OLIVEIRA; MELHADO, 2006).

3.1 DIRETRIZES PARA O PROCESSO DE PROJETO DE *RETROFIT* LUMINOTÉCNICO

O processo de projeto do *retrofit* luminotécnico possui algumas etapas fundamentais. A seguir foram propostas fases consideradas essenciais para o processo de projeto, com base em aprendizados fundamentais das referências

bibliográficas, somados a lições extraídas do estudo de caso apresentado nesta monografia.

1. *Briefing* e programa de necessidades

Como todo projeto, o *retrofit* luminotécnico também se inicia reunindo com o cliente para saber suas demandas. No caso de ambientes de trabalho, também é fundamental entrevistar os usuários para ter melhor entendimento do funcionamento do sistema de iluminação e saber se satisfaz suas necessidades. Em alguns casos, a etapa inicial pode ser realizada por uma equipe especializada em Avaliação Pós Ocupação (APO), analisando mais detalhadamente o comportamento e opinião dos usuários.

2. Diagnóstico do local

Nesta etapa procura-se entender a situação existente no edifício ou no ambiente que vai receber a intervenção. Para essa análise é preciso levantar diversas características: a atividade realizada nos ambientes, luminárias e lâmpadas utilizadas (potências, eficiência energética, temperatura de cor e demais características), tempo médio de uso diário e a iluminação natural que o local recebe. Para complementar as medições feitas in loco, os softwares de iluminação também conseguem simular o potencial de iluminação natural no ambiente.

É também muito importante fazer a medição da iluminância nos ambientes. Essa medição é essencial principalmente nas superfícies de trabalho, de acordo com o layout e atividades realizadas. Esses valores devem ser comparados aos indicados nas normas para saber se os níveis estão adequados ou não.

Segundo Ghisi (1997), nos casos em que o foco de interesse é apenas o *retrofit* do sistema de iluminação, não há necessidade em determinar o uso e consumo dos outros sistemas consumidores de energia elétrica, porém, recomenda-se este levantamento como forma de verificar todo o uso da eletricidade na edificação.

3. Partido Projetual - Proposta do conceito

Depois dos dados analisados tem-se as etapas de projeto. No Partido já se começa a pensar nas estratégias de projeto. Inicia-se definindo os tipos de ambiência que se quer criar e os efeitos de iluminação. Assim, já é possível

determinar os prováveis tipos de sistemas de iluminação, luminárias e lâmpadas a serem utilizadas.

No projeto de *retrofit* deve-se sempre pensar na sustentabilidade. Deste modo, na hora de projetar é importante considerar a iluminação natural que incide nos ambientes internos, pois pode ser uma característica a ser explorada para a diminuição de consumo de energia elétrica. Aliado a isto, está o estudo das atividades diárias do local e permanência dos usuários, analisando e atendendo suas demandas de conforto e qualidade do ambiente.

O partido do projeto é apresentado ao cliente através de imagens de referências e croquis explicando o conceito criado, e o que se pretende obter com as estratégias criadas. Com o partido aprovado pelo cliente, passa-se para a próxima etapa.

4. Anteprojeto

Na fase de anteprojeto as ideias iniciais são passadas para as plantas, já especificando as lâmpadas e luminárias e onde serão instalados. Também já são definidos os circuitos e seus funcionamentos (se serão liga/desliga, se terão *dimmer* ou algum tipo de sensor).

No projeto luminotécnico, é fundamental também fazer o estudo com simulação em software de 3D específico. A simulação consegue apresentar valores importantes a serem atendidos pela norma, e assim é possível visualizar se o projeto está totalmente de acordo com o esperado. Alguns dos softwares mais utilizados são o Relux, Dialux e AGI.

A comunicação entre projetistas luminotécnicos e as outras equipes do projeto (por exemplo, a de arquitetura, de interiores, construtora responsável, etc.) deve ser eficaz, permitindo eventuais trocas de informações. Mudanças de projeto durante o processo são inevitáveis, e a fácil comunicação ajuda a perceber as incompatibilizações e logo solucioná-las.

5. Projeto executivo e Memorial Descritivo

O projeto final entregue é o Projeto Executivo, o mesmo que será levado para a obra. Nele vai constar o projeto completo definido, indicando as lâmpadas, luminárias e seus respectivos circuitos, equipamentos auxiliares e detalhes de instalação.

Além do Projeto Executivo, é fundamental a elaboração do Memorial Descritivo constando tudo o que foi especificado no projeto, descrevendo as modificações e o que foi mantido no projeto de *retrofit*. Nele, além de descrever as instalações, também inclui as características de cada luminária e lâmpada (o tipo, temperatura de cor, potência, fluxo luminoso, curva fotométrica, marca, etc.). Também é importante descrever o efeito e sistema de iluminação pretendido em cada circuito, pois assim, com a maior quantidade de informações, fica menos suscetível ao erro caso seja necessária a troca por algum equipamento similar.

6. Análise comparativa antes X depois

Em projetos de *retrofit* luminotécnico que tenham foco na eficiência energética, é importante realizar a estimativa do consumo energético do projeto, demonstrando um comparativo entre a situação atual e a proposta. A partir deste comparativo, também é possível estimar em quanto tempo o investimento terá o retorno financeiro.

7. Plano de manutenção

Junto ao projeto também é feito um plano de manutenção. É importante considerar que, não apenas a vida útil das lâmpadas, mas também a sujeira e falta de conservação, contribuem para a depreciação do fluxo luminoso. Portanto, faz-se necessário instruções de como fazer a manutenção preventiva das luminárias, lâmpadas e equipamentos e a previsão de futuras avaliações, para saber se o sistema continua funcionando corretamente.

8. Acompanhamento da execução

A execução do projeto de iluminação muitas vezes conta com algumas especificidades, tornando necessária a contratação de profissionais capacitados para tal. É comum haver certa resistência quanto a contratação de nova equipe, e assim ficando a execução mais suscetível à erros. Portanto, o acompanhamento da obra pela equipe projetista é fundamental, pois dúvidas sempre surgem ao longo da execução e não é raro acarretarem em instalações equivocadas.

CAPÍTULO 4: ESTUDO PROPOSITIVO DE APLICAÇÃO DE *RETROFIT* LUMINOTÉCNICO

O estudo proposto neste trabalho teve enfoque principal na integração da iluminação artificial com a natural, pensando na eficiência energética e no conforto visual atendendo as diretrizes na norma NBR ISO 8995-1. O projeto proposto foi realizado levando em consideração toda a pesquisa teórica, porém com uma aplicação parcial. O estudo foi feito de uma forma mais sucinta, analisando a iluminação através de simulações computacionais, porém, vale ressaltar que em um projeto de *retrofit* luminotécnico, a medição *in loco* da iluminação natural é essencial, bem como as simulações em *software* para complementar as informações.

4.1 APRESENTAÇÃO DO AMBIENTE A SER ESTUDADO

O ambiente de estudo para a proposta de projeto é uma sala de aula, situada na Universidade de São Paulo (USP) no prédio de engenharia civil. A sala tem 92,20m² (8,95m x 10,30m), pé-direito de 3,10m (com forro modular) e amplas janelas no fundo da sala. A Figura 25 é uma foto recente do ambiente.

Figura 25: Imagem da sala a ser estudada.
Fonte: acervo pessoal

As janelas do fundo da sala recebem luz natural diretamente, já que o edifício não conta com dispositivos de proteção solar. Para diminuir a incidência solar, os vidros das janelas possuem uma película de proteção bastante escura, bloqueando o calor e a luz solar quase completamente.

É importante lembrar que as características do teto, piso e paredes contribuem para a luminância do ambiente. No ambiente em questão, o teto é branco e as paredes possuem tom bege, cores claras que ajudam a luz a ser refletida. Apesar de ter uma cor mais escura, o acabamento polido do piso também contribui para maior refletância da luz na superfície.

A sala escolhida para este estudo é utilizada para aulas em todos os períodos do dia. Portanto, mesmo com boa iluminação natural é importante que a iluminação artificial seja adequada para atender aos usuários do período noturno.

Para este estudo, foram consideradas as janelas maiores que ficam no fundo da sala, localizadas na fachada noroeste do edifício. Na parede de entrada da sala também há janelas, porém menores e altas, e conectam ao corredor de circulação para as salas. Como essas janelas contribuem pouco para a iluminação do ambiente, elas não foram consideradas, a fim de simplificar o estudo de simulação.

4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NO AMBIENTE DE ESTUDO

Para o estudo da iluminação natural, bem como as simulações com a iluminação artificial, foi utilizado o *software* Dialux EVO, uma ferramenta muito utilizada para estudos luminotécnicos. O programa permite avaliar a maneira como a luz se propaga no ambiente, produzindo imagens tridimensionais e relatórios da análise. No caso desta proposta, especificamente, não foram feitas medições *in loco* da luz natural por falta de acesso a instrumentos apropriados. Porém, de uma forma geral, medições *in loco* são recomendadas para o projeto de *retrofit* luminotécnico.

Para o estudo da luz natural, foi considerado o céu limpo, em 3 horários diferentes do dia 01/03/2019. Para o cálculo no *software* foi definida a altura de 0,75m (considerando esta a altura dos planos de trabalhos), e os vidros das janelas foram considerados sem a película de proteção. Em todas as imagens geradas pelo

Dialux EVO, o amarelo significa o plano de cálculo, com 0,75m de altura, com as curvas demonstrando os níveis de iluminância.

Quanto aos acabamentos do teto, piso e paredes, procurou-se simular o mais próximo do existente no local. Para o teto o grau de reflexão foi 76%, para as paredes 78%, e para o piso 38%.

Na Figura 26 está representada a simulação de 9:00h. O nível máximo de iluminância atinge 1734lx e o mínimo 337lx (média de 662lx). Das simulações dos três horários, este foi o que obteve melhor índice de uniformidade, de 0,51.

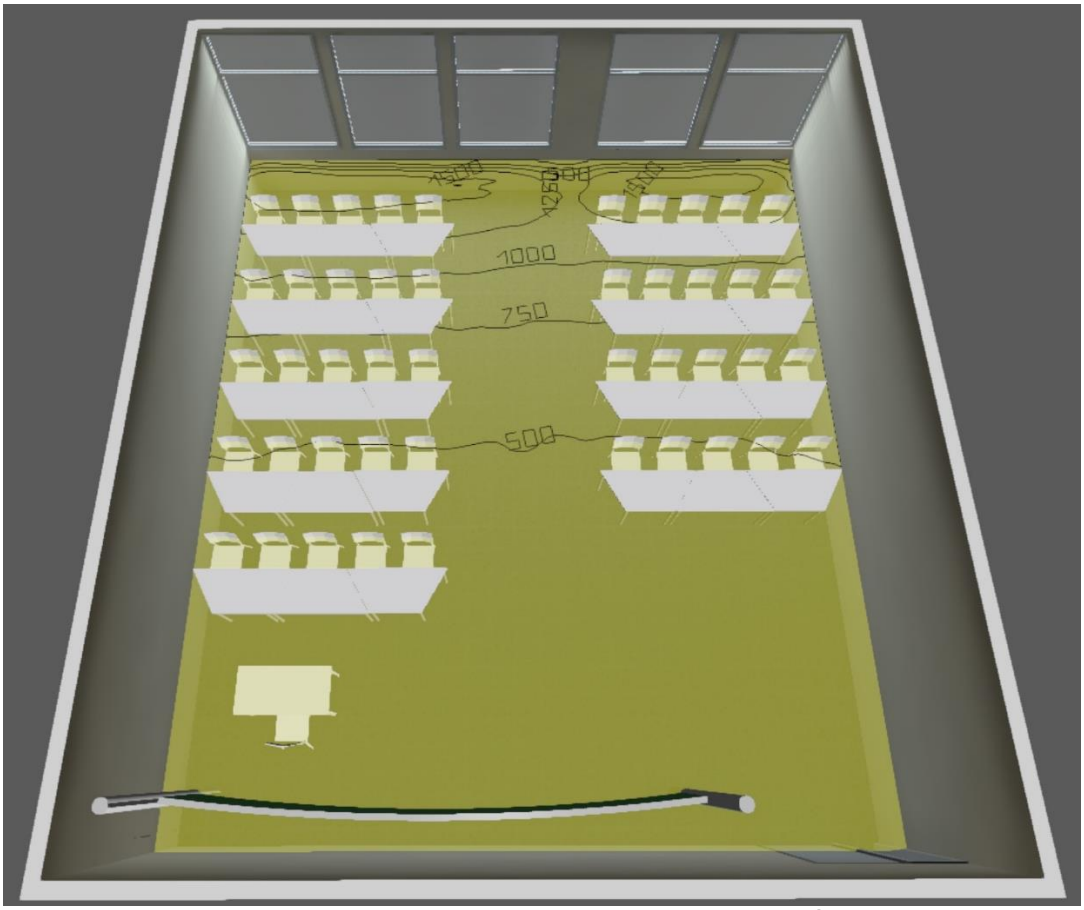


Figura 26: Simulação da luz natural da sala de aula no horário de 9:00h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Para o horário de 13:30h (Figura 27), a sala obteve pontos com 500lx a 5023lx (média de 1313lx). Das três simulações, este foi o horário com maior valor para iluminância máxima, e obteve 0,38 de índice de uniformidade.

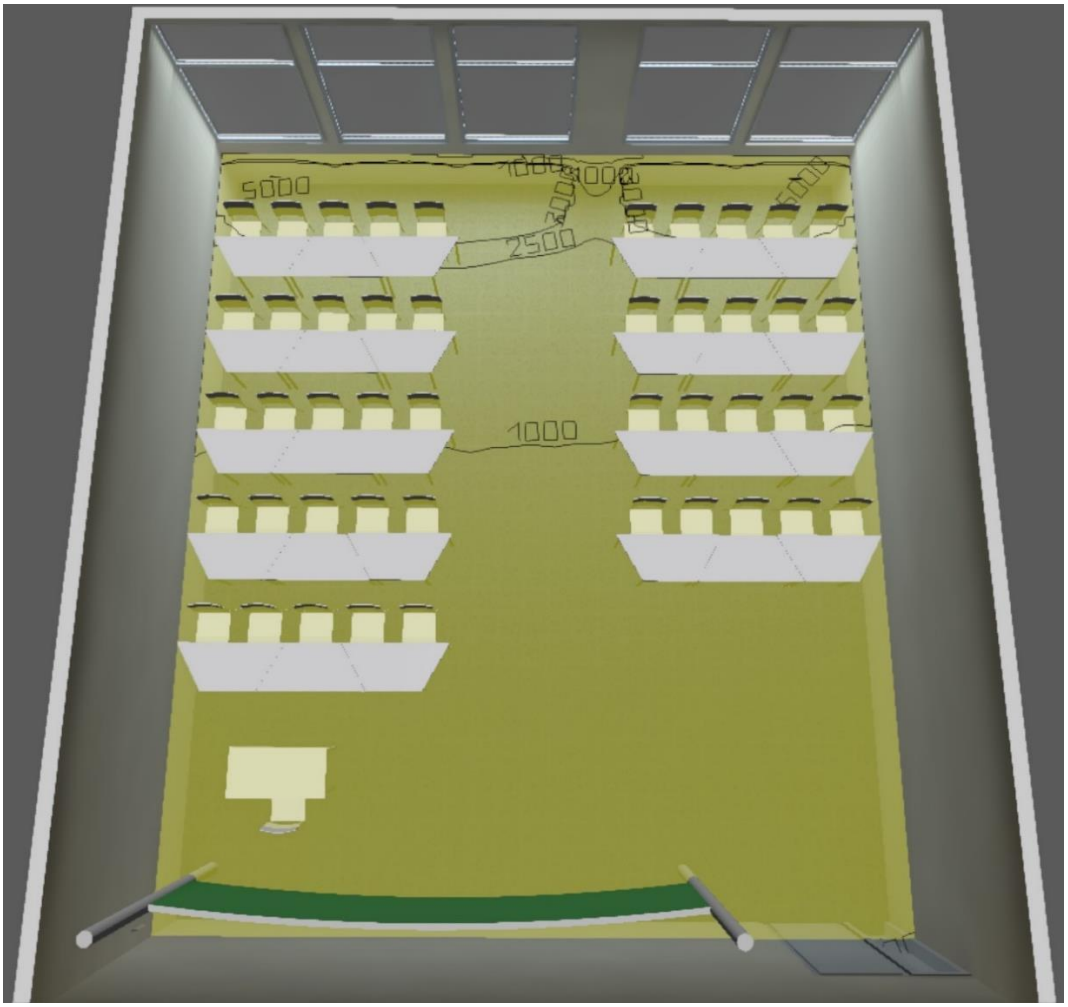


Figura 27: Simulação da luz natural da sala de aula no horário de 13:30h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

O horário das 17h foi o que mostrou a maior iluminância média: 1367lux. O valor mais alto de iluminância foi 4016lx e o menor 558lx, ou seja, a luz chega até a parede oposta com níveis acima de 500lx (Figura 28). Nesta simulação o índice de uniformidade foi 0,41.

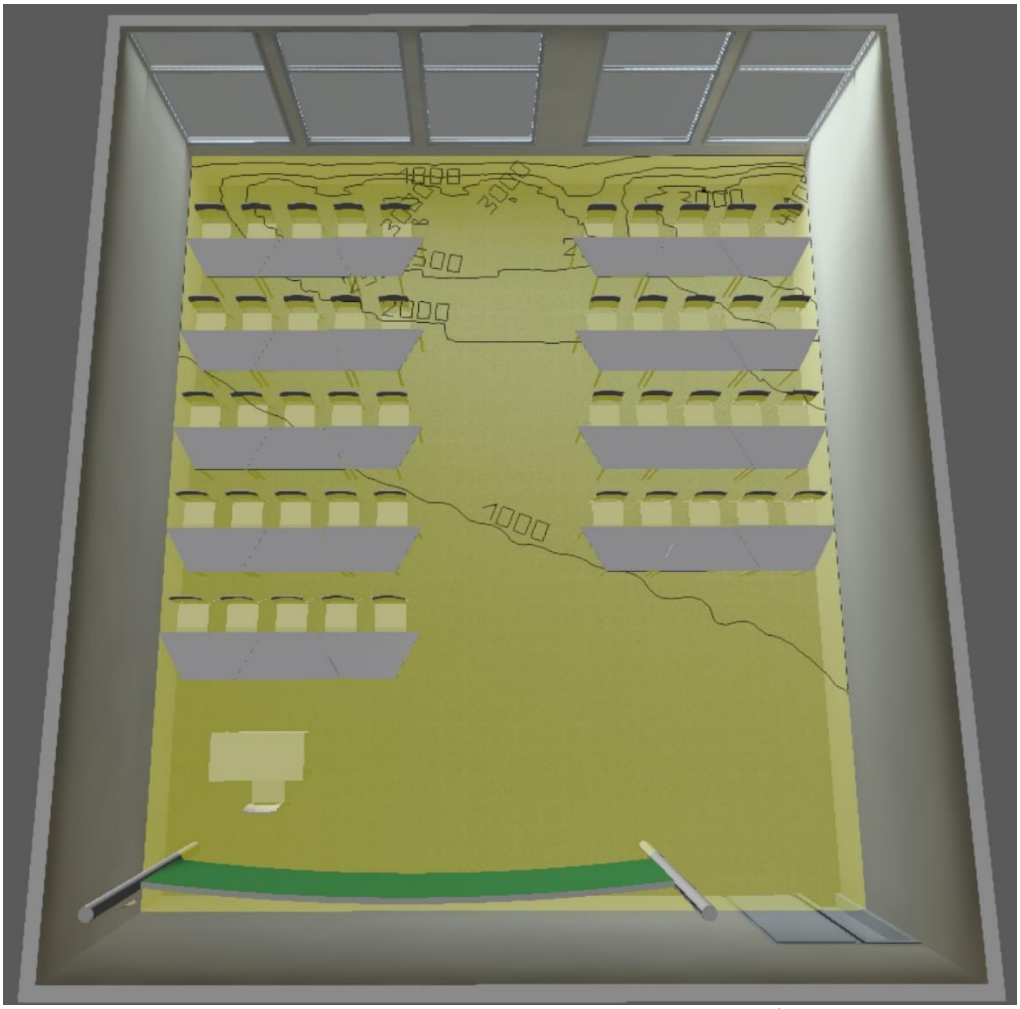


Figura 28: Simulação da luz natural da sala de aula no horário de 17:00h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Pelas simulações é possível perceber que a sala tem grande incidência de luz natural. Apesar do cálculo da uniformidade do entorno ser comprometida devido o contraste com as elevadas iluminâncias perto das janelas, as uniformidades nas áreas de tarefas estão todas de acordo com o indicado pela norma, com índices bem acima de 0,70 (valor mínimo recomendado pela NBR 8995-A).

A Figura 29 demonstra o cálculo em umas das mesas da simulação feita no horário de 13:30h, a que obteve pior uniformidade do entorno (0,38). Para o cálculo na superfície de área específica foi escolhido o conjunto de 3 mesas próximo às janelas, no canto da sala. A simulação obteve o máximo de 3141lx e mínimo de 2306 (iluminância média: 2685lx), com uniformidade 0,86.

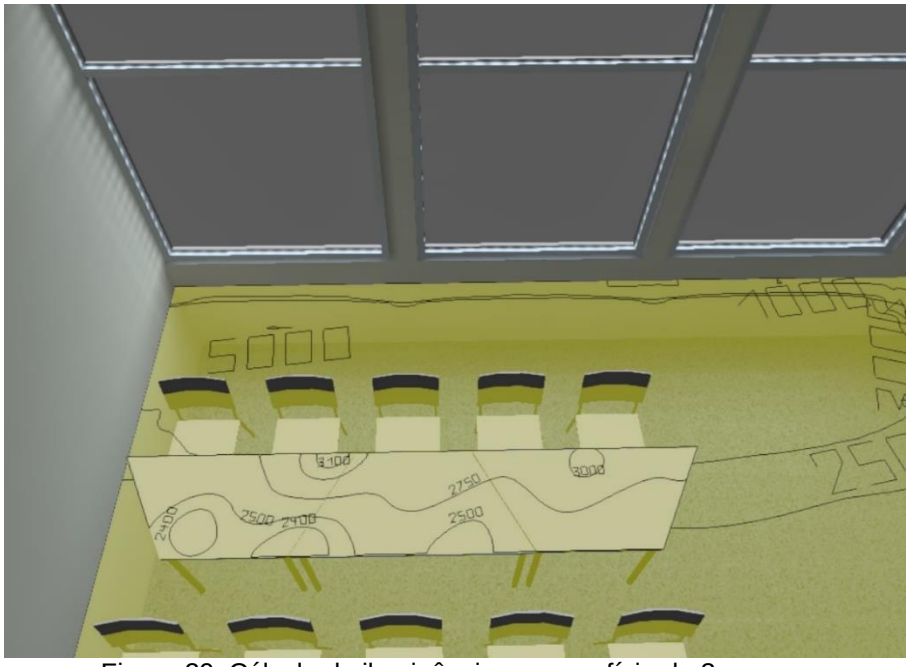


Figura 29: Cálculo de iluminância na superfície de 3 mesas.
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Para compararmos o potencial da luz natural no ambiente com o que ela de fato recebe com a película atualmente instalada, foram simulados os mesmos horários, representados nas Figuras 30, 31 e 32. Para esta nova simulação, foi utilizada uma película nos vidros da janela similar à que está hoje instalada, com apenas 5% de transmissividade (luz transmitida para o interior do ambiente).

Na simulação no horário de 9:00h a iluminância média foi de apenas 37lx, com máxima de 96lx e mínima de 19lx. No horário de 13:30h, a iluminância média atingiu 73,2lx, máxima de 279lx e mínima de 28,3lx. E para o horário de 17:00h, a média foi 76,4lx, com máxima de 223lx e mínima de 31,6lx.

Analisando os números e imagens geradas pela simulação, é possível afirmar que, apesar do seu potencial de uso de luz natural proporcionado pela arquitetura do edifício e suas amplas janelas, a iluminação natural não foi considerada para a utilização da sala. Os níveis de iluminância só são possíveis de serem maiores com as aberturas das janelas, mas ainda assim seu potencial é reduzido visto que há vidros fixos na parte superior das janelas que ainda bloqueiam a entrada da luz com as películas escuras. Devido aos baixos níveis de luz natural no ambiente, o sistema de iluminação artificial precisa estar com 100% do seu fluxo luminoso ligado para atender a demanda da sala, independentemente do horário.

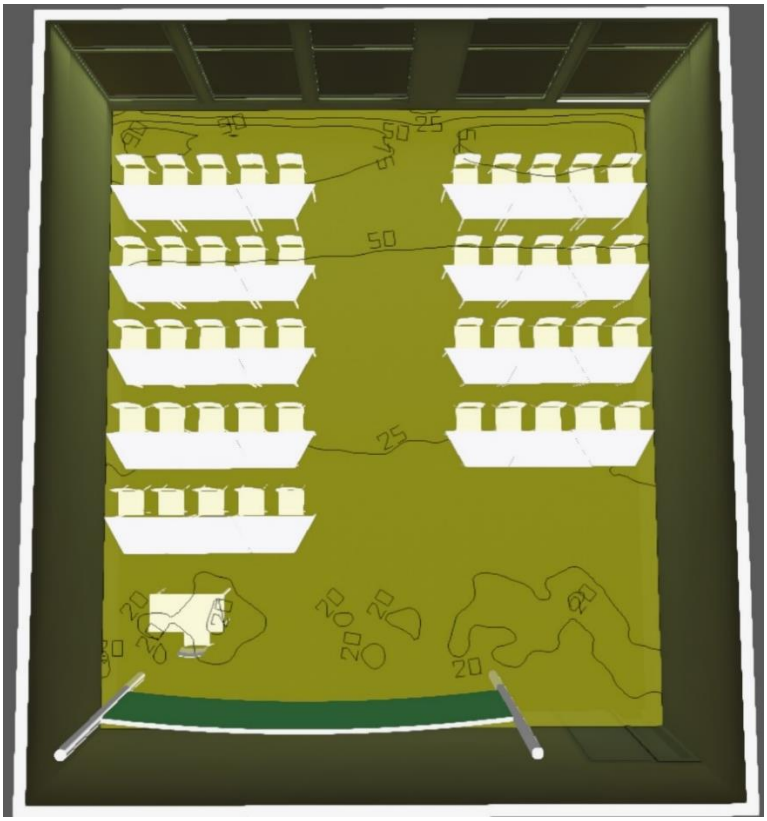


Figura 30: Simulação da luz natural da sala de aula, com película atualmente instalada no vidro da janela, no horário de 9:00h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

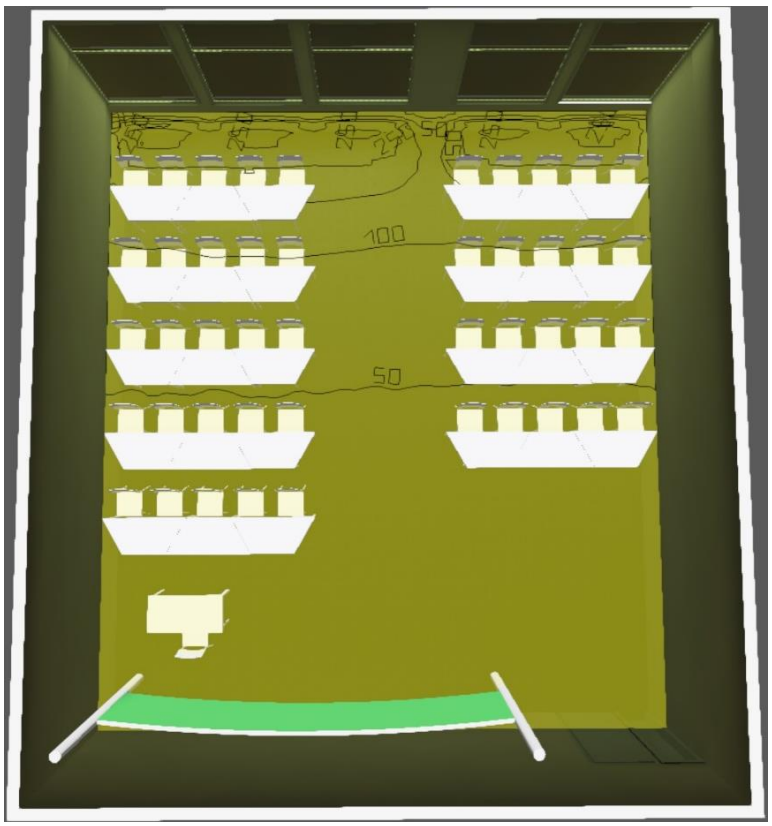


Figura 31: Simulação da luz natural da sala de aula, com película atualmente instalada no vidro da janela, no horário de 13:30h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

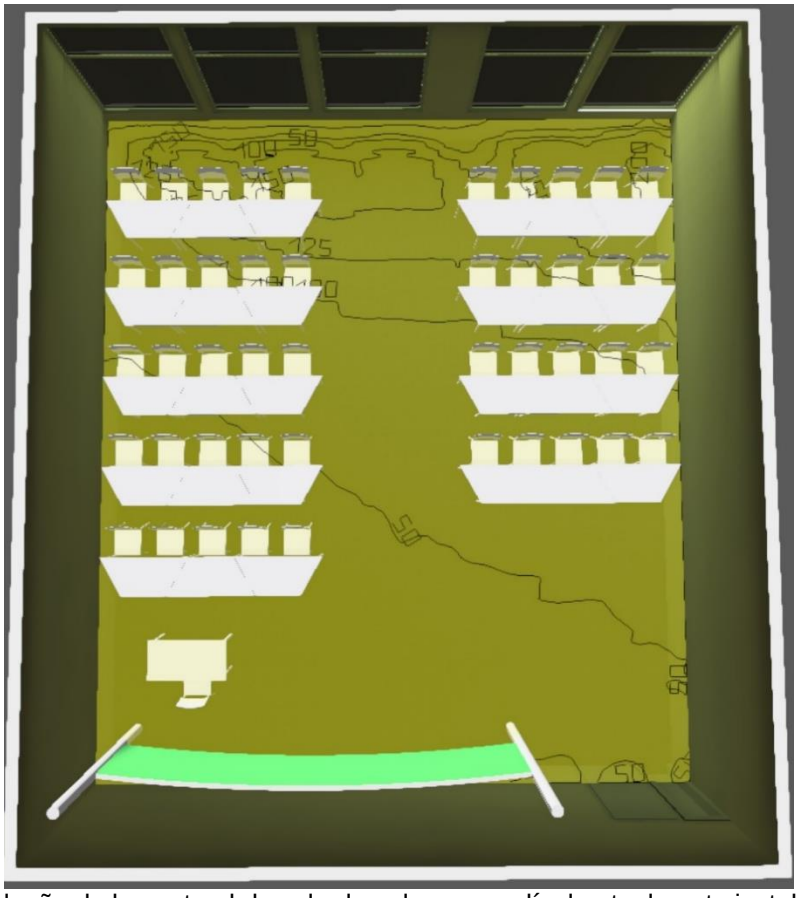


Figura 32: Simulação da luz natural da sala de aula, com película atualmente instalada no vidro da janela, no horário de 17:00h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NO AMBIENTE DE ESTUDO

A iluminação artificial é feita com 12 luminárias retangulares, com aletas metálicas, para 2 lâmpadas tubulares fluorescente de 32W. Foi percebido que as lampadas utilizadas variavam entre 4 marcas diferente, todas com temperatura de cor neutra (4000K), mas com fluxo luminoso possivelmente diferentes.

Para ter melhor compreensão se a iluminação era adequada, foi feita medição da iluminância em algumas das mesas, em horário noturno, portanto sem a contribuição de luz natural. A Figura 33 mostra os valores das medições nos locais onde foram feitas, todas na altura de 75cm (altura das mesas). É possivel perceber que em nenhum ponto da sala foi atendido o nivel mínimo de 500 lux estipulado pela NBR ISO 8995-1. Nas mesas laterais os niveis são anda piores, pincipalmente nos cantos da sala, onde em uma das mesas havia apenas 190lx.

Figura 33: Desenho da planta baixa da sala com o layout, forro modulado e as medições de iluminância feitas nas mesas.

A estratégia dos ligamentos dos circuitos também demonstra que não houve um planejamento para considerar o uso da luz natural. As 4 fileiras de luminárias, no sentido das posições das carteiras, ficam divididas em 3 circuitos: um mais próximo do quadro, outro ligando as 3 luminárias segunda fileira, e um terceiro circuito que liga as 2 fileiras de luminárias mais próximas das janelas (C1, C2 e C3 na Figura 33).

4.4 PROPOSTA DE *RETROFIT* DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Pelo fato de o edifício não possuir qualquer dispositivo de proteção solar, a entrada da luz natural é muito intensa nos períodos de grande insolação. Portanto,

para a nova proposta, foi decido manter os vidros das janelas com película de proteção solar, porém, substituindo a existente por outra que permita maior entrada de luz. Para a simulação, a película utilizada permitia o vidro ter transmissividade (luz transmitida para o interior do ambiente) de 43%, e reflexão (radiação solar refletida pelo vidro) de 19%.

Com essa nova condição, obteve-se o estudo de luz natural representada nas Figuras 34, 35 e 36. No horário de 9h, a iluminância máxima atingiu 840lx e a mínima 166lx, tendo como média 322lx e permanecendo com boa uniformidade (0,52). Na simulação de 13:30h, a média de iluminância foi 637lx (iluminância máxima 2410lx, e mínima 245lx). Para as 17:00h, obteve-se média de 665lx (máximo 1945lx, e mínimo 278lx). Os índices de uniformidade nas simulações de 13:30h e 17:00h também se mantiveram como na simulação com o vidro translúcido (0,38 e 0,42, respectivamente).

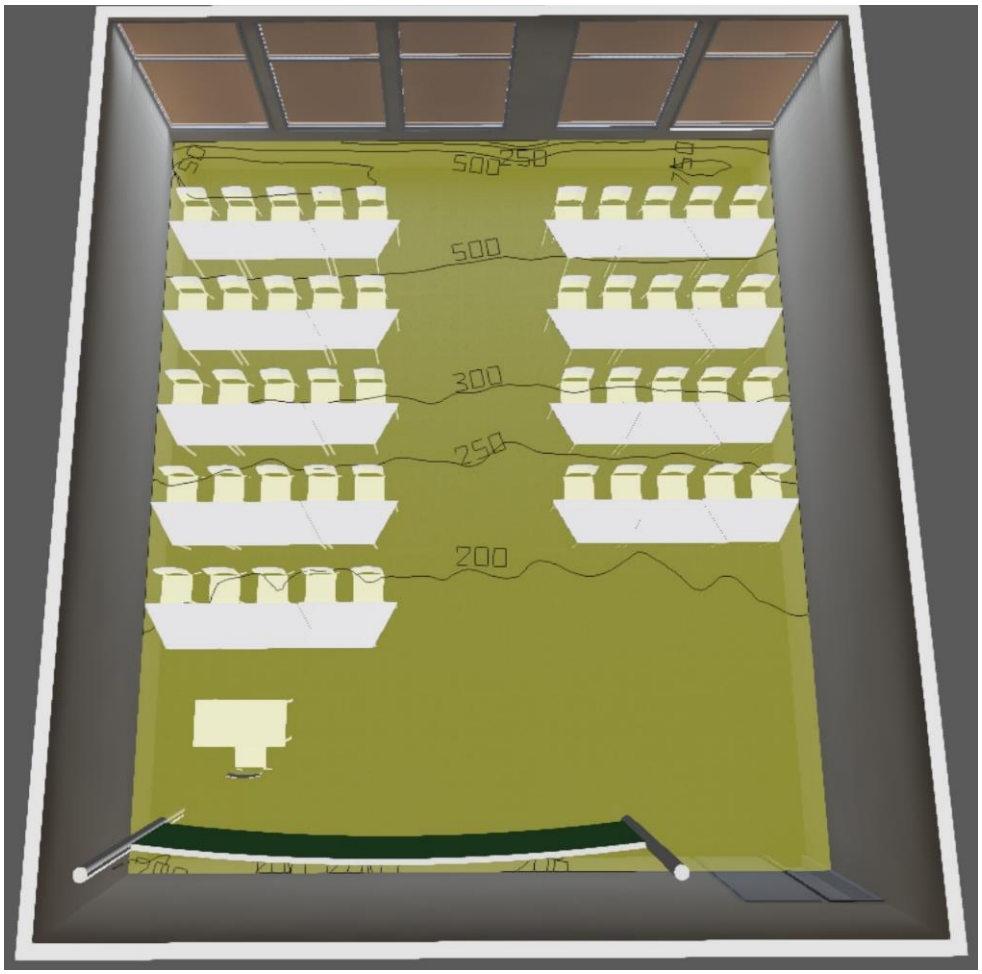


Figura 34: Simulação da luz natural, com nova película protetora nos vidros das janelas, às 9:00h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

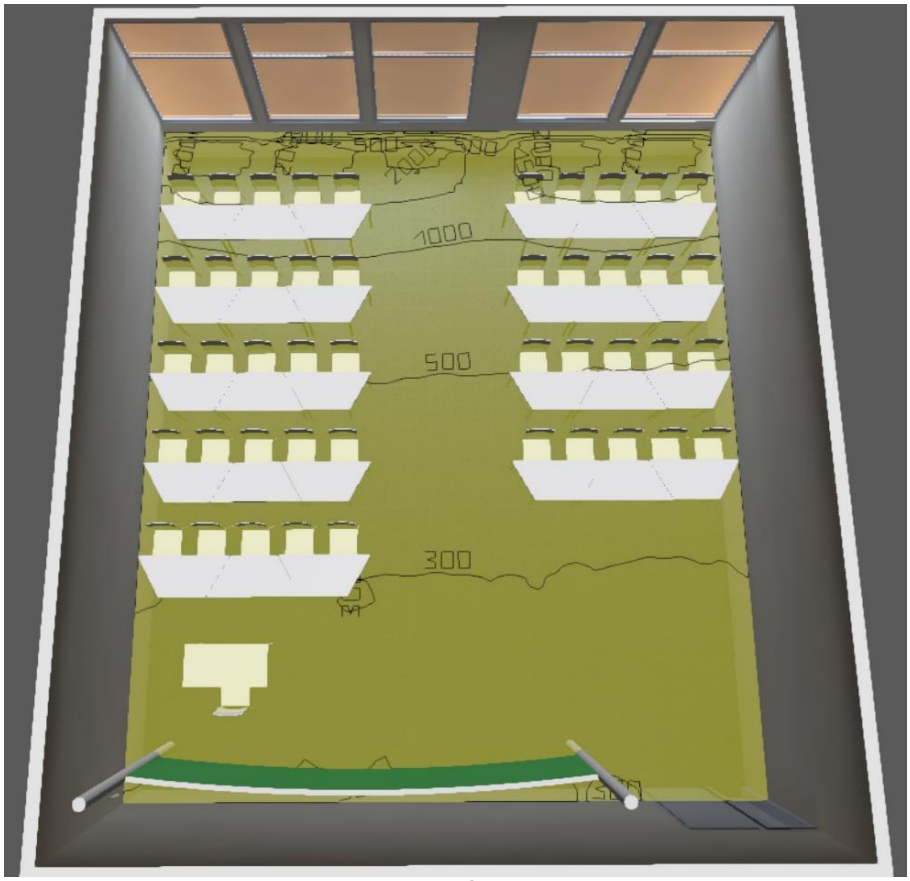


Figura 35: Simulação da luz natural, com nova película protetora nos vidros das janelas, às 13:30h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

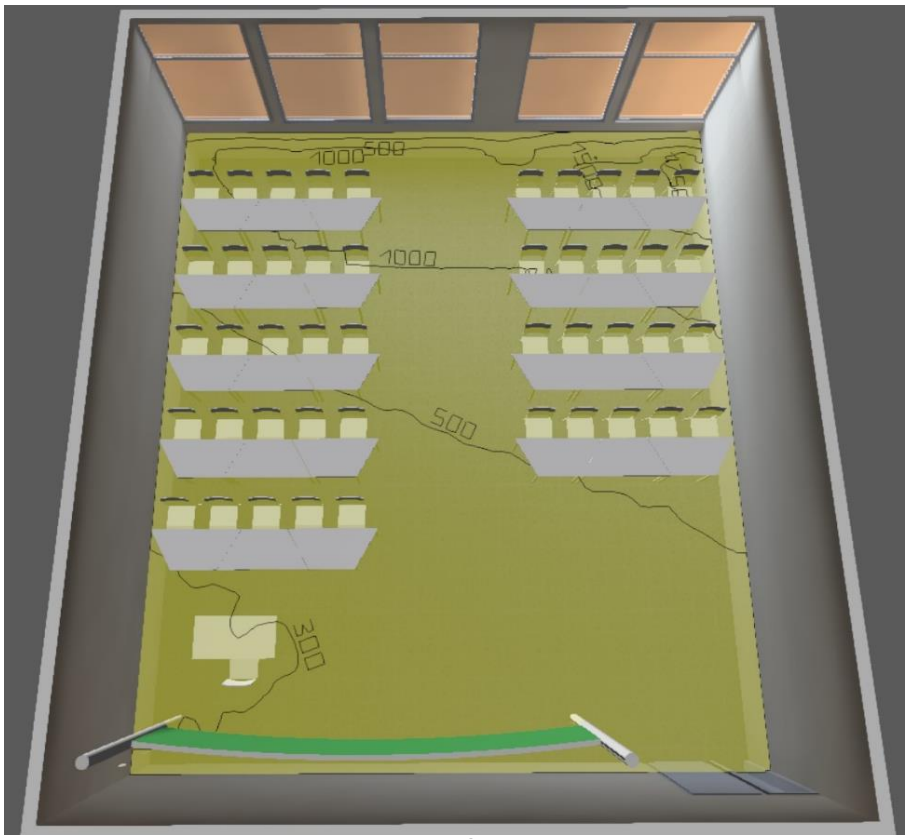
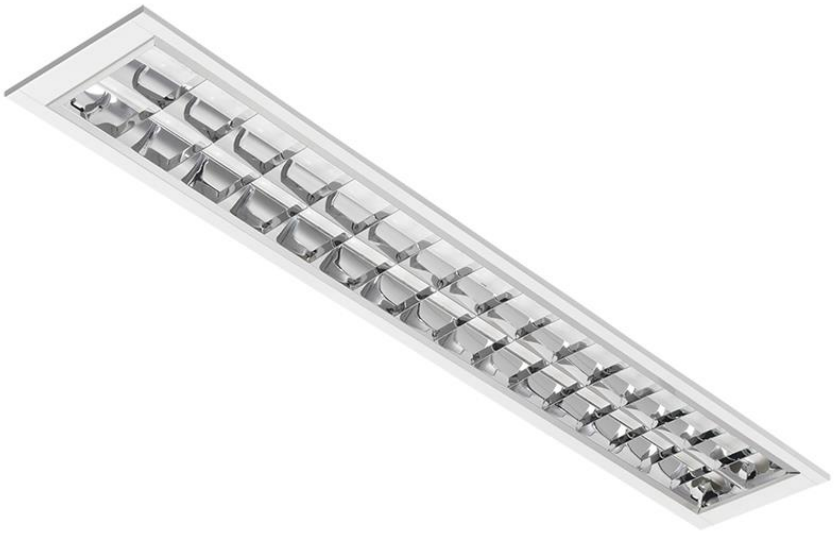


Figura 36: Simulação da luz natural, com nova película protetora nos vidros das janelas, às 17:00h
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Para a iluminação artificial foi escolhida uma luminária retangular, com refletor e aletas em alumínio, da marca Lumicenter. A aleta metálica é um artifício bastante utilizado para evitar o ofuscamento. Apesar de ser um modelo bastante parecido com o já instalado na sala, este novo possui o LED integrado. Com o fluxo luminoso de 3850lm e potência de 37W, a luminária tem eficiência luminosa de 104lm/W.



Código	Potência*	Fluxo Luminoso**	Eficácia	Temp. de Cor	IRC	IP	Vida Útil	Garantia	Medida A (mm)	Medida B (mm)	Medida C (mm)
EAA08-E3500840	37W	3850lm	104lm/W	4000K	>80	20	30.000h	3 anos	186	44	1243

Figura 37: Ilustração da luminária escolhida e suas características
Fonte: http://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/eaa08-e-p1126/

Para a iluminação artificial da sala, sem a presença da luz natural, as luminárias foram dispostas em 5 fileiras com 3 em cada, totalizando 15 luminárias, como mostra as Figuras 38 e 39. A iluminância ficou bem distribuida, com uniformidade do entorno 0,52, atingindo a iluminância média de 582lx (máxima de 755lx e mínima de 304lx). Pela Figura 38 é possível analisar que os índices abaixo de 500lx, o valor mínimo indicado pela norma, ficou apenas nos cantos da sala, fora das superfícies de tarefa.

Como demonstrado na Figura 39, as luminárias foram divididas em 5 circuitos, de acordo com o distanciamento das janelas. Essa estratégia foi adotada para ter melhor controle na complementação da luz artificial à natural. Assim, quanto mais distante das janelas, obviamente terá menor quantidade de luz natural, e então mesmo sem controle automático é possível complementar o nível de iluminância acendendo apenas os circuitos necessários.

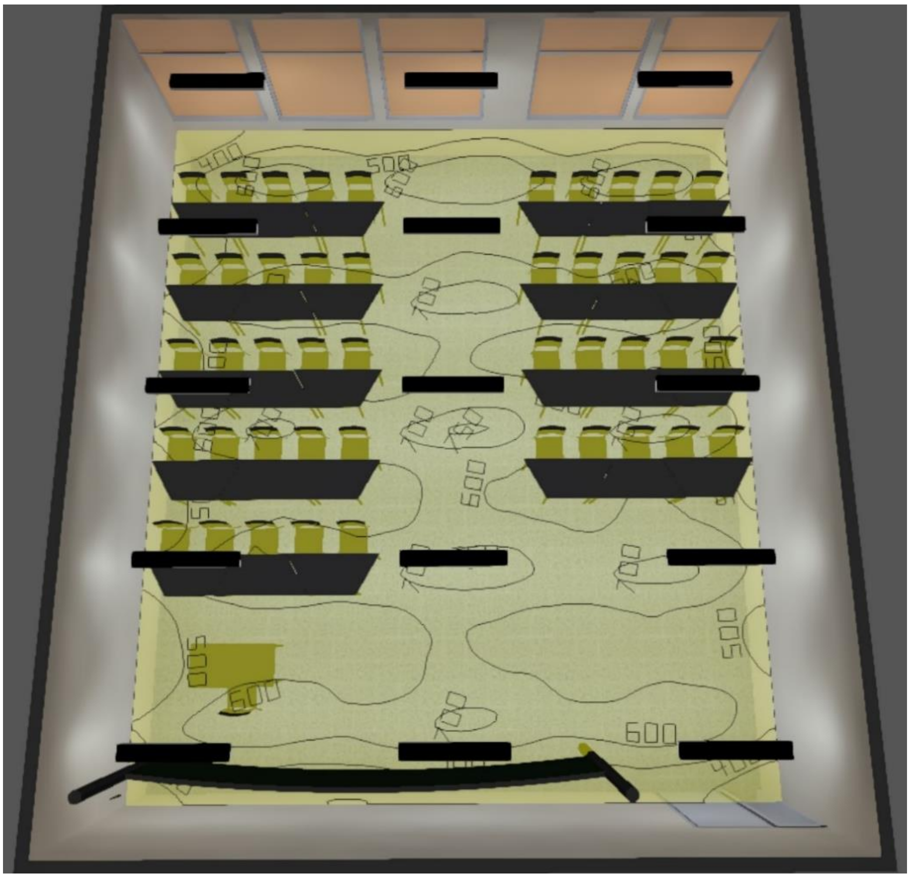


Figura 38: Simulação da iluminação artificial, sem a luz natural.
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

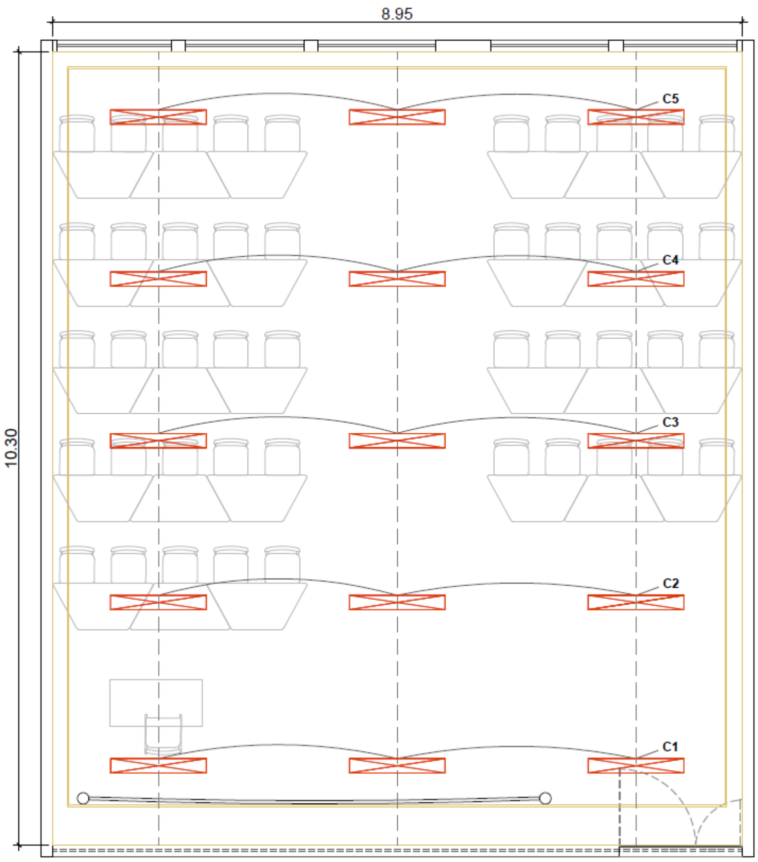


Figura 39: Planta baixa da sala com a nova disposição das luminárias e novos circuitos.

Planejando a economia de energia elétrica através do aproveitamento de luz natural, é imprescindível haver o controle do acionamento e fluxo luminoso dos circuitos. Na Figura 40 mostra a simulação do ambiente recebendo a luz natural às 9h e tendo a iluminância complementada pelos circuitos 1 e 2 (destacados na imagem), ambos funcionando com 100% do fluxo luminoso das luminárias. Nessas condições, o ambiente apresentou iluminância média de 553lx (máximo 863lx, e mínimo 238lx).

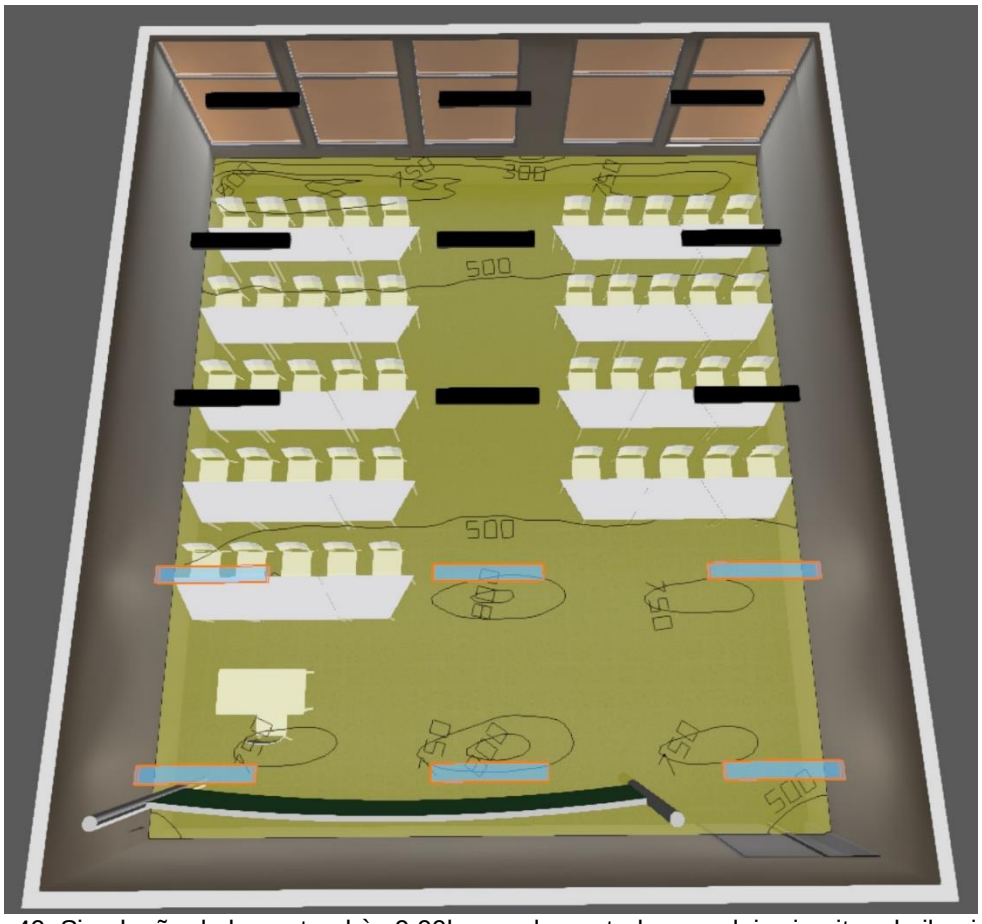


Figura 40: Simulação da luz natural às 9:00h complementada com dois circuitos da iluminação artificial ligados, ambos funcionando com 100% do total.
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Já na Figura 41, a iluminação natural do horário 13:30h foi complementada com os mesmos circuitos 1 e 2 (destacados na imagem) funcionando com 50% do fluxo luminoso das luminárias. Neste exemplo, o ambiente apresentou iluminância média de 774lx, (máximo 2422lx, próximo às janelas, e mínimo 350lx).

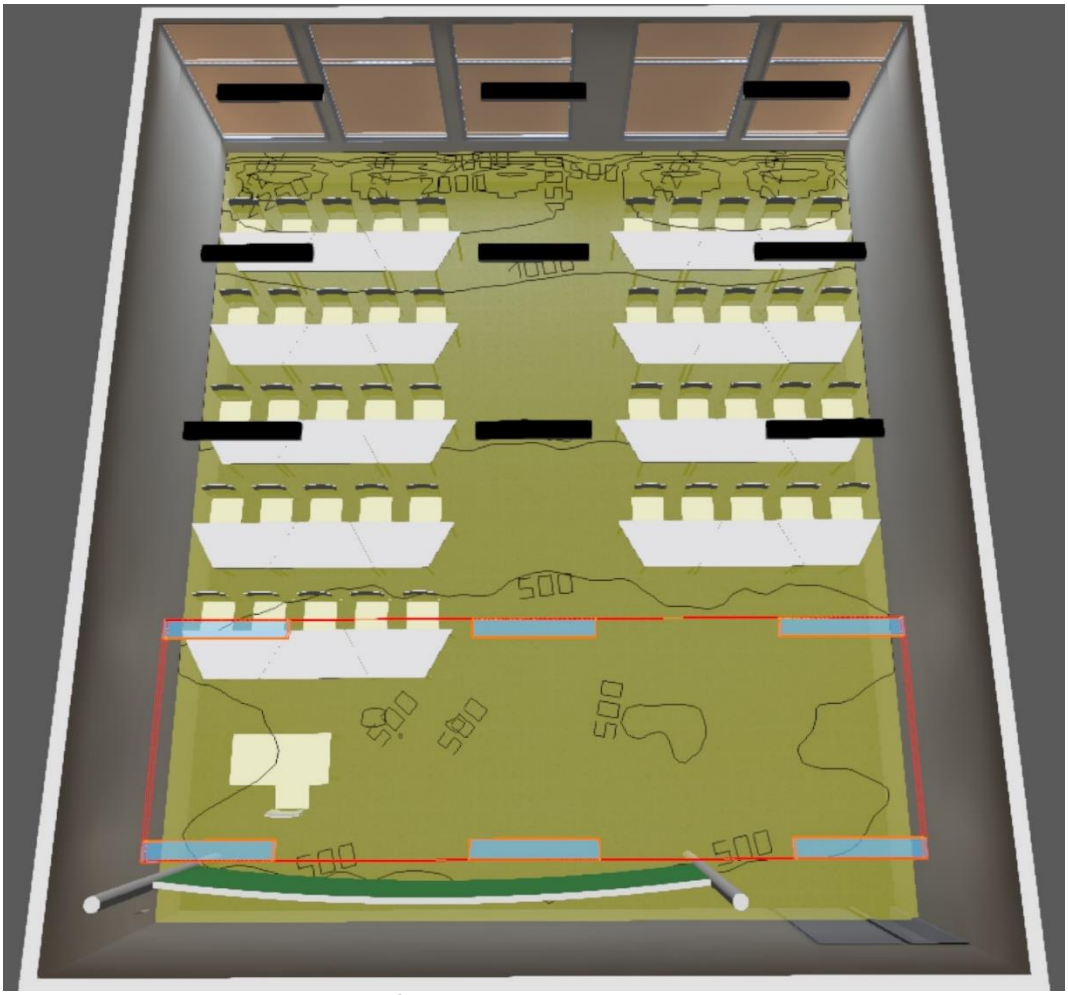


Figura 41: Simulação da luz natural às 13:30h complementada com dois circuitos da iluminação artificial ligados, ambos funcionando com 50% do fluxo luminoso.
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Para a simulação do horário de 17h (Figura 42), a iluminação artificial está simulada com o circuito 3 (centralizado, representado na cor azul) funcionando com 20% e os circuitos 1 e 2 (representados na cor verde) com 40% do fluxo luminoso das luminárias. Assim, onde antes, nas fileiras mais próximas da lousa que recebiam em torno de 400lux, agora apresentam pelo menos 500lx. Nesta simulação a iluminância média atingiu 771lx (máxima de 1958lx e mínima de 352lx).

Na Figura 43 foi feita a simulação em um conjunto de 3 mesas (segunda fileira da esquerda), onde antes, com apenas a luz natural, havia menos de 500lx. Agora, complementada com a luz artificial, apresentou iluminância média de 502lx (máxima de 553lx e mínima 451lx), com índice de uniformidade 0,90.

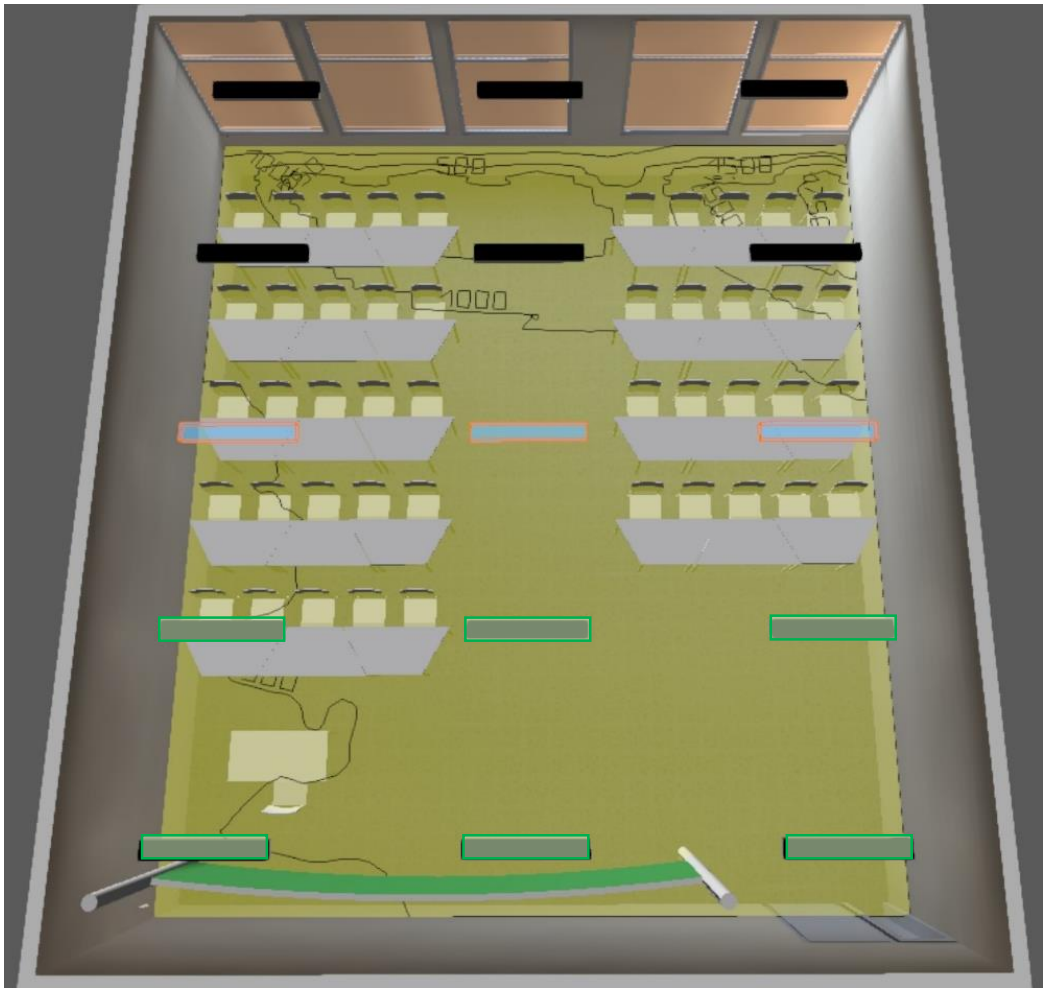


Figura 42: Simulação da luz natural às 17:00h complementada com o circuito 3 funcionando com 20% e os circuitos 1 e 2 funcionando com 40% do fluxo luminoso.
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

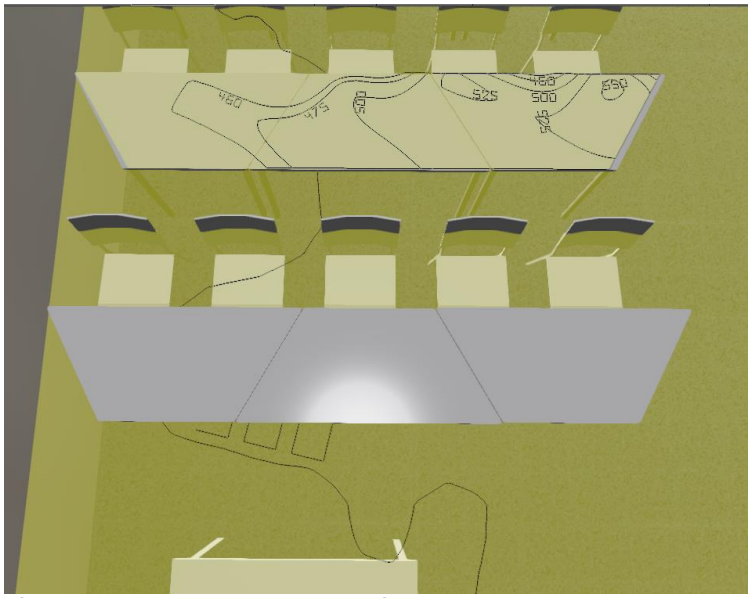


Figura 43: Cálculo de iluminância na superfície de 3 mesas, com luz natural e artificial.
Fonte: Simulação realizada no Dialux EVO

Para ser possível controlar a luz artificial como sugerido, *dimmers* manuais seriam suficientes para alcançar os cenários propostos. Porém, como a proposta é em um ambiente dinâmico, com diversas pessoas e, consequentemente, opiniões diferentes quanto ao conforto luminoso, o ideal é instalar sensores com fotocélulas, adequando a iluminação artificial de forma automática, de acordo com a iluminação natural no ambiente e a configuração da iluminância total desejada. Vale ressaltar que a divisão dos circuitos como proposto é essencial para a iluminação artificial funcionar de forma complementar à natural.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para não interferir no edifício, incluindo brises ou outro dispositivo de controle da entrada da luz natural, foi decidido continuar com a mesma estratégia de proteção solar, com a utilização de película nos vidros. Porém, com a intenção de ter maior aproveitamento da luz natural, a película foi planejada para permitir que parte a luz entrasse no ambiente, diferente da atualmente instalada, que impede quase por completo a entrada de luz.

Com as simulações foi percebido que a iluminação artificial não precisa ter seu funcionamento com 100% do fluxo luminoso enquanto houver luz natural no ambiente. Nos 3 exemplos a iluminação artificial foi usada completando a luz natural, e em todas as simulações nem metade do total do fluxo luminoso do sistema foi necessário, o que significa grande economia no consumo energético.

Considerando que o sistema de iluminação artificial atual possui 2 lâmpadas fluorescentes T8 de 32W em cada luminária (total de 12 luminárias), a sua potência com 100% em funcionamento é de 768W. O sistema de iluminação artificial proposto, com 15 luminárias de 37W, tem então o total 555W. Mesmo com o sistema de iluminação artificial funcionando com todas as luminárias ligadas, a nova proposta se mostra melhor, sendo necessário menor consumo de energia elétrica.

Tendo em média do fluxo luminoso de 2400lm em cada lâmpada fluorescente T8, cada luminária possui uma eficiência luminosa de 75lm/W (4800lm/64W). Já as luminárias com LED propostas no novo projeto possuem eficiência luminosa de 104lm/W (3850lm/37W). Logo, mesmo com um maior número de luminárias, a

proposta do novo sistema de iluminação se mostrou mais eficiente e com menor consumo energético total.

Para compararmos a diferença no valor da conta de energia, vamos considerar que a sala seja usada no período da manhã das 8:00h às 12:00h, no período da tarde, das 13:00h às 18:00h, e à noite das 19:00h às 21:00h. Tendo como base as simulações do novo sistema de iluminação, consideraremos a média de uso de 45% do fluxo luminoso das luminárias no período da manhã, 25% no período da tarde e 100% à noite.

Para a média de consumo mensal, consideraremos o uso de segunda à sexta, 22 dias por mês. Assim, calculamos o consumo multiplicando a Potência do sistema pelas horas de funcionamento:

Manhã: (555Wx45/100) x 4h x 22 dias = 21978/1000 = 21,98KWh/mês

Tarde: (555Wx25/100) x 7h x 22 dias = 21367,5/1000 = 21,37KWh/mês

Noite: 555W x 2h x 22 dias = 24420/1000 = 24,42KWh/mês

Total de 67,77KWh/mês

Considerando o sistema de iluminação atualmente instalado funcionando sempre com 100% do seu fluxo luminoso, temos:

768W x 14h x 22 dias = 236544/1000 = 236,55KWh/mês

Tendo a média de R$0,50 o valor cobrado por KWh pela concessionária de energia de São Paulo, obtemos R$33,89 no novo sistema de iluminação enquanto no sistema atual a conta fica em R$118,27. Portanto, neste cálculo baseado em um mês com predominância de dias ensolarados, a diferença na conta de energia atingiu R$84,38, uma economia de 71% no que se paga atualmente.

Assim, é evidente o benefício de se aproveitar a luz natural em ambientes internos. Além da ambiência agradável que proporciona, ajuda consideravelmente na redução do consumo de energia elétrica. Se considerarmos as simulações de 13:30h e 17:00h, o sistema de iluminação artificial funcionou com somente 20% do seu fluxo luminoso total, apenas as distribuições do fluxo mudaram para complementar melhor a luz natural. Portanto, esta é uma estratégia essencial para ser aplicada em projetos existentes e futuros.

CONCLUSÃO

O sistema de iluminação é um assunto de alta relevância para os edifícios. Seja pelo conforto visual, pela sustentabilidade ou consumo energético, é imprescindível utilizar-se de estratégias que aproveitem a luz natural. É preciso que os ambientes sejam bem iluminados, de forma que a luz natural entre sem causar ofuscamento, que a iluminância seja adequada para a atividade do local, que se mantenha o conforto visual quando houver apenas a luz artificial, e que o sistema de iluminação artificial seja eficiente, consumindo menos energia e preservando a qualidade da iluminação.

Além de integrar a luz natural no ambiente, há também de se aproveitar as tecnologias hoje disponíveis. Fontes de luz mais eficientes e sistemas de controles de iluminação devem ser incorporados nos projetos a fim de atender melhor à demanda do local, proporcionando o melhor ambiente possível através da iluminação.

É importante atentar-se aos ambientes já construídos para adequá-los às necessidades atuais. A proposta de diretrizes do processo de um projeto de *retrofit* luminotécnico apresentada neste trabalho auxilia os gestores e projetistas a se organizarem, atribuindo responsabilidades específicas para as atividades do projeto em todas as suas etapas, contribuindo para transparência do processo e o fluxo de informações. Esta gestão é importante para a execução de cada etapa e seu controle, visando cumprir todos os objetivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABILUX. **Abilux aponta medidas para reduzir o consumo de energia.** São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.abilux.com.br/portal/pdf/destaques/destaque_2015-02-12.pdf>.

BARRIENTOS, Maria Izabel G. Garcia. **Retrofit de edificações:** estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, fev. de 2004.

BARRIENTOS, Maria Izabel G. G.; QUALHARINI, Eduardo L. **Retrofit de construções:** metodologia de avaliação. ENTAC 04. São Paulo, jul. de 2004.

BENYA, James R.; LEBAN, Donna J. **Lighting retrofit and relighting:** a guide to green lighting solutions. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011

COSTA, Leandra Luciana Lopes. **A luz como modeladora do espaço na arquitetura**. Dissertação de mestrado. Covilhã, out de 2013.

DILAURA, David L. et al. **The Lighting Handbook.** 10ª Edição. New York: Illuminating Engineering Society, 2011.

DIAS, Amanda F. Aragão. **Análise do uso da luz natural em salas de aula**: estudo de caso em Aracaju – SE. Dissertação de mestrado. Maceió, 2011.

FERNANDES, Luciana Oliveira. **Procedimento para retrofit do desempenho termoenergético de edifícios de ensino através da aplicação de estratégias passivas de condicionamento.** Tese de Doutorado. Campinas, dez. de 2015

FERNANDES, Rúben Filipe de Carvalho. **Eficiência energética de edifícios versus qualidade de iluminação.** Dissertação de mestrado. Porto, jul de 2008.

FONSECA, Juliane F. **A contribuição da ergonomia ambiental na composição cromática dos ambientes construídos de locais de trabalho de escritório**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, dez de 2004.

GALVÃO, Walter; D´OTTAVIANO, Camila. **A luz na arquitetura e na cidade**. Revista Ciência e Cultura, vol. 67 nº3. São Paulo, set. de 2015.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação***:* estudo de caso na UFSC*.* Dissertação de mestrado. Florianópolis, ago de 1997

GONÇALVES, Joana Carla S.; BODE, Klaus. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GUTIERREZ, Grace Cristina Roel; LABAKI, Lucila Chebel. **Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira.** ENCAC – ELACAC. Maceió, out 2005

INNES, Malcolm. **Iluminação no Design de Interiores**. Tradução de Alexandre Salvaterra. 1 ed. São Paulo: Editora Gustavo Gili, 2014.

LOUÇANO, Nelson Ramos. **Eficiencia energética em edificios:** gestão do sistema de iluminação. Dissertação de mestrado. Bragança, nov de 2009

MASCARÓ, Lúcia. **Iluminação e arquitetura**: sua evolução através do tempo. Arquitextos, São Paulo, 06.063, Vitruvius, set. 2005.

MORAES, Virgínia T. F; QUELHAS, Osvaldo Luiz G. **A metodologia do processo do Retrofit e os limites da intervenção**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, ago. 2011

OLIVEIRA, Otávio J.; MELHADO, Silvio Burrattino. **Como administrar empresas de projeto de arquitetura e engenharia civil.** São Paulo: Pini, jan 2006

OSRAM. **Iluminação**: Conceitos e Projetos. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0274/ilumART.%20Manual%20Osram%20V2.pdf>. Acesso em 13 de mar de 2019.

OSRAM. **Lâmpadas Halógenas**. Ago 2005. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maxel/OSRAM_Halogenas.pdf>. Acesso em 13 de mar de 2019.

PEREIRA, Daniela C. Laudares. **Iluminação Natural em edifícios de escritório:** metodologia para avaliação do desempenho luminoso. Tese de doutorado. São Paulo, jun 2017.

PIMENTA, José Luiz. **LED:** Uma fonte de luz promissora. Lume Arquitetura, São Paulo, dez 2006.

PMBOK GUIDE. **Project Management Body of Knowledge.** Project Management Institute. 5ª Edição. Versão em português.

PROCEL EDIFICA. **Eficiência nas edificações**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>

SAYEGH, Simone. **Retrofit**: mercado de requalificação tecnológica de edifícios estimula inovações em prol da sustentabilidade. Revista Téchne ed. 134, mai de 2008. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/134/artigo285432-1.aspx>.

SILVA, Tássia Farssura; MELHADO, Silvio Burrattino. **Gestão de Projetos Industriais.** São Paulo: Pini, 2014.

SOUZA, Marcos Barros de. **Potencialidades de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** Tese de doutorado. Florianópolis, 2003

SOUZA, Roberta V. G. de. **Luz Natural no projeto arquitetônico:** uma fonte sustentável para a iluminação. Lume Arquitetura, São Paulo, abr/mai 2008.

VALE, Mauricio Soares do. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações:** segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do retrofit. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, mar. de 2006.

VIANNA, Nelson S.; GONÇALVES, Joana C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Vitrus, 2001.